

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1796
(03/2007)

Характеристики и защитные отношения для наземных радаров службы радиоопределения, работающих в полосе частот 8500–10 500 МГц

Серия М

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



Международный
союз
электросвязи

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.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1796*

**Характеристики и защитные отношения для наземных радаров
службы радиоопределения, работающих в полосе частот 8500–10 500 МГц**

(Вопрос МСЭ-R 226/5)

(2007)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация содержит технические и эксплуатационные характеристики и защитные отношения для систем радиоопределения, работающих в полосе частот 8500–10 500 МГц. Она разработана с целью поддержать исследования совместного использования частот вместе с Рекомендацией МСЭ-R М.1461, которая описывает процедуры анализа для определения совместимости между радарными службами радиоопределения и других служб.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая

- a) что в определенных полосах частот могут быть получены оптимальные характеристики антенны, характеристики распространения сигнала, обнаружения цели и большая необходимая ширина полосы частот, требуемые для нормального функционирования радаров;
- b) что технические характеристики радаров радиоопределения определяются предназначением системы и значительно меняются даже внутри одной полосы частот;
- c) что МСЭ-R рассматривает возможность введения новых типов систем или служб в полосы частот от 420 МГц до 34 ГГц, используемые радарными службами радиоопределения;
- d) что для уточнения возможности введения новых типов систем в полосы частот, распределенных службе радиоопределения, требуется определить типичные технические и эксплуатационные характеристик радаров службы радиоопределения,

отмечая,

- a) что технические и эксплуатационные характеристики морских радиолокационных маяков, работающих в полосе 9300–9500 МГц, приводятся в Рекомендации МСЭ-R М.824;
- b) что технические параметры устройств повышения разрешающей способности цели, работающих в полосе 9300–9500 МГц, приводятся в Рекомендации МСЭ-R М.1176;
- c) что технические и эксплуатационные характеристики радиолокационных ответчиков поиска и спасения (SART), работающих в полосе 9300–9500 МГц, приводятся в Рекомендации МСЭ-R М.628,

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

признавая,

- a) что радионавигационная служба является службой безопасности, как определено в п. 4.10 Регламента радиосвязи;
- b) что требуемые защитные отношения зависят от конкретных типов мешающих сигналов;
- c) что для применения защитных отношений может потребоваться учет статистической природы применения этих отношений и других элементов методики выполнения исследований совместимости (например, потерь распространения). При необходимости, в последующие версии настоящей Рекомендации может быть включена дальнейшая разработка этих статистических методов вместе с требуемой вероятностью обнаружения для различных сценариев работы в морских условиях,

рекомендует

- 1 что технические и эксплуатационные характеристики радаров радиоопределения, описанные в Приложении 1, должны считаться типовыми для радаров, работающих в полосе частот 8500–10 500 МГц;
- 2 что настоящая Рекомендация вместе с Рекомендацией МСЭ-R М.1461 должна использоваться в качестве руководства при анализе совместимости радаров радиоопределения и систем других служб;
- 3 что в качестве требуемого защитного уровня для радаров радиоопределения в полосе частот 8500–10 500 МГц должно использоваться отношение мощности мешающего сигнала к мощности шума радиолокационного приемника $I/N = -6$ дБ, даже в присутствии многих мешающих сигналов (см. Примечание 1);
- 4 что при оценке помех работе судовых радионавигационных радаров должны использоваться результаты измерений чувствительности к помехам, выполненных на судовых радионавигационных радаров, работающих в полосе частот 9300–9500 МГц, которые приводятся в Приложении 3, учитывая, что эти результаты были получены для нефлуктуирующих целей и что следует учитывать флуктуации эффективной отражающей поверхности радара (RCS) (см. Примечание 2).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Более подробная информация представлена в Приложении 2. В частности, уменьшение зоны охвата из-за предлагаемого защитного отношения для метеорологических радаров (21%) получается более заметным, чем для других радиолокационных систем. Применение этого отношения для метеорологических радаров требует дальнейших исследований.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Вопрос флуктуирующей RCS в настоящее время исследуется в МСЭ-R.

Приложение 1

Технические и эксплуатационные характеристики радаров службы радиоопределения в полосе частот 8500–10 500 МГц

1 Введение

Характеристики радаров радиоопределения, работающих во всем мире в полосе частот 8500–10 500 МГц, представлены в таблицах 1, 2 и 3 и описаны в последующих параграфах.

2 Технические характеристики

Полоса частот 8500–10 500 МГц используется множеством различных типов радаров, расположенных на сухопутных, транспортируемых, судовых и воздушных платформах. Функции радиоопределения, выполняемые в этой полосе частот, включают в себя поиск целей в воздухе и на земной поверхности, картографическую съемку местности, съемку-обзор рельефа, навигация (воздушная и морская), идентификация целей и метеорология (как воздушная, так и наземная). Другими большими различиями между радарными являются рабочие циклы передачи, полосы излучения, наличие и тип внутриимпульсной модуляции, возможности перестройки частот, пиковая и средняя мощности передатчиков, а также типы мощных радиопередающих устройств. Все эти характеристики, как по отдельности, так и в различных комбинациях, оказывают заметное влияние на совместимость радаров с другими системами в их окружении, тогда как другие характеристики влияют на эту совместимость в гораздо меньшей степени. Можно предположить, что рабочие частоты радаров равномерно распределены по всей полосе частот настройки каждого радара. В таблицах 1, 2 и 3 приведены технические характеристики типовых радиолокационных и радионавигационных радаров, используемых в полосе частот 8500–10 500 МГц.

Большинство радиолокационных радаров, работающих в этой полосе частот, используются, главным образом, для обнаружения объектов в воздухе. От них требуется измерить высоту цели, а также ее размер и курс движения. Некоторые воздушные цели очень малы и могут находиться на расстояниях до 300 морских миль (~ 556 км), поэтому радиолокационные радары должны иметь высокую чувствительность и должны обеспечивать высокое подавление всех видов отражений, включая отражения от морской поверхности, земли и препятствий. В некоторых случаях, излучения радара в этой полосе частот необходимы для включения радиолокационных маяков.

Главным образом, вследствие того, что ряд требований зависит от их предназначения, радары, использующие эту полосу частот, обычно, имеют следующие общие характеристики:

- значения пиковой и средней мощности передатчика у них, как правило, имеют малые и средние величины (от 1 Вт до 250 000 Вт) с заметными исключениями;
- в них, как правило, используются передатчики с усилителями мощности и задающими генераторами, а не мощные генераторы. Они, как правило, допускают перестройку, и в некоторых из них предусмотрена перестройка частоты. В некоторых из них используется линейная – или нелинейная частотная или импульсно кодовая внутриимпульсная модуляция;
- антенны некоторых радаров позволяют регулировать направление главного лепестка в одном или обоих угловых направлениях, что реализуется при помощи электронной системы управления диаграммой направленности;
- в этих радаров, как правило, используются разнообразные возможности приема и обработки сигнала, например, вспомогательные приемные антенны с подавлением боковых лепестков, обработка импульсных посылок с когерентными несущими при помощи методов селекции движущихся целей (МТИ) и поддержания постоянной частоты ложных тревог (CFAR), и в некоторых случаях адаптивный выбор рабочих частот на основе оценки помех на различных частотах;
- у отдельных радаров, зачастую, предусмотрено несколько различных значений ширины импульса и частоты следования импульсов; некоторые радары с линейной ЧМ (ЛЧМ) имеют несколько вариантов ширины импульса с ЛЧМ; и в некоторых радаров с перестройкой частоты предусмотрено несколько режимов работы с перестройкой частоты или с фиксированной частотой. Такая гибкость может служить удобным инструментом для обеспечения совместимости с другими радаров, находящимися в области действия данного радара.

Эти свойства присущи некоторым или всем радаров, характеристики которых представлены в таблицах 1, 2 и 3. Эти таблицы чрезвычайно обширны и содержат данные для широкого спектра радаров самого разного назначения, выполненных на разнообразных платформах, в которых используются сигналы различной формы и с разной шириной полосы частот, имеющие разные рабочие циклы, уровни мощности, передающие устройства и т. д., какие только можно найти у радаров в рассматриваемой полосе частот, хотя они не являются полностью исчерпывающими и не содержат всех атрибутов, которые могут появиться в будущих системах.

ТАБЛИЦА 1

Характеристики радаров радиоопределения воздушного базирования в полосе частот 8500–10 500 МГц

Характеристики	Система А1	Система А2	Система А3	Система А4
Назначение	РЛС поиска и сопровождения (многофункциональный)	Бортовая самолетная РЛС обнаружения воздушных целей	РЛС картографической съемки и рельефа местности (многофункциональная)	РЛС сопровождения
Диапазон настройки (МГц)	9 300–10 000	8 500–9 600	9 240, 9 360 и 9 480	10 000–10 500
Модуляция	Импульсная	Импульсная	Некогерентная фазово-импульсная модуляция с перестройкой частоты	РЛС непрерывного излучения (CW), РЛС CW с ЧМ (FCW)
Пиковая мощность на входе антенны	17 кВт	143 кВт (мин.) 220 кВт (макс.)	95 кВт	1,5 кВт
Длительность импульсов (мкс) и частота следования импульсов	0,285; 8 От 200 до 23 000 импульс/с	2,5; 0,5 400 и 1 600 импульс/с	0,3; 2,35 и 4 2 000, 425 и 250 импульс/с, соответственно	Неприменимо
Максимальный рабочий цикл	0,0132	0,001	0,001	1
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,01/0,01	0,02/0,2	0,1/0,1	Неприменимо
Выходное устройство	Лампа бегущей волны	Магнетрон с перестройкой частоты	Магнетрон с объемным резонатором	Лампа бегущей волны
Тип диаграммы направленности антенны	"Карандаш"	Клиновидная	"Карандаш"	"Карандаш"
Тип антенны	Планарная антенная решетка	Параболическая антенна	Плоская планарная антенная решетка	Планарная антенная решетка
Поляризация антенны	Линейная	Линейная	Круговая	Линейная
Коэффициент усиления в главном лепестке антенны (дБи)	32,5	34	28,3	35,5
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	4,6	3,8	5,75	2,5
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	3,3	2,5	5,75	2,5
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	118 сканирований в минуту	6 или 12 оборотов в минуту	До 53 сканирований в минуту	90°/с
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Секторное: $\pm 60^\circ$ (механическое)	360° (механическое)	Секторное: $\pm 60^\circ$ (механическое)	Секторное: $\pm 60^\circ$ (механическое)

