

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1796-2
(02/2014)

Характеристики и защитные отношения для наземных радаров службы радиоопределения, работающих в полосе частот 8500–10 680 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 МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	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 МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2015 г.

© ITU 2015

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.1796-2

**Характеристики и защитные отношения для наземных радаров
службы радиоопределения, работающих
в полосе частот 8500–10 680 МГц***

(2007-2012-2014)

Сфера применения

Настоящая Рекомендация содержит технические и эксплуатационные характеристики и защитные отношения для систем радиоопределения, работающих в полосе частот 8500–10 680 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.

Ключевые слова

Радар, критерии защиты (защитные отношения), радиолокационная станция (РЛС) обнаружения целей, помеха, радиоопределение

Сокращения/Глоссарий

CFAR	Constant-false-alarm-rate		Постоянная частота ложных тревог
IMO	International Maritime Organization	ИМО	Международная морская организация
pps	Pulses per second		Импульсы в секунду
SART	Search and rescue transponder		Ответчик системы поиска и спасания

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что в определенных полосах частот могут быть получены оптимальные характеристики антенны, распространения сигналов, обнаружения цели, а также большая необходимая ширина полосы частот, требуемые для нормального функционирования радаров;
- b)* что технические характеристики радаров радиоопределения определяются назначением 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, распределенные 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 частот 9300–9500 МГц, приводятся в Рекомендации МСЭ-R М.824;

* Характеристики наземных метеорологических радаров, работающих в данной полосе частот, содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.1849.

b) что технические параметры устройств повышения разрешающей способности цели, работающих в полосе частот 9300–9500 МГц, приводятся в Рекомендации МСЭ-R М.1176;

c) что технические и эксплуатационные характеристики радиолокационных ответчиков системы поиска и спасания (SART), работающих в полосе частот 9200–9500 МГц, приводятся в Рекомендации МСЭ-R М.628,

признавая,

a) что требуемые критерии защиты зависят от конкретных типов мешающих сигналов;

b) что для применения критериев защиты может потребоваться учет статистической природы применения этих критериев 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 8500–10 680 МГц;

2 что настоящая Рекомендация вместе с Рекомендацией МСЭ-R М.1461 должна использоваться при анализе совместимости радаров радиоопределения и систем других служб;

3 в качестве требуемого уровня защиты для радаров радиоопределения в полосе частот 8500–10 680 МГц должно использоваться отношение мощности мешающего сигнала к мощности шума радиолокационного приемника $I/N = -6$ дБ даже в присутствии нескольких источников помех (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 9200–9500 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).

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Более подробная информация представлена в Приложении 2.

Приложение 1

Технические и эксплуатационные характеристики радаров службы радиоопределения в полосе частот 8500–10 680 МГц

1 Введение

Характеристики радаров радиоопределения, работающих во всем мире в полосе частот 8500–10 680 МГц, представлены в таблицах 1, 2, 3 и 4 и описываются в последующих параграфах.

2 Технические характеристики

Полоса частот 8500–10 680 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, навигацию (воздушную и морскую), идентификацию целей и метеорологию (как воздушную, так и наземную). Другими основными

различиями между радарамися являются рабочие циклы передачи, полосы излучения, наличие и типы 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, 3 и 4 приведены технические характеристики типовых радиолокационных и радионавигационных радаров, используемых в полосе частот 8500–10 680 МГц, за исключением метеорологических радаров наземного базирования, параметры которых содержатся в Рекомендации МСЭ-R М.1849.

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 удаленность и пеленг. 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 эффективное 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.

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

- пиковая и средняя мощность передатчика у них, как правило, характеризуется малыми и средними значениями (от 1 до 250 000 Вт) с заметными исключениями;
- в них обычно 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 – либо 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 радарях, как правило, используются разнообразные возможности приема и обработки сигналов, например вспомогательные приемные антенны с подавлением боковых лепестков, обработка импульсных посылок с когерентными несущими в целях подавления мешающих отражений при помощи методов селекции движущихся целей 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 внутриимпульсной линейной ЧМ (ЛЧМ) имеют несколько вариантов ширины импульса с ЛЧМ; и в некоторых радарях 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 радарамися, находящимися в области действия данного радара.