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Система А1	Система А2	Система А3	Система А4
Скорость сканирования в вертикальной плоскости	59 сканирований в минуту	Неприменимо	До 137 сканирований в минуту	90°/с
Тип сканирования в вертикальной плоскости	Секторное: $\pm 60^\circ$ (механическое)	Неприменимо	Секторное: $+25/-40^\circ$ (механическое)	Секторное: $\pm 60^\circ$ (механическое)
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	7,5 дБи для угла 15°	Не определено	5,3 дБи для угла 10°	Не определено
Высота подвеса антенны	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3 дБ (МГц)	3,1; 0,11	5	5,0; 1,8 и 0,8	0,48
Коэффициент шума приемника (дБ)	Не определено	Не определено	6	3,6
Минимальный различимый сигнал (дБм)	-103	-107; -101	-101	
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ (МГц)	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Не определено
Ширина полосы РЧ излучения (МГц): – 3 дБ – 20 дБ	 3,1; 0,11 22,2; 0,79	 0,480; 2,7 1,5; 6,6	(Зависит от частоты и длительности импульса) От 100 до 118 От 102 до 120	 Не определено Не определено

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Система А5	Система А6а ⁽¹⁾	Система А6б ⁽¹⁾
Назначение	Метеорологическая РЛС для предупреждения о неблагоприятных погодных условиях, включая предупреждение о сдвиге ветра (навигация)	Метеорологическая РЛС для предупреждения о неблагоприятных погодных условиях (WA), включая предупреждение о сдвиге ветра (WS) (навигация)	РЛС картографической съемки, включая: моноимпульсную картографическую съемку (MGM) и Сужение луча доплеровской РЛС (DBS)
Диапазон настройки (МГц)	9 330	9 305–9 410 WA: с перестройкой частоты для различных импульсов ($\leq 2\,000$ скачков в секунду); WS: адаптивная одночастотная	9 360 и 9 305–9 410 MGM: с перестройкой частоты для различных импульсов (≤ 600 скачков в секунду); DBS: одночастотная (9 360)
Модуляция	Импульсная	WA: немодулированные импульсы и импульсы с кодом Баркера (5:1 и 13:1); WS: немодулированные импульсы	MGM и DBS: импульсы с кодом Баркера (13:1)
Пиковая мощность на входе антенны	150 Вт	≤ 150 Вт	≤ 150 Вт
Длительность импульса (мкс) и частота следования импульсов	От 1 до 20 От 180 до 9 000 импульс/с	WA: 0,2–230; WS: 2 WA: 2 000 импульс/с для импульсов длительностью 0,2–6 мкс, с уменьшением до 230 импульс/с для импульсов длительностью 230 мкс; WS: 3 600–3 940 импульс/с	MGM: 1,3–260; DBS: 0,64–20 MGM: 600 импульс/с для импульсов длительностью 1,3–60 мкс, с уменьшением до 220 импульсов в секунду для импульсов длительностью 260 мкс; DBS: 700–1 600 импульс/с для импульсов любой длительности
Максимальный рабочий цикл	Не определено	WA: 0,054; WS: 0,0076	MGM: 0,057; DBS: 0,033 (0,024 в отдаленном будущем)
Время нарастания/спада импульса (мкс)	Не определено	WA: 0,02–0,05/0,01; WS: 0,02/0,01	MGM: 0,01–0,02/0,01–0,02; DBS: 0,02–0,04/0,01
Выходное устройство	Полупроводниковый прибор	Полевой транзистор	Полевой транзистор
Тип диаграммы направленности антенны	"Карандаш"	"Карандаш"	Клиновидная
Тип антенны	Планарная антенная решетка	Планарная антенная решетка	Планарная антенная решетка
Поляризация антенны	Не определено	Линейная	Линейная
Коэффициент усиления в главном лепестке антенны (дБи)	34,4	32	28,7
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	3,5	4	42
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	3,5	2,7	2,7
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	Не определено	≤ 40 сканирований в минуту	≤ 40 сканирований в минуту

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Система А5	Система А6а ⁽¹⁾	Система А6б ⁽¹⁾
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Секторное: $\pm 30^\circ$	Секторное: от ± 15 до $\pm 135^\circ$ (механическое)	Секторное: от ± 15 до $\pm 135^\circ$ (механическое)
Скорость сканирования в вертикальной плоскости	Не определено	≤ 20 сканирований в минуту	Неприменимо
Тип сканирования в вертикальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Не определено	1 или 2 горизонтальные полосы (механическое)	Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	+3,4 дБи	8 дБи для угла $4,2^\circ$	3,7 дБи для угла $4,5^\circ$
Высота подвеса антенны	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна (сдвиг ветра на малых высотах)	Высота полета воздушного судна
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3дБ (МГц)	Не определено	WA: ≤ 16 для коротких импульсов/субимпульсов, с уменьшением до 0,8 для длинных импульсов/субимпульсов; WS: $\geq 0,8$	
Коэффициент шума приемника (дБ)	4,0	5	5
Минимальный различимый сигнал (дБм)	-125	≥ -110	≥ -110
Ширина полосы импульса ЛЧМ (МГц)	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Ширина полосы РЧ излучения (МГц)	Не определено	Для импульсов любой длительности – от самого простого короткого до самого длинного импульса: WA: 3 дБ: от 5 до 0,052; 20 дБ: от 40,5 до 0,37 WS: 3 дБ: 0,46; 20 дБ: 3,28	Для субимпульсов любой длительности – от самого простого короткого до самого длинного: MGM: 3 дБ: от 7,68 до 0,045; 20 дБ: от 59 до 0,31 DBS: 3 дБ: от 18 до 0,6; 20 дБ: от 150 до 4,1

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Система А7а, А7б и А7с ⁽²⁾	Система А7d ⁽²⁾	Система А7е и А7f ⁽²⁾	Система А8
Назначение	РЛС обнаружения наземных целей и РЛС с синтезированной апертурой (SAR)	Навигация	Инверсная РЛС с синтезированной апертурой (SAR)	РЛС обнаружения целей (радиолокация) Метеорологическая РЛС
Диапазон настройки (МГц)	9 380–10 120	С перестройкой частоты для различных импульсов в диапазоне 340 МГц	9 380–10 120	9 250–9 440 с перестройкой частоты для различных импульсов с шагом 20 МГц
Модуляция	Линейно-импульсная ЧМ	Линейно-импульсная ЧМ	Линейно-импульсная ЧМ	Импульсная ЧМ
Пиковая мощность на входе антенны	50 кВт	50 кВт	50 кВт	10 кВт
Длительность импульса (мкс) и частота следования импульсов (импульс/с)	Поиск: 5 мкс при 1 600–2 000 или 10 мкс при примерно 380 SAR: 13,5 мкс при 250–750	10 Примерно 380	10 470, 530, 800 и 1 000	5 и 17 2 500, 1 500, 750 и 400 (все длительности)
Максимальный рабочий цикл	0,010 (5 мкс и 13,5 мкс); 0,004 (10 мкс)	0,004	0,010	0,04
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1	0,1/0,1
Выходное устройство	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны
Тип диаграммы направленности антенны	"Карандаш"/клиновидная	"Карандаш"/клиновидная	"Карандаш"/клиновидная	Клиновидная
Тип антенны	Параболическая антенна	Параболическая антенна	Параболическая антенна	Щелевая антенная решетка
Поляризация антенны	Горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная	Вертикальная и горизонтальная
Коэффициент усиления в главном лепестке антенны (дБи)	34,5	34,5	34,5	32
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	4,0	4,0	4,0	9,0
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	2,4	2,4	2,4	1,8
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	36, 360 и 1 800°/с	36, 360, 1 800°/с	36, 360 и 1 800°/с	15 или 60 оборотов в минуту

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Система А7а, А7б и А7с ⁽²⁾	Система А7д ⁽²⁾	Система А7е и А7ф ⁽²⁾	Система А8
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Сектор 10°	Сектор 10°	Сектор 10°	360°
Скорость сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Тип сканирования в вертикальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Выбираемый наклон 0°/–90°	Выбираемый наклон 0°/–90°	Выбираемый наклон 0°/–90°	Выбираемый наклон +15°/–15°
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	14,5 дБи для угла 12°	14,5 дБи для угла 12°	14,5 дБи для угла 12°	20 дБи
Высота подвеса антенны	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3 дБ (МГц)	Не определено	Не определено	Не определено	16
Коэффициент шума приемника (дБ)	5	5	5	Не определено
Минимальный различимый сигнал (дБм)	Зависит от коэффициента обработки (34 дБ (5 мкс), 30 дБ (10 мкс) и 39,5 дБ (13,5 мкс) для одного отраженного импульса)	Зависит от коэффициента обработки (17 дБ для одного отраженного импульса)	Зависит от коэффициента обработки (30 дБ (100 МГц) или 33 дБ (200 МГц) для одного отраженного импульса)	–98
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ (МГц)	Поиск: 500 (5 мкс) или 100 (10 мкс) SAR: 660	5	100 или 200	10
Ширина полосы РЧ излучения (МГц):	Поиск (5 мкс) Поиск (10 мкс)		ЛЧМ 100 МГц ЛЧМ 200 МГц	
– 3 дБ	470 95 640	4,5	95 190	9,3
– 20 дБ	540 110 730	7,3	110 220	12