Эти свойства присущи некоторым или всем радарам, характеристики которых представлены в таблицах 1, 2, 3 и 4. 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, работающих в полосе частот 8500–10 680 МГц

Характеристики	Ед. изм.	Система А1	Система А2	Система А3	Система А4
Назначение		РЛС поиска и сопровождения (многофункциональная)	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 (FMCW)
Пиковая мощность на входе антенны	кВт	17	143 (мин.) 220 (макс.)	95	1,5
Длительность импульсов и частота следования импульсов	мкс импульс/с	0,285; 8 200–23 000	2,5; 0,5 400 и 1 600	0,3; 2,35 и 4 2 000, 425 и 250	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	дБи	32,5	34	28,3	35,5
Ширина луча антенны по углу места	градус	4,6	3,8	5,75	2,5
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	3,3	2,5	5,75	2,5
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	236 (118 сканирований в минуту)	36 или 72 (6 или 12 об/мин)	До 106 (до 53 сканирований в минуту)	90
Тип сканирования лучом антенны 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	Ед. изм.	Система А1	Система А2	Система А3	Система А4
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	118 (59 сканирований в минуту)	Неприменимо	148,42 (до 137 сканирований в минуту)	90
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Секторное $\pm 60^\circ$ (механическое)	Неприменимо	Секторное $+25^\circ/-40^\circ$ (механическое)	Секторное $\pm 60^\circ$ (механическое)
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	7,5 для угла 15°	Не определено	5,3 для угла 10°	Не определено
Высота подвеса антенны		Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна
Полоса пропускания фильтра 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 на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	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	Ед. изм.	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	Вт	150	≤ 150	≤ 150
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс импульс/с	От 1 до 20 От 180 до 9 000	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 импульс/с 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	дБи	34,4	32	28,7
Ширина луча антенны по углу места	градус	3,5	4	42

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система А5	Система А6а ⁽¹⁾	Система А6б ⁽¹⁾
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	3,5	2,7	2,7
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	Не определено	≤ 200 (≤ 40 сканирований в минуту)	≤ 200 (≤ 40 сканирований в минуту)
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		Секторное ±30°	Секторное от ±15° до ±135° (механическое)	Секторное от ±15° до ±135° (механическое)
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Не определено	≤ 20 сканирований в минуту	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны 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)	дБи	+3,4	8 для угла 4,2°	3,7 для угла 4,5°
Высота подвеса антенны		Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна (сдвиг ветра на малых высотах)	Высота полета воздушного судна
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	Не определено	WA ≤ 16 для коротких импульсов/субимпульсов, с уменьшением до 0,8 для длинных импульсов/субимпульсов; WS ≥ 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 субимпульса: WA (на уровнях): 3 дБ – от 5 до 0,052; 20 дБ – от 40,5 до 0,37; WS (на уровнях): 3 дБ – 0,46; 20 дБ – 3,28	Для субимпульсов любой длительности – от самого короткого до самого длинного: MGM (на уровнях): 3 дБ – от 7,68 до 0,045; 20 дБ – от 59 до 0,31; DBS (на уровнях): 3 дБ – от 18 до 0,6; 20 дБ – от 150 до 4,1

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система А7а, А7б и А7с ⁽²⁾	Система А7д ⁽²⁾	Система А7е и А7г ⁽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	кВт	50	50	50	10
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс 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	дБи	34,5	34,5	34,5	32
Ширина луча антенны по углу места	градус	4,0	4,0	4,0	9,0
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	2,4	2,4	2,4	1,8
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	36; 360 и 1 800	36; 360; 1 800	36; 360 и 1 800	90 или 360 (15 или 60 оборотов в минуту)