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Система А9	Система А10	Система А11
Назначение	Метеорологическая РЛС для предупреждения о неблагоприятных погодных условиях, поисково-спасательная РЛС, РЛС картографической съемки	Метеорологическая РЛС для предупреждения о неблагоприятных погодных условиях, РЛС картографической съемки, РЛС обнаружения	Метеорологическая РЛС для предупреждения о неблагоприятных погодных условиях, РЛС картографической съемки, поисково-спасательная РЛС
Диапазон настройки (МГц)	Радар: $9\,375 \pm 10$; Маяк: 9 310	Предварительный импульс: 9 337 и 9 339 (предшествует каждому рабочему импульсу) Рабочий импульс: 9 344	$9\,375 \pm 30$ МГц
Модуляция	Импульсная	Импульсная	Импульсная
Пиковая мощность на входе антенны	25 кВт	26 Вт (14 дБВт)	2,5–6,0 кВт
Длительность импульса (мкс) и частота следования импульсов (импульс/с)	4,5; 2,4; 0,8 и 0,2 мкс при 180, 350, 350 и 1 000 импульс/с, соответственно	9 337 и 9 339 МГц: 1–29 мкс при 2 200–220 импульс/с (нечетко) для импульсов любой длительности; 9 344 МГц: 1,7–2,4; 2,4–4,8; 4,8–9,6; 17; 19 и 29 мкс при 2 200–220 импульс/с (нечеткое)	Фиксированная 4 мкс 106,5 импульс/с
Максимальный рабочий цикл	0,00082	9 337 и 9 339 МГц: $\leq 0,064$ 9 344 МГц: $\leq 0,011$ (для импульсов 17 мкс)	0,00043
Время нарастания/спада импульса (мкс)	Не определено	9 337 и 9 339 МГц: 0,3/0,2 9 344 МГц: 0,5/0,5	Время нарастания: 0,3 мкс Время спада: 0,4 мкс
Выходное устройство	Магнетрон высокой надежности	Лавинно-пролетный диод	Магнетрон
Тип диаграммы направленности антенны	"Карандаш" и клиновидная	"Карандаш"	"Карандаш"
Тип антенны	Плоская антенная решетка	Плоская антенная решетка	Плоская антенная решетка
Поляризация антенны	Горизонтальная и вертикальная	Горизонтальная	Горизонтальная
Коэффициент усиления в главном лепестке антенны (дБи)	"Карандаш": 30; клиновидная: 29	29	26,7
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	"Карандаш": 3; клиновидная: 6	< 10	8,1
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	"Карандаш": 3; клиновидная: 3	7	8,1

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Характеристики	Система А9	Система А10	Система А11
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	360°: 12 оборотов в минуту (большого радиуса действия), 45 оборотов в минуту (малого радиуса действия) Секторное: не определено	30°/с	25°/с
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Непрерывное (360°) Секторное (90°)	Секторное 60° или 120°	Секторное (90° или 120°)
Скорость сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Тип сканирования в вертикальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Неприменимо	Наклон выбирается оператором: $\pm 30^\circ$	Секторное $\pm 30^\circ$
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	Не определено	+13,9 дБи	+4,7 дБи
Высота подвеса антенны	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3 дБ (МГц)	Не определено	2,0	1,0
Коэффициент шума приемника (дБ)	6,5	2	5
Минимальный различимый сигнал (дБм)	Не определено	-128 (определение чувствительности после обработки)	-110
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ (МГц)	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Ширина полосы РЧ излучения (МГц): – 3 дБ – 20 дБ	Не определено Не определено	–3 дБ: 9 337 и 9 339 МГц: 0,7 9 344 МГц: 0,4; 0,25; 0,150; 0,075; 0,08 и 0,05 –20 дБ: 9 337 и 9 339 МГц: 3,6 9 344 МГц: 1,8; 1,5; 0,8; 0,375; 0,35 и 0,2	–3 дБ: 0,5 МГц –20 дБ: 1,5 МГц

(1) Многорежимный радар; имеет также режим маяка-опросчика на частоте 9375 МГц, который здесь не описан.

(2) Многорежимный радар.

ТАБЛИЦА 2

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

Характеристики	Система S1	Система S2	Система S3	Система S4		Система S5
Назначение	РЛС поиска и навигации	Радиолокационная станция сопровождения	РЛС обнаружения наземных и маловысотных целей (многофункциональный)	Морская навигационная РЛС ⁽³⁾		РЛС обзора поверхности и навигации
Тип платформы	Судовая, брег-тренинг-центры	Судовая	Судовая	Судовая		Судовая
Диапазон настройки (МГц)	8 500–9 600	10 000–10 500	8 500–10 000	9 375 ± 30 и 9 445 ± 30		9 300–9 500
Модуляция	Импульсная	РЛС непрерывного излучения (CW), РЛС CW с частотной модуляцией (FMCW)	Импульсная с перестройкой частоты ⁽⁴⁾	Импульсная		РЛС непрерывного излучения (CW) с частотной модуляцией (FMCW)
Пиковая мощность на входе антенны	35 кВт	13,3 кВт	10 кВт	5 кВт (мин.)	50 кВт (макс.)	От 1 мВт до 1 Вт
Длительность импульса (мкс) и частота следования импульсов (импульс/с)	0,1; 0,5 1 500; 750	Неприменимо Неприменимо	От 0,56 до 1,0; 0,24 От 19 000 до 35 000; от 4 000 до 35 000	0,03 (мин.) при 4 000 (макс.)	1,2 (макс.) при 375 (мин.)	Неприменимо 1 000 ⁽⁵⁾
Максимальный рабочий цикл	0,00038	1	0,020	0,00045		1
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,08/0,08	Неприменимо	0,028/0,03; 0,038/0,024	Не определено		Неприменимо
Выходное устройство	Магнетрон	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны	Магнетрон		Полупроводниковый прибор
Тип диаграммы направленности антенны	Клиновидная	"Карандаш"	"Карандаш"	Клиновидная		Клиновидная
Тип антенны	Рупорная антенная решетка	Планарная антенная решетка	Щелевая антенная решетка	Щелевая антенная решетка		Волноводно-щелевая
Поляризация антенны	Линейная	Линейная	Линейная	Не определено		Линейная
Коэффициент усиления в главном лепестке антенны (дБи)	29	43	39	27 (мин.)	32 (макс.)	30

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Система S1	Система S2	Система S3	Система S4		Система S5
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	13	1	1	20,0 (мин.)	26,0 (макс.)	20
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	3	1	1,5	0,75 (мин.)	2,3 (макс.)	1,4
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	9,5 оборотов в минуту	90°/с	180°/с	20 (мин.)	60 (макс.)	24 оборота в минуту
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	360° (механическое)	360° (механическое)	360° или секторное поиск/слежение (механическое)	360°		360°
Скорость сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	90°/с	Неприменимо	Неприменимо		Неприменимо
Тип сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Секторное: +83/–30° (механическое)	Неприменимо	Неприменимо		Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	Не определено	23 дБи (1-й SL)	23 дБи (1-й SL)	4 дБи для угла ≤ 10° (мин.) 3 дБи для угла ≥ 10° (макс.)	9 дБи для угла ≤ 10° (макс.) 2 дБи для угла ≥ 10° (макс.)	5 дБи (1-й SL)
Высота подвеса антенны	Монтируется на мачте/палубе	Монтируется на мачте/палубе	Монтируется на мачте/палубе	Монтируется на мачте/палубе		Монтируется на мачте/палубе
ПЧ приемника (МГц)	Не определено	Не определено	Не определено	45 (мин.)	60 (макс.)	
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3 дБ (МГц)	12	0,5	2,5; 4; 12	6; 2,5 (мин.) (короткий и длинный импульс, соответственно)	28; 6 (макс.) (короткий и длинный импульс, соответственно)	0,5
Коэффициент шума приемника (дБ)	Не определено	3,5	9	3,5 (мин.)	8,5 (макс.)	3,5
Минимальный различимый сигнал (дБм)	–96	–113	–102; –100; –95	–106 (мин.)	–91 (макс.)	–113
Ширина полосы импульса ЛЧМ (МГц)	Неприменимо	Не определено	Неприменимо	Неприменимо		От 1,7 до 54
Ширина полосы РЧ излучения (МГц): – 3 дБ – 20 дБ	10; 5 80; 16	Не определено Не определено	1,6; 4,2 10; 24	Не определено Не определено		Не определено Не определено

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Система S6	Система S7	Система S8	Система S9	
Назначение	Морская навигационная РЛС	Навигация и поиск	Морская навигационная РЛС ⁽⁶⁾	Морская навигационная РЛС ⁽⁷⁾	
Тип платформы	Судовая	Судовая	Судовая	Судовая	
Диапазон настройки (МГц)	9 380–9 440	9 300–9 500	9 410 ± 30	9 410 ± 30	9 445 ± 30
Модуляция	Импульсная	Импульсная	Импульсная	Импульсная	
Пиковая мощность на входе антенны	25 кВт	1,5 кВт	5 кВт	1,5–10 кВт	
Длительность импульса (мкс) и частота следования импульсов (импульс/с)	0,08; 0,2; 0,4; 0,7 и 1,2 2 200 (0,08 мкс); 1 800, 1 000 и 600 (1,2 мкс)	0,08; 0,25 и 0,5 2 250, 1 500 и 750	0,05; 0,18 и 0,5 3 000 импульс/с при 0,05 мкс до 1 000 импульс/с при 0,5 мкс	0,08 (мин.) при 3 600 импульс/с	1,2 (макс.) при 375 импульс/с
Максимальный рабочий цикл	0,00072	0,000375	0,0005	0,00045	
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,010/0,010	0,01/0,05	Не определено	Не определено	
Выходное устройство	Магнетрон	Магнетрон	Магнетрон	Магнетрон	
Тип диаграммы направленности антенны	Клиновидная	Клиновидная	Клиновидная	Клиновидная	
Тип антенны	Щелевая антенная решетка с концевым возбуждением	Волноводно-щелевая с возбуждением в центре	Щелевая антенная решетка	Коммутируемая щелевая антенная решетка или рупор	
Поляризация антенны	Горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная	
Коэффициент усиления в главном лепестке антенны (дБи)	31	23,9	30	22–30	
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	20	25	26	24–28	
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	0,95	6	0,95	1,9–7	
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	24 оборота в минуту	24 оборота в минуту	30 оборотов в минуту	24 оборота в минуту	
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	360°	360°	360°	360°	

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

Характеристики	Система S6	Система S7	Система S8	Система S9
Скорость сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Тип сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	Не определено	+2,9 дБи	< 5 дБи в пределах 10°; ≤ 2 дБи за пределами 10°	22 дБи основной лепесток: от 3 до 4 дБи в пределах 10°; от 0 до 3 дБи за пределами 10° 30 дБи основной лепесток: от 7 до 10 дБи в пределах 10°; от -2 до +7 дБи за пределами 10°
Высота подвеса антенны	Мачта	Мачта	Мачта	Мачта
ПЧ приемника (МГц)	Не определено	Не определено	50	45–60
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3 дБ (МГц)	15	10 и 3	15–25	2,5–25
Коэффициент шума приемника (дБ)	6	6	6	От 4 до 8
Минимальный различимый сигнал (дБм)	–97 (уровень собственных шумов)	–102 (уровень собственных шумов)	Не определено	Не определено
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ (МГц)	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Ширина полосы РЧ излучения (МГц): – 3 дБ – 20 дБ	14 43	20 55	Не определено	Не определено

- (3) Категория ИМО, включая рыболовство.
(4) Некомпрессированный импульс, псевдослучайная перестройка частоты.
(5) Скорость качания частоты (качаний/с).
(6) Речная категория.
(7) Категория прогулочных судов.

ТАБЛИЦА 3

Характеристики маяков и наземных радаров радиоопределения в полосе частот 8500–10 500 МГц*

Характеристики	Система G1	Система G2	Система G3	Система G4	Система G5
Назначение	Радиолокационный маяк-ответчик для встречи	Радиолокационный маяк-ответчик для встречи	РЛС сопровождения	РЛС сопровождения	РЛС точного захода на посадку и РЛС посадки
Тип платформы	Воздушного базирования	Наземный (переносной)	Наземный (трейлер)	Наземный (трейлер)	Наземный (трейлер)
Диапазон настройки (МГц)	8 800–9 500	9 375 и 9 535 (на передачу); 9 310 (на прием)	9 370–9 990	10 000–10 500	9 000–9 200
Модуляция	Одиночный и сдвоенный импульс	Импульсная	Импульсная с перестройкой частоты	РЛС непрерывного излучения (CW), РЛС непрерывного излучения с частотной модуляцией (FMCW)	Импульсная с перестройкой частоты
Пиковая мощность на входе антенны	300 Вт	От 20 до 40 Вт	31 кВт	14 кВт	120 кВт
Длительность импульса (мкс) и частота следования импульсов (импульс/с)	0,3 от 10 до 2 600	От 0,3 до 0,4 Менее 20 000	1 от 7 690 до 14 700	Неприменимо Неприменимо	0,25 6 000
Максимальный рабочий цикл	0,00078	0,008	0,015	1	0,0015
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,1/0,2	0,10/0,15	0,05/0,05	Неприменимо	0,02/0,04
Выходное устройство	Магнетрон	Полупроводниковый прибор	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны	Лампа бегущей волны
Тип диаграммы направленности антенны	Всенаправленная	Секторная	"Карандаш"	"Карандаш"	"Карандаш"/клиновидная
Тип антенны	Волновод с открытым концом	Планарная антенная решетка	Фазированная антенная решетка (линейная волноводно-щелевая)	Планарная антенная решетка	Планарная антенная решетка из диполей
Поляризация антенны	Линейная	Круговая	Линейная	Линейная	Круговая
Коэффициент усиления в главном лепестке антенны (дБи)	8	13	42,2	42,2	40

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Система G1	Система G2	Система G3	Система G4	Система G5
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	18	20; 3	0,81	1	0,7
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	360	65; 10	1,74	1	1,1
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	Неприменимо	Неприменимо	Не определено	90°/с	5–30°/с
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Неприменимо	Неприменимо	Секторное: $\pm 45^\circ$ (с фазовым сканированием)	360° (механическое)	Секторное: $+23/+15^\circ$ (с фазовым сканированием)
Скорость сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Неприменимо	Не определено	90°/с	5–30°/с
Тип сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Неприменимо	Секторное: $90^\circ \pm$ наклон антенной решетки (частотное сканирование)	Секторное: $90^\circ \pm$ наклон антенной решетки (механическое)	Секторное: $+7/-1^\circ$ (частотное сканирование)
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	Не определено	0 дБи (1-й SL)	Не определено	Не определено	Не определено
Высота подвеса антенны	Высота полета воздушного судна	Уровень земной поверхности	Уровень земной поверхности	Уровень земной поверхности	Уровень земной поверхности
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3 дБ (МГц)	24	40	1	0,52	2,5
Коэффициент шума приемника (дБ)	Не определено	13	Не определено	3,4	Не определено
Минимальный различимый сигнал (дБм)	–99	–65	–107	–113	–98
Ширина полосы импульса ЛЧМ (МГц)	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Не определено	Неприменимо
Ширина полосы РЧ излучения (МГц): – 3 дБ – 20 дБ	2,4 13,3	4,7 11,2	0,85 5,50	Не определено Не определено	3,6 25,0

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики маяков и наземных радаров радиоопределения в полосе частот 8500–10 500 МГц

Характеристики	Система G6	Система G7	Система G8
Назначение	Аэродромная обзорная РЛС/РЛС управления заходом на посадку	радиолокатор точного захода на посадку	РЛС наблюдения за наземным движением в районе аэропорта и подъездных путей (ASDE)
Тип платформы	Наземный (мобильный)	Наземный (фиксированный и перевозимый)	Наземный
Диапазон настройки (МГц)	9 025	9 000–9 200 (4 частоты на систему)	9 000–9 200; перестройка частоты для каждого импульса – 4 частоты
Модуляция	Простая и нелинейно-импульсная ЧМ	Простая и нелинейно-импульсная ЧМ	Простая и линейно-импульсная ЧМ
Пиковая мощность на входе антенны	310,5 Вт	500 Вт	60 Вт
Длительность импульса (мкс) и частота следования импульсов (импульс/с)	1,2; 30 и 96 12 800, 3 200–6 300 и 2 120, соответственно	0,65 и 25 парный импульс 3 470, 3 500, 5 200 и 5 300	0,04 и 3,7 (сжат до 0,040) 4 000
Максимальный рабочий цикл	0,203	0,11	0,015
Время нарастания/спада импульса (мкс)	Не определено	0,15/0,15 и 0,15/0,15	Короткий импульс: 0,02/0,12; Длинный импульс: 0,11/0,12
Выходное устройство	Полупроводниковый прибор	Транзисторы	Полупроводниковый прибор с комбайнером
Тип диаграммы направленности антенны	Клиновидная (csc^2)	Вертикальная клиновидная и горизонтальная клиновидная	Обратная csc^2
Тип антенны	Активная антенная решетка + отражатель	Две фазированных антенных решетки	Пассивная антенная решетка
Поляризация антенны	Вертикальная	Правосторонняя круговая	Круговая
Коэффициент усиления в главном лепестке антенны (дБи)	37,5 на прием, 37 на передачу	Вертикальная клиновидная: 36 Горизонтальная клиновидная: 36	35
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	От $3,5 + \text{csc}^2$ до 20	Вертикальная клиновидная: 9,0 Горизонтальная клиновидная: 0,63	17
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	1,05	Вертикальная клиновидная: 1,04 Горизонтальная клиновидная: 15	0,35

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Система G6	Система G7	Система G8
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	12°/с	Вертикальная клиновидная: 60°/с, половина времени (60 сканирований в минуту)	60 оборотов в минуту
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	360°	30° секторное	Непрерывное
Скорость сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Горизонтальная клиновидная: 20°/с, половина времени (60 сканирований в минуту)	Неприменимо
Тип сканирования в вертикальной плоскости	Неприменимо	Сектор 10°	Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	7,5 в среднем на прием, 2,9 в среднем на передачу	Вертикальная клиновидная: 17 дБи Горизонтальная клиновидная: 18,5 дБи	Плоскость азимута: $\leq +10$ Плоскость угла места: $\leq +20$
Высота подвеса антенны	Уровень земной поверхности	Уровень земной поверхности	От 30 до 100 м над уровнем земли
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3 дБ (МГц)	Не определено 0,8 (по оценкам)	40	28
Коэффициент шума приемника (дБ)	От 5 до 6,5	7,5	3,5
Минимальный различимый сигнал (дБм)	Не определено	-90 ($S/N = 13,5$ дБ)	Не определено
Динамический диапазон (дБ)	65 от шума до компрессии 1 дБ	Не определено	Не определено
Минимальное число обработанных импульсов на один CPI	7	6	4-импульсная некогерентная интеграция
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ (МГц)	Не определено 0,8 (по оценкам)	2	Короткий импульс: нет; Длинный импульс: 50
Ширина полосы излучения (МГц): – 3 дБ – 20 дБ	Не определено 0,8 (по оценкам) Неизвестно	1,1 (простой импульс), 1,8 (NLFM) 5,8 (простой импульс), 3,15 (NLFM)	Не определено Примерно 50 Примерно 100
Возможность подавления помех	Не определено	Не определено	Местная CFAR; Карта помех; 2-D пространственный фильтр

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Система G9	Система G10	Система G11	Система G12
Назначение	Метеорологическая (радиолокация)	Метеорологическая (радиолокация)	Метеорологическая (радиолокация)	РЛС сопровождения
Тип платформы	Наземный	Наземный	Наземный	Наземный
Диапазон настройки (МГц)	9 300–9 375 МГц	9 200–9 500 МГц	9 375 МГц	8 700–9 500 МГц
Модуляция	Импульсная	Импульсная	Импульсная	Линейно-импульсная ЧМ
Пиковая мощность на входе антенны	50 кВт	250 кВт	35 кВт на каждый вид поляризации	150 кВт
Длительность импульса (мкс) и частота следования импульсов (импульс/с)	0,1; 0,25 и 1,0 От 1 000 до 2 000	0,5; 1,0; 0,8 и 2,0 От 1 500 до 250	1 и 2 500	1–15 500–15 000
Максимальный рабочий цикл	0,002	Не определено	Не определено	Не определено
Время нарастания/спада импульса (мкс)	0,05	Не определено	Не определено	0,05
Выходное устройство	Клистрон или магнетрон	Магнетрон	Магнетрон	ЛБВ
Тип диаграммы направленности антенны	"Карандаш"	"Карандаш"	"Карандаш"	"Карандаш"
Тип антенны	Параболическая антенна с возбуждением Кассегрена	Параболическая антенна	Параболическая антенна	Планарная антенная решетка
Поляризация антенны	Линейная (двойная поляризация)	Линейная	Линейная (двойная поляризация)	Линейная
Коэффициент усиления в главном лепестке (дБи)	46	45	40	38
Ширина луча антенны по углу места (градусы)	0,9	< 1,0	1,5	5
Ширина луча антенны по углу азимута (градусы)	0,9	< 1,0	1,5	5
Скорость сканирования в горизонтальной плоскости	От 0 до 20°/с	От 0 до 36°/с	6°/с	300°/с
Тип сканирования в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	Объемное, секторное объемное, стационарное и следящее	Объемное	Объемное	Непрерывное
Антенна вертикального сканирования	От 0° до 20°	Не определено	От 0° до 90°	Неприменимо

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Характеристики	Система G9	Система G10	Система G11	Система G12
Тип сканирования в вертикальной плоскости	Шаги до угла места после горизонтального вращения или изменение угла места при постоянном азимуте	Шаги доследующего угла места после горизонтального вращения	Не определено	Случайное
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	26 дБи	16 дБи	10 дБи (1-й SL) 0 дБи (удаленный SL)	Не определено
Высота подвеса антенны	4 м	От 2 до 30 м	От 5 до 15 м	Уровень земной поверхности
Ширина полосы ПЧ приемника на уровне 3 дБ (МГц)	10, 4 или 1	Не определено	Не определено	3 МГц
Уровень собственных шумов приемника (дБм)	-110	-114	-113	-105
Потери приема (дБ)	Не определено	Не определено	Не определено	Не определено
Ширина полосы импульса ЛЧМ (МГц)	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	3
Ширина полосы РЧ излучения (МГц) – 3 дБ – 20 дБ	Не определено От 6 до 60 МГц (зависит от длительности импульса)	Не определено Не определено	1 МГц 6 МГц	3 МГц

* Радиолокационные системы с характеристиками, аналогичными тем, что указаны в таблице 2 для морских радионавигационных систем, могут также использоваться для аэронавигационных радаров наземного базирования в аэропортах.

2.1 Передатчики

Радары, работающие в полосе частот 8500–10 500 МГц, используют разные виды модуляции, включая немодулированные импульсы, непрерывное излучение (РЛС непрерывного излучения (CW)), частотно-модулированные (ЛЧМ) импульсы и фазокодированные импульсы. В выходных каскадах передатчиков используются магнетронные, полупроводниковые и ЛБВ выходные устройства. В новых радиолокационных системах из-за требований по обработке Доплеровского сигнала наблюдается тенденция применения полупроводниковых и ЛБВ выходных устройств. Кроме того, радары, использующие полупроводниковые выходные устройства имеют меньшую пиковую выходную мощность передатчика и более интенсивные рабочие циклы импульсов. В четырех случаях (системы А4, S2, S5 и G4), рабочий цикл составляет 100%, причем высокомо мощные радиолокационные станции непрерывного излучения работают только на частотах выше 10 ГГц. Наблюдается также тенденция внедрения радарных систем с перестройкой частоты, которые будут подавлять или уменьшать помехи лучше, чем это делают современные системы связи. Перестройка частоты иногда используется для того, чтобы избежать отражений, неоднозначного измерения диапазона. Случайные (или псевдослучайные) излучения на одной несущей частоте могут возникать на интервале когерентной обработки или даже на всех положения луча антенны либо в промежутке времени, когда передается множество импульсов, либо когда передается только один импульс. Эти возможности аналогичны "медленным скачкам частоты" и "быстрым скачкам частоты" в системе электросвязи. Эти важнейшие аспекты радиолокационных систем должны учитываться при проведении исследований совместимости.

Типичные значения ширины полосы РЧ излучения передатчика (на уровне 3 дБ) радаров, работающих в полосе частот 8500–10 500 МГц, может лежать в пределах от 45 кГц до 637 МГц. Выходные пиковые мощности передатчиков лежат в пределах от 1 мВт (0 дБм) для полупроводниковых передатчиков до 220 кВт (83,4 дБм) для высокомо мощных радаров, использующих устройства со скрещенными полями (магнетрон).

Характеристики нежелательных излучений в настоящей Рекомендации не рассматриваются.

2.2 Приемники

В радиолокационных системах новых поколений после определения расстояния и азимута используется цифровая и доплеровская обработка сигнала. Как правило, обработка сигнала включает в себя методы, которые используются для улучшения обнаружения целей и для формирования символов целей на дисплее. Методы обработки сигнала, используемые для улучшения и идентификации целей, также приводят к некоторому подавлению помех с малым рабочим циклом (менее 5%), которые являются асинхронными относительно полезного сигнала.

Для обработки сигнала в радиолокационных системах новых поколений используются импульсы с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) и фазокодированные импульсы для получения нужного коэффициента обработки полезного сигнала, они также могут приводить к подавлению нежелательных сигналов.

Некоторые новые маломощные полупроводниковые радары используют многоканальную обработку сигнала и интенсивный рабочий цикл для того, чтобы усилить отраженные полезные сигналы. Некоторые радиолокационные приемники способны идентифицировать РЧ каналы, в которых малы уровни мешающих сигналов, и дать команду передатчику вести передачу в этих каналах.

2.3 Антенны

В радарх, работающих в полосе частот 8500–10 500 МГц, используются самые разные типы антенн. В этой полосе частот антенны, как правило, имеют удобный размер и, поэтому, их используют в таких приложениях, где важны мобильность, малый вес, а не дальность работы. Многие радары в полосе частот 8500–10 500 МГц работают в самых различных режимах, включая режимы поиска и навигацию (наблюдение погоды). Антенны для таких радаров, обычно, сканируют в горизонтальной плоскости область 360°.

Другие радары в этой полосе частот являются более специализированными, и их сектор сканирования ограничен и фиксирован. В большинстве радаров полосы 8500–10 500 МГц используется механическое сканирование, однако в радарх новых поколений используются антенные решетки с электронным сканированием. Используется горизонтальная, вертикальная и

круговая поляризация. Типичные значения высоты подвеса антенн для радаров наземного базирования и судовых радаров составляет 8 м и 30 м над уровнем поверхности, соответственно, хотя многие морские навигационные РЛС располагаются ниже 30 м.

3 Дополнительные технические и эксплуатационные характеристики судовых радионавигационных систем в полосе частот 9300–9500 МГц

В общем случае, можно сделать четкое различие между радарными, которые соответствуют требованиям международной морской организации (ИМО) (включая те из них, что используются на рыболовецких судах), и теми, что используются на внутренних водных путях (на реках) и теми, что добровольно устанавливаются на прогулочных судах для целей безопасности.

В таблице 4 сделаны сравнения мощности передатчиков и количеством радаров для трех вышеприведенных категорий.

ТАБЛИЦА 4

Категории судовых радионавигационных радаров

Категория радара	Пиковая мощность (кВт)	Общепланетная численность
ИМО и рыболовецкие	≤ 75	$> 300\,000$
Речные	< 10	$< 20\,000$
Прогулочные	< 5	$> 2\,000\,000$

Почти все радары, используемые на речных и прогулочных судах, работают в полосе 9300–9500 МГц. Большая часть ИМО радаров и радаров рыболовецких судов также работают в этой полосе, хотя значительное число радаров ИМО работает в полосе частот 2900–3100 МГц.

Характеристики радара, которые влияют на эффективность использования спектра, включая защитные отношения, это – характеристики антенны радара и его передатчика/приемника. В большинстве морских радаров используются щелевые антенные решетки, однако, в радарных на некоторых прогулочных судах используются коммутируемые антенные решетки или рупорные антенны.

4 Дополнительная информация, относящаяся к морским навигационным РЛС

4.1 Требования к качественным показателям и влияние помех

Радионавигационные системы могут не удовлетворять требованиям к качественным показателям, если мешающие сигналы приводят к различным видам и различным степеням ухудшения помеховой ситуации. В зависимости от конкретных взаимодействующих систем и сценариев работы, типы ухудшения помеховой ситуации могут включать в себя:

- эффекты рассеяния, например, потеря чувствительности или уменьшение расстояния обнаружения, попадание цели и уменьшение скорости обновления;
- дискретные эффекты, например, обнаруженная помеха, увеличение частоты ложных тревог.

Для этих типов ухудшения защитные отношения определяются пороговыми значениями параметров, например, для системы предотвращения столкновений:

- допустимое уменьшение расстояния обнаружения и связанная с ним потеря чувствительности;
- допустимое число пропущенных сканирований;
- допустимая максимальная частота ложных тревог;
- допустимое число потерь реальных целей;
- допустимое число ошибок оценки позиции цели.

Эксплуатационное требование для морских радаров зависит от сценария работы. Оно связано с расстоянием до берега и морских препятствий. Проще говоря, можно описать океанский, прибрежный и портовый сценарии работы.

ИМО утвердила новые стандарты качества работы для морских радаров². В этом варианте ИМО впервые признает возможность помех от других радиослужб.

Наиболее важно, что международные морские администрации утвердили, без каких-либо исключений, в своем последнем обновлении Международной конвенция по охране человеческой жизни на море (SOLAS), что радары остаются основным датчиком для предотвращения столкновений.

Это утверждение следует рассматривать в контексте обязательной установке на некоторых классах судов систем автоматической идентификации (АИС). Эти системы используют внешние источники данных, например, GPS, для проверки относительного положения в целях реализации сценариев предотвращения столкновений.

Однако установка таких систем никогда не учитывает многие морские объекты, например, айсберги, плавающие обломки, остатки кораблекрушений и т. д., которые не оборудованы системой АИС. Эти объекты имеют возможность столкнуться с кораблем, и их требуется обнаружить при помощи судовых радаров. Следовательно, в обозримом будущем основной системой для предотвращения столкновений останутся радары.

Среди других задач радиолокации, в стандартах ИМО упоминается необходимость обнаружения небольших плавающих и фиксированных объектов и содействие навигации. В стандартах требуется, чтобы различные конкретные цели обнаруживались, как минимум, за восемь из десяти интервалов сканирования, и чтобы частота ложных тревог не превышала 10^{-4} . Определенные в этой спецификации цели включают в себя малые суда с радиолокационным отражателем, соответствующим стандартам качества ИМО, а также навигационные буи и малые суда без радиолокационного отражателя, каждый такой объект должен обнаруживаться на определенных расстояниях³. В стандартах требуется также, чтобы точность определения расстояния и точность пеленгации не превышали 30 м и 1° , соответственно. В них требуется, чтобы были предусмотрены средства для адекватного уменьшения помех от других радаров. В них требуется обеспечить возможность различения на дисплее двух точечных объектов в одном направлении, расположенных на расстоянии 40 м друг от друга, а также возможность различения на дисплее двух точечных объектов, разнесенных по углу на $2,5^\circ$. В них требуется также минимизировать вероятность слежения за одной целью вместо другой ("замена цели") и формировать аварийный сигнал при потере отслеживаемой цели, все это также связано с разрешением определения цели и ошибками определения местоположения, которые могут быть усилены под действием помех.

5 Будущие системы радиоопределения

В общих чертах, радары радиоопределения, которые могут быть разработаны в будущем для работы в полосе частот 8500–10 500 МГц, по всей вероятности, будут похожи на описанные здесь существующие радары. Например, одна из администраций планирует развертывание наземных метеорологических радаров малого радиуса в полосе частот 9300–9500 МГц. В дополнение к доказанной возможности обеспечения объемного зондирования всей тропосферы с высоким разрешением, будет разработана распределенная сеть доплеровских метеорологических РЛС, эффективное использование которых будет обеспечиваться за счет работы маломощных полупроводниковых устройств. Другие технические параметры, такие как диаметр антенны 1 м и режимы с малыми рабочими циклами соответствуют существующим радарам радиоопределения, работающим в полосе частот 8500–10 500 МГц. Будущие радары радиоопределения, вероятно, также будут иметь, как минимум, такую же гибкость, как и уже описанные радары, включая возможность работать по-разному в различных секторах азимута и угла места.

Вполне можно ожидать, что некоторые будущие проекты будут иметь возможность работы в широкой полосе частот, простирающейся, как минимум, до пределов полосы частот, использованных в данном исследовании.

² Резолюция ИМО MSC.192(79) "Утверждение пересмотренных стандартов качества для радиолокационного оборудования" утверждена 10 декабря 2004 года.

³ Пересмотренные ИМО стандарты качества для радиолокационных отражателей (Резолюция ИМО MSC.164(78)).

Будущие радары радиоопределения, вероятно, будут иметь антенны с диаграммой направленности, управляемой электронно. Современные технологии превратили фазовое управление в практичную и удобную альтернативу частотному управлению, и в последние годы разработано множество радаров радиоопределения, используемых в других полосах частот, в которых применяется фазовое управление, как по углу места, так и по азимуту. В отличие от радаров с частотным управлением, (например, систем 15 и 17), новые радары с фазированной антенной решеткой могут управляться на любой основной частоте в полосе рабочих частот радара, доходя до любого произвольного азимута и угла места в пределах угловой зоны обслуживания радара. Помимо других преимуществ, эта возможность во многих условиях упростит электромагнитную совместимость.

Ожидается, что некоторые будущие радары будут иметь средние мощности, по крайней мере, не меньше средних мощностей описанных здесь радаров. Однако можно ожидать, что разработчики будущих радаров будут стремиться уменьшить широкополосные шумовые излучения до уровней ниже тех, что обеспечиваются в существующих радарах, использующих магнетроны или усилители со скрещенными полями. Ожидается, что такое шумоподавление будет достигнуто за счет полупроводниковых передатчиков/антенных систем. В этом случае, излучаемые импульсы будут иметь большую длительность, а рабочие циклы передачи будут существенно интенсивнее, чем у современных ламповых радиолокационных передатчиков.

Приложение 2

Защитные отношения для радаров

1 Защитные отношения

1.1 Непрерывная шумоподобная помеха

Мешающие сигналы различных форм оказывают разное влияние на работу радаров, особенно сильно сказывается разница формы импульсов, в частности различаются результаты воздействия непрерывной шумовой энергии и импульсов. Непрерывная шумоподобная помеха снижает чувствительность радаров радиоопределения, и степень этого влияния связана с ее интенсивностью. В пределах любого азимутального сектора, в котором возникает такая помеха, ее спектральная плотность мощности может, до разумного приближения, быть добавлена к спектральной плотности мощности теплового шума радиолокационной системы. Если мощность шума радиолокационной системы в отсутствие помех обозначается символом N , а мощность шумоподобной помехи – символом I , то результирующая эффективная мощность шума становится просто равной $I + N$.

Учитывая, что защитные отношения, традиционно устанавливаемые МСЭ-R, основаны на степени отрицательного воздействия на возможность поддержания требуемого отношения отраженного от цели сигнала и шума в присутствии помех, при котором мощность увеличивалась бы пропорционально увеличению мощности шума от N до $I + N$. Это может быть достигнуто только, если согласиться на меньшие максимальные расстояния до целей, пожертвовав возможностью наблюдать малые цели, или изменить радар, повысив мощность его передатчика и произведение мощности на апертуру. (В современных радарах, шум приемной системы, обычно, уже приближен к минимальному значению, которое невозможно уменьшить, и почти оптимальная обработка сигнала становится обычным делом.)

Эти отрицательные воздействия меняются в зависимости от назначения радара и природы его целей. Для большинства радаров повышение уровня эффективного шума примерно на 1 дБ приведет к максимально допустимому ухудшению качественных показателей. Для случая дискретной цели, имеющей данную среднюю или медианную эффективную поверхность рассеяния радара (RCS), такое увеличение приведет к снижению дальности обнаружения примерно на 6% вне зависимости от любых характеристик флуктуации RCS, которые может иметь цель. Этот эффект является результатом того факта, что в соответствии с наиболее часто применяемой формой основного энергетического уравнения радиолокации дальность, достигаемая в свободном пространстве,

пропорциональна корню 4-й степени от результирующего отношения мощности сигнала к мощности шума (SNR). Увеличение эффективной мощности шума на 1 дБ соответствует умножению мощности на коэффициент 1,26, поэтому, если его не компенсировать, то максимальная дальность до данного дискретного объекта в свободном пространстве, будет уменьшена в $1/(1,26^{1/4})$ раза, т. е. ее следует умножить на коэффициент 1/1,06; при этом уменьшение дальности работы составит примерно 6%. В энергетическом уравнении радиолокации величина SNR также прямо пропорциональна излучаемой мощности, произведению мощности на площадь апертуры (для обзорных РЛС) и эффективной поверхности рассеяния радаров для данной цели. Следовательно, увеличение эффективной мощности шума на 1 дБ может быть компенсировано отказом от обнаружения всех целей, кроме тех, для которых эффективная средняя поверхность рассеяния радаров в 1,26 раза превышает эффективную среднюю поверхность рассеяния цели минимального размера, которая могла быть обнаружена в отсутствие помех, или за счет увеличения излучаемой мощности радаров или произведения мощности на площадь апертуры на 26%. Применение любой из этих возможностей для большинства видов радаров ограничено, поскольку модификация системы может стоить чересчур дорого. Для дискретных целей это понижение качества скажется и на вероятности обнаружения, и на частоте ложных тревог, и на любых характеристиках флуктуации цели.

Метеорологические РЛС для предупреждения о неблагоприятных погодных условиях и радары метеорологических наблюдений отличаются от радаров с дискретными целями тем, что их цели – протяженные области осадков, которые, зачастую, заполняют весь луч радаров (который, обычно, достаточно узок). В соответствующей форме энергетического уравнения радиолокации, величина SNR обратно пропорциональна квадрату обратной величины расстояния, а не 4-й степени обратной ему величины. Для метеорологической РЛС, наблюдающей дождь, полностью заполняющий луч радаров, уменьшение расстояния, необходимого для данной степени точности оценки интенсивности дождя, будет равно корню квадратному из коэффициента, на который следует умножить мощность, при ее изменении на 1 дБ; т. е. $(1,26)^{1/2}$, или 1,12. Таким образом, при наличии таких помех потери дальности обнаружения составляют 12%, что также соответствует уменьшению области покрытия на 21%. Наоборот, для данной дальности помехи будут увеличивать (т. е. ухудшать качество) минимальные погодные параметры, которые могут быть измерены в данных условиях, примерно на 26%, опять же без учета характеристик флуктуации отображения погоды.

Для метеорологических радаров увеличение мощности помехи примерно на 0,5 дБ приведет к уменьшению дальности и площади зоны охвата, соответственно, на 5 и 11%. Такое увеличение мощности помехи соответствует отношению $(I + N)/N$, равному примерно –10 дБ. Однако этот вопрос требует дальнейших исследований.

РЛС с синтетической апертурой (SAR) для получения изображений выполняют когерентное интегрирование отраженных импульсов в течение времени, необходимого для того, чтобы РЧ луч антенны просканировал каждый пиксел наблюдаемой картинки за счет движения радиолокационной платформы. Поскольку ширина засветки такого луча на поверхности земли прямо пропорциональна расстоянию (обычно пропорциональна высоте размещения радаров, и растет также с увеличением угла полосы обзора), то число импульсов, доступных для интегрирования и, следовательно, отношение коэффициента обработки к шуму также пропорционально расстоянию. Следовательно, насколько позволяет гибкость проекта, выходное (после обработки) отношение SNR меняется, и уже не является прямо пропорциональным обратной величине корня четвертой степени из расстояния, которая характерна для наблюдения дискретных целей при помощи РЛС с реальной апертурой, и становится прямо пропорциональной обратной величине корня третьей степени из расстояния. Следовательно, при увеличении эффективной мощности шума на 1 дБ; т. е. при увеличении мощности шума в 1,26 раза, потребуется, умножить расстояние от SAR до данной отображаемой местности на коэффициент $1/(1,26^{1/3})$, что равно 1/1,077; т. е. потеря в расстоянии составит 7,7%. При условии, что эксплуатационные ограничения позволяют такое уменьшение дальности, оно, в свою очередь, приведет к снижению скорости сбора изобразительной информации. Это опять-таки зависит от предела допустимого. Еще одной возможностью является увеличение на 26% средней мощности передатчика SAR, что также зависит от допустимых пределов.

1.1.1 Агрегатное воздействие помех

Увеличение на 1 дБ, упоминаемое в предыдущих параграфах, соответствует умножению отношения $(I + N)/N$ на 1,26, или изменение отношения I/N примерно на –6 дБ. Эта величина представляет собой допустимое суммарное воздействие всех источников помехи. Она применяется для сигнала, принимаемого в основном лепестке антенны РЛС, а также для сигнала, одновременно принимаемого

в боковых лепестках. Допустимое значение отношения I/N для отдельного источника шумоподобной помехи, следовательно, зависит от числа источников помех, а также геометрии их размеров и расположения, и оно должно быть оценено при анализе рассматриваемого сценария работы. Это является следствием того факта, что почти все радары в этой полосе частот выполняют функции наблюдения событий, контролируют невзаимодействующие цели и не используют преимущества избыточности информации, включая повторную передачу пакетов, которая все чаще используется в технологиях электросвязи. Обычно, при зондировании, включая радиолокационное зондирование, радиочастотный спектр используется совершенно иным способом, чем при радиосвязи, и к нему неприменимы те же правила защиты от помех.

1.2 Импульсная помеха

Степень влияния импульсных помех оценить труднее, и оно во многом зависит от используемых приемника и блока обработки, а также от режима работы системы. В частности, выигрыш в отношении сигнал-помеха при дифференциальной обработке сигналов отражения от важных целей (которые являются синхронными импульсами) и импульсных помех (которые, как правило, асинхронные) часто приводит к существенному изменению уровня импульсных помех. Действие таких помех может привести к нескольким различным формам ухудшения качественных показателей. Их оценка может быть целью анализа и/или сравнительных испытаний радаров конкретных типов. Обычно, можно ожидать, что многие возможности радаров описанных здесь типов будут способствовать снижению импульсных помех с малыми рабочими циклами, особенно помех от малочисленных изолированных источников. Методы подавления импульсных помех с малыми рабочими циклами описываются в Рекомендации МСЭ-R М.1372 "Эффективное использование радиочастотного спектра радиолокационными станциями службы радиоопределения".

2 Защитные отношения для судовых радионавигационных радаров

Сегодня, пока еще не существует международного соглашения по защитным отношениям, требуемым в определенных выше сценариях для радаров, установленных в настоящее время на судах. Однако в Рекомендации МСЭ-R М.1461 указан общий уровень помехи/шума, равный -6 дБ.

ИМО разработала предложение по пересмотру эксплуатационного стандарта качественных показателей для судовых РЛС, и этот пересмотр учитывает современные требования МСЭ к нежелательным излучениям. Предложение ИМО по пересмотру, впервые учитывает возможность помех от других служб радиосвязи и содержит новые требования по обнаружению конкретных целей в терминах (флуктуации) эффективной поверхности рассеяния радара (RCS) и требуемой дальности, как функции от полосы рабочих частот радара. Обнаружение цели основано на появлении ее, как минимум, в восьми из десяти сканирований, а вероятность ложной тревоги составляет 10^{-4} . Эти требования по обнаружению указаны для случая отсутствия отражений от поверхности моря, осадков и приповерхностных испарений, для высоты подвеса антенны 15 м над уровнем моря.

Наиболее важно, что международные морские администрации утвердили, без каких-либо исключений, в своем последнем обновлении Международной конвенция по охране человеческой жизни на море (SOLAS), что радары остаются основным датчиком для предотвращения столкновений.

Это утверждение следует рассматривать в контексте обязательной установки на некоторых классах судов систем автоматической идентификации (АИС). Эти системы используют внешние источники данных, например GPS, для проверки относительного положения в целях реализации сценариев предотвращения столкновений.

Однако установка таких систем никогда не учитывает многие морские объекты, например, айсберги, плавающие обломки, остатки кораблекрушений и т. д., которые не оборудованы системой АИС. Эти объекты имеют возможность столкнуться с кораблем, и их требуется обнаружить при помощи судовых радаров. Следовательно, в обозримом будущем основной системой для предотвращения столкновений останутся радары.

Интенсивные дискуссии с морскими администрациями и пользователями привели к созданию эксплуатационных требований, согласно которому во время мореплавания никакие помехи не являются приемлемыми, если их уровень можно регулировать.

В настоящее время проведены испытания для данного подхода, и определено, что для современных судовых РЛС допустимыми являются помехи с (I/N), зависящем от вероятности обнаружения (см. Приложение 3).

Приложение 3

Результаты измерений помех

1 Измерения отношения помех к шумам (I/N) для радаров

До утверждения пересмотренных стандартов ИМО в США и Соединенном Королевстве были проведены испытания радаров с целью определения уязвимости современных морских радаров для различных видов помех.

В испытаниях применялись радары, работающие в диапазонах частот S и X. Здесь рассмотрим только радары диапазона X (9300–9500 МГц). Результаты испытаний представлены в виде вероятности обнаружения как функции от I/N для каждого типа источников помехи.

Следует отметить, что не существует ни спецификации МСЭ, ни какой иной согласованной на международном уровне спецификации для морских радаров и, следовательно, вовсе не удивительно, что имеется широкий диапазон характеристик приемников, используемых в рассматриваемых условиях эксплуатации. Результаты испытаний отражают это многообразие характеристик и показывают непрерывное снижение вероятности обнаружения с ростом уровня помех, также наличие "обрыва", после которого приемник более не способен работать при данном уровне помех.

Эти различия вполне реальны и действительно существуют в современных используемых радарах.

1.1 Характеристики конкретных радаров, использованных при испытаниях

Все радары, обозначенные как D и E, относятся к категории радаров ИМО. Испытания радаров прогулочных судов не производились. Номинальные значения основных параметров радаров были получены из официальных документов одобрения типа, рекламных буклетов и технических руководств. В приемнике радара E используется логарифмический усилитель/детектор, а в радаре D используется логарифмический усилитель, после которого стоит отдельный видео детектор. Во всех радарах на время испытаний отключались схемы временной автоматической регулировки усиления в зависимости от чувствительности (STC) и схемы селекции с малой постоянной времени (FTC).

Характеристики радаров D и E представлены ниже в таблицах 5 и 6.

ТАБЛИЦА 5
Параметры радара D

Параметр	Значение			
Частота (МГц)	9 410 ± 10			
Импульсная мощность (кВт)	30			
Дальность (морских миль)	0,125–1,5	3–24	48	96
Длительность импульса (мкс)	0,070	0,175	0,85	1,0
Частота следования импульсов (Гц)	3 100	1 550	775	390
Ширина полосы ПЧ (МГц)	22	22	6	6
Подавление побочных каналов приема (дБ)	Неизвестно			
Коэффициент шума системы (дБ)	5,5			
Ширина полосы РЧ (МГц)	Неизвестно			
Скорость сканирования антенны (оборотов в минуту)	24/48			
Ширина луча антенны в горизонтальной плоскости (градусы)	1,2			
Ширина луча антенны в вертикальной плоскости (градусы)	25			
Поляризация	Горизонтальная			

ТАБЛИЦА 6
Параметры радара Е

Параметр	Значение		
Частота (МГц)	9 410 ± 10		
Импульсная мощность (кВт)	30		
Дальность (морских миль)	0,125–3	6–24	48–96
Длительность импульса (мкс)	0,050	0,25	0,80
Частота следования импульсов (Гц)	1 800		785
Ширина полосы ПЧ (МГц)	20	20	3
Подавление побочных каналов приема (дБ)	Неизвестно		
Коэффициент шума системы (дБ)	4		
Ширина полосы РЧ (МГц)	Неизвестно		
Скорость сканирования антенны (оборотов в минуту)	25/48		
Время сканирования антенны (с)	2,4/1,25		
Ширина луча антенны в горизонтальной плоскости (градусы)	2,0		
Ширина луча антенны в вертикальной плоскости (градусы)	30,0		
Поляризация	Горизонтальная		

1.2 Возможности подавления помех на приемнике РЛС

Оба типа радаров используют и схемные решения, и обработку сигнала для уменьшения помех от других радаров, расположенных в одном месте. Для уменьшения помех от других РЛС в радарх D и E используются межимпульсные и межкадровые схемы корреляции. Однако схема поддержания постоянной частоты ложных тревог (CFAR) в них не применяется. Описание этих методов подавления помех A содержится в Рекомендации МСЭ-R М.1372.

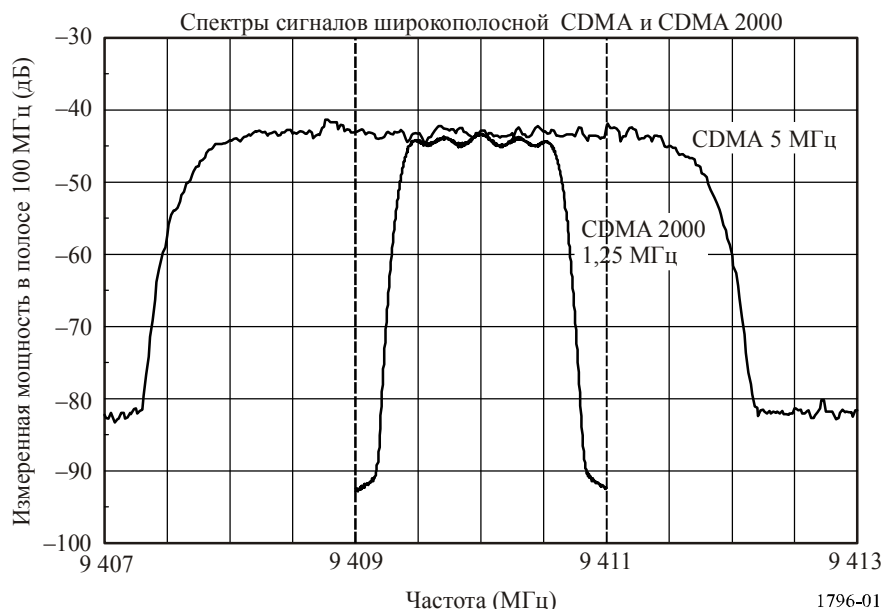
1.3 Мешающие сигналы и сигналы целей

В качестве мешающих сигналов рассматривались импульсные сигналы и цифровые сигналы подвижной телефонии. Источник импульсных помех создавал на входе РЛС импульсный сигнал. Использовались импульсы длительностью 1 мкс и 2 мкс, с частотами следования, соответствующими рабочим циклам 0,1% и 1%. Источник цифровых сигналов подвижной телефонии создавал два обычных сигнала CDMA – один с шириной полосы 5 МГц и второй с шириной полосы 1,25 МГц.

Эти излучения были настроены в соответствии с рабочей частотой и появлялись вместе с появлением моделированных целей. Спектры излучений мешающих сигналов CDMA показаны ниже на рис. 1.

РИСУНОК 1

Общий вид сигнала CDMA



1.4 Генерирование нефлуктуирующей цели

Для создания десяти целей, равномерно распределенных в зоне радиусом 3 морские мили (~ 5,6 км) с одинаковым уровнем РЧ мощности использовалась комбинация генераторов сигналов произвольной формы (AWG), генераторов РЧ сигналов, дискретные схемы, портативный компьютер и другие РЧ компоненты (кабели, разветвители, комбайнеры и т. д.). Уровень мощности моделированных целей был подобран таким, чтобы вероятность обнаружения цели составляла примерно 90%. Эти десять импульсов целей включались триггерами РЛС так, чтобы все они возникали во время обратного хода луча по одной из шкал радара малого радиуса действия, т. е. "одним махом". Следовательно, импульсы эмулировали десять целей на одном радиальном направлении, т. е. с одним курсом. Для регулировки установок экрана РЧ мощность генератора цели была установлена равной такому уровню, при котором все десять целей были бы видны на дисплее индикатора кругового обзора (ИКО), когда регулировки изображения радара установлены в положения, соответствующие нормальной работе. Базовые значения для программных функций, которые регулируют яркость цели и фона, цветности и контраста были экспериментально подобраны персоналом, проводившим испытания с помощью производителей и профессиональных моряков, имеющих опыт работы с радаром такого типа на судах различных размеров. После того, как эти значения были определены, они использовались на протяжении всей программы испытаний для этого радара.

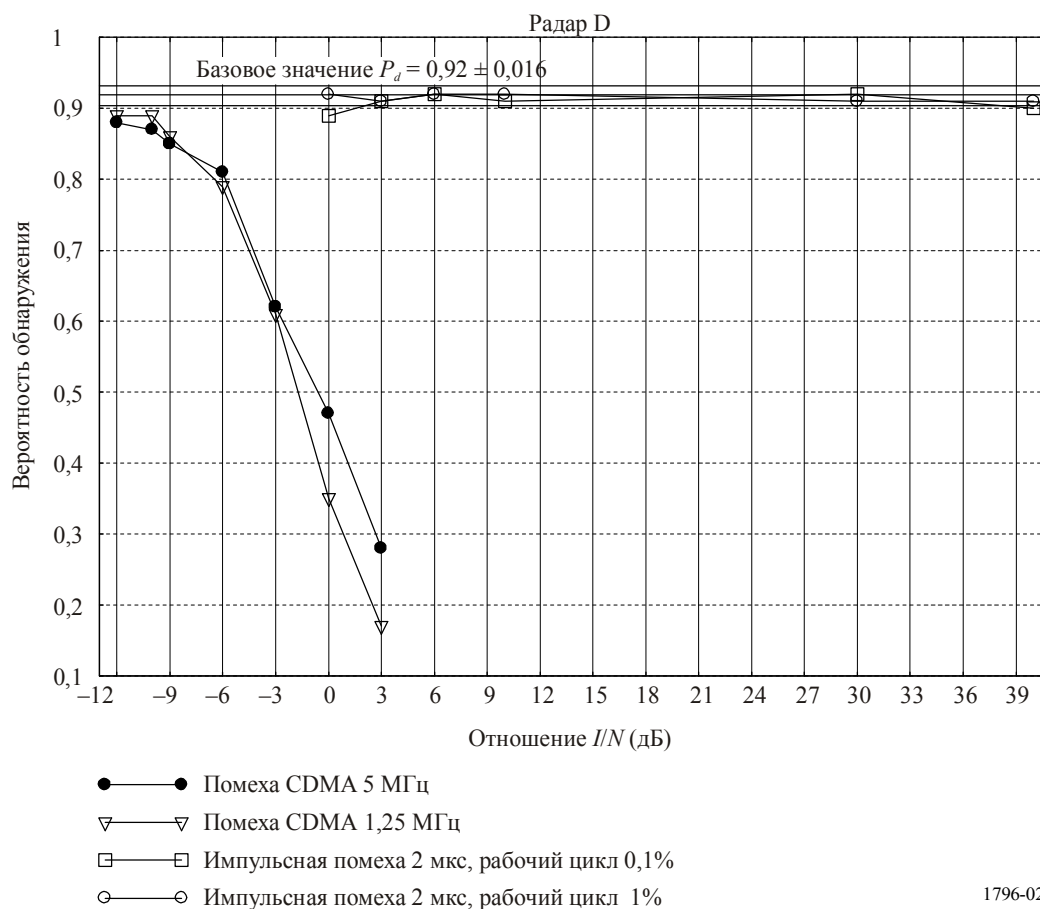
1.5 Результаты испытаний

1.5.1 Радар D

Для радара D можно было наблюдать влияние мешающих сигналов на отдельные цели. Для каждого мешающего сигнала можно было подсчитать уменьшение видимых на индикаторе кругового обзора (ИКО) числа целей с увеличением уровня I/N . Подсчет целей выполнялся для каждого уровня I/N для каждого типа помехи. Расчет базового значения вероятности обнаружения P_d выполнялось перед началом каждого испытания. Результаты испытаний для радара D показаны ниже на рис. 2, где изображена зависимость вероятности обнаружения цели P_d от уровня I/N для каждого

типа помех. Базовое значение P_d на рис. 2 составляет 0,92 с погрешностью 0,016 выше и ниже этого значения. Отметим, что каждая точка на рис. 2 изображает результаты для 500 полезных целей.

РИСУНОК 2

Кривые P_d для радара D

На рис. 2 показано, что, за исключением случая импульсных, помех вероятность обнаружения цели P_d уменьшилась и была ниже базового значения P_d , используемого в этих испытаниях минус стандартная девиация для значений I/N выше -12 дБ для мешающего сигнала CDMA.

1.5.2 Радар E

Для радара E подсчет ухудшения вероятности обнаружения цели P_d был затруднен, так как помехи подавались непосредственно на приемник радара. Помехи приводили к тому, что все цели ослаблялись в одинаковой степени, вне зависимости от того, в какой части строки целей они располагались. Было невозможно добиться того, чтобы с увеличением мощности помех отдельные цели "исчезли", и, следовательно, подсчитать число потерянных целей для вычисления P_d . Следовательно, данные, полученные для радара E, показывают, как влияет каждый уровень I/N для каждого типа помех на проявление всех целей. Данные для радара E показаны ниже в таблице 7.

ТАБЛИЦА 7

Радар Е с мешающими сигналами CDMA

Отношение I/N (дБ)	CDMA шириной 5 МГц	CDMA 2000 шириной 1,25 МГц
-12	Не влияет	Не влияет
-10	Не влияет	Не влияет
-9	Не влияет	Не влияет
-6	Цели тускнеют	Цели тускнеют
-3	Цели тускнеют	Цели тускнеют
0	Цели не видны	Цели не видны
3	Цели не видны	Цели не видны
6	Цели не видны	Цели не видны

Данные в таблице 7 показывают, что мешающие сигналы CDMA влияют на видимость целей на индикаторе кругового обзора (ИКО) радара Е при уровне $I/N = -6$ дБ. На этом уровне яркость целей ИКО заметно падает по отношению к исходному состоянию. На уровнях $I/N = 0$ дБ и выше, цели тускнеют настолько, что их более не видно на ИКО.

Для радара Е импульсные мешающие сигналы длительностью 2,0 и 1,0 мкс с рабочими циклами 0,1 и 1,0% никак не влияют на видимость целей на ИКО при самом большом уровне I/N , который был равен 40 дБ.

1.6 Обзор результатов испытаний

Испытания радаров были выполнены для того, чтобы для конкретных радаров и источников помех определить уровень I/N , при котором помехи "не оказывают влияния" (т. е. радар работает как в базовых условиях). Необработанные отраженные сигналы радара, которые обычно называют "метками" или "сырым изображением", в этих испытаниях наблюдались и/или подсчитывались как цели.

Уровень "не влияет" определяется как уровень, соответствующий 90% вероятности обнаружения за один сканирующий проход и показан ниже в единицах I/N для каждого радара и каждого источника помех. Краткое изложение результатов показано в таблице 8. Определение приемлемого уровня помех для этих типов радаров было несколько субъективным и зависело от остроты зрения и опытности операторов радаров, наблюдающих цели на ИКО, подсчитывающих цели и оценивающих яркость этих целей. Однако конструкция радара не позволяет выполнить эти испытания иным способом, без оператора/испытателя, наблюдающего цели на экране ИКО.

ТАБЛИЦА 8

Краткое изложение результатов

Источник помех	Радар D	Радар Е
Импульсный 0,1	+40	+40
Импульсный 1,0	+40	+40
CDMA 2000 шириной 1,25 МГц	-10	-9
CDMA шириной 5 МГц	-12	-9

Следует отметить, что возможно другое влияние помех, которое снижает эффективность работы радара. Примером является создание "фальшивых целей". Измеряемые морские радары, как правило, не имеют в своем составе блока обработки "постоянной частоты ложных тревог" (CFAR).

Результаты этих испытаний показывают, что, когда отношение I/N для излучений устройств с цифровой модуляцией, направленных в сторону радара того типа, для которых проводились испытания, превышает значение -6 дБ, цели на некоторых радарх начинают тускнеть, радары их начинают терять, или генерировать фальшивые цели. Для других радаров при таком уровне I/N эти эффекты уже были указаны. На настоящий момент времени еще не сделано никаких рекомендаций относительно того, какая величина I/N требуется в каждом конкретном сценарии, отличная от уже указанной ранее ($I/N = -6$ дБ).

Ни один из протестированных радаров не попадал в категорию радаров для прогулочных судов. Эти радары составляют наибольшую численность (в настоящее время $> 2\,000\,000$ единиц по всему миру). В таких радарх нет устройств подавления помех, имеющихся в радарх D и E, и для удовлетворения требований по предотвращению столкновений они могут требовать более высокого уровня защиты.

Испытания показали, что радары могут противостоять импульсным помехам с малым рабочим циклом при высоких уровнях I/N благодаря введению в их состав цепей подавления помех между радаром и/или цепей обработки сигналов. Было показано, что методы подавления помех между радаром с применением межимпульсных и межкадровых схем корреляции и схем обработки "постоянной частоты ложных тревог" (CFAR), описанных в Рекомендации МСЭ-R М.1372, работают достаточно хорошо. Однако те же самые методы не работают для подавления непрерывного излучения или излучения с интенсивным рабочим циклом, которое воспринимается как шум на приемнике радара.

Поскольку большинство морских радаров, работающих в полосе частот 9300–9500 МГц, очень похожи друг на друга по конструкции и по режимам работы, никто не ожидал больших различий в защитных отношениях для радаров, использованных в испытаниях. Следовательно, результаты испытаний могут быть применены для других аналогичных радаров, которые работают в полосе частот 9300–9 500 МГц.

Администрации, желающие выполнить исследования совместимости с целью определения возможности совместной работы в указанной полосе частот, должны использовать эти результаты в качестве руководства при своих исследованиях, зная, что результаты испытаний, представленные в § 1.5 и § 1.6 и, особенно, в таблице 8, были получены для нефлуктуирующих целей. Если бы испытания были выполнены с флуктуирующими целями, то, вероятно, были бы получены другие результаты.