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система А7а, А7б и А7с(2)	Система А7д(2)	Система А7е и А7ф(2)		Система А8
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		Сектор 10°	Сектор 10°	Сектор 10°		360°
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо		Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны 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)	дБи	14,5 для угла 12°	14,5 для угла 12°	14,5 для угла 12°		20
Высота подвеса антенны		Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна		Высота полета воздушного судна
Полоса пропускания фильтра 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 на уровнях:	МГц	Поиск (5 мкс) Поиск (10 мкс) SAR		Импульс с ЛЧМ 100 МГц	Импульс с 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	Ед. изм.	Система А9	Система А10	Система А11	Система А12
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	Многоцелевой обзор, сканирование, слежение
Диапазон настройки	МГц	Радар 9 375 ± 10; Маяк 9 310	Предварительный импульс 9 337 и 9 339 (предшествует каждому рабочему импульсу) Рабочий импульс 9 344	9 375 ± 30	8 500–10 450
Модуляция		Импульсная	Импульсная	Импульсная	Адаптивная импульсная, ЧМ, линейно-импульсная ЧМ (радиоимпульс с ЛЧМ)
Пиковая мощность на входе антенны	кВт	25	0,026 (14 дБВт)	От 2,5 до 6,0	0,03–10
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс импульс/с	4,5; 2,4; 0,8 и 0,2 мкс при 180, 350, 350 и 1 000 импульс/с	9 337 и 9 339 МГц – 1–29 мкс при 2 200–220 импульс/с (нечеткое) 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 4 106,5	0,15–300 адаптивная 1 000–50 000 адаптивная
Максимальный рабочий цикл		0,00082	9 337 и 9 339 МГц ≤ 0,064 9 344 МГц ≤ 0,011 (для импульсов 17 мкс)	0,00043	0,01–0,8 (импульс), 1 (ЧМ)
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 Время спада 0,4	Не определено
Выходное устройство		Магнетрон высокой надежности	Лавинно-пролетный диод	Магнетрон	Полупроводниковый прибор
Тип диаграммы направленности антенны		"Карандаш" и клиновидная	"Карандаш"	"Карандаш"	Цифровое формирование луча
Тип антенны		Плоская антенная решетка	Плоская антенная решетка	Плоская антенная решетка	Активная антенная решетка
Поляризация антенны		Горизонтальная и вертикальная	Горизонтальная	Горизонтальная	Линейная/круговая
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	"Карандаш" 30; клиновидная 29	29	26,7	35–42

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система А9	Система А10	Система А11	Система А12
Ширина луча антенны по углу места	градус	"Карандаш" 3; клиновидная 6	< 10	8,1	1,6 при 42 дБи
Ширина луча антенны по углу азимута	градус/с	"Карандаш" 3; клиновидная 3	7	8,1	1,6 при 42 дБи
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	72 (большого радиуса действия), 270 (малого радиуса действия) (360° – 12 оборотов в минуту (большого радиуса действия), 45 оборотов в минуту (малого радиуса действия)) Секторное не определено	30	25	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		Непрерывное (360°) Секторное (90°)	Секторное 60° или 120°	Секторное (90° или 120°)	±60° электронное сканирование ±120° с дополнительным механическим устройством повторного позиционирования
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		Неприменимо	Наклон, выбираемый оператором, ±30°	Секторное ±30°	±60° электронное сканирование ±120° с дополнительным механическим устройством повторного позиционирования
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	Не определено	+13,9	+4,7	В зависимости от формирования луча
Высота подвеса антенны		Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна	Высота полета воздушного судна
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	Не определено	2,0	1,0	Не определено

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система А9	Система А10	Система А11	Система А12
Коэффициент шума приемника	дБ	6,5	2	5	6
Минимальный различимый сигнал	дБм	Не определено	-128 (чувствительность обнаружения после обработки)	-110	-130
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ	МГц	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Максимум 1,5 ГГц для внутримпульсной ЛЧМ
Ширина полосы РЧ-излучения на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	Не определено Не определено	-3 дБ 9 337 и 9 339 МГц – 0,7; 9 344 МГц – 0,4; 0,25; 0,150; 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 -20 дБ 1,5	В зависимости от режима работы В зависимости от режима работы

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

⁽²⁾ Многорежимный радар.

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система А13
Назначение		РЛС обнаружения и предотвращения столкновений с беспилотными воздушными судами
Диапазон настройки	МГц	8 750–8 850 или 9 300–9 500 (значение выбрано для обеспечения совместимости с прочим бортовым авиационным оборудованием)
Модуляция		Импульсная с внутриимпульсным бинарным фазовым кодом; ширина полосы на уровне 3 дБ = 5 МГц
Пиковая мощность на входе антенны	кВт	0,640 (полезная излучаемая мощность)
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс импульс/с	От 0,2 до 30 От 500 до 60 000 (зависит от режима)
Максимальный рабочий цикл		0,16
Время нарастания/спада импульса	мкс	0,1/0,1
Выходное устройство		Полупроводниковые усилители мощности
Тип диаграммы направленности антенны		Эллиптическое поперечное сечение луча
Тип антенны		Активная антенная решетка с электронным сканированием (АЕСА)
Поляризация антенны		Линейная вертикальная
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	28
Ширина луча антенны по углу места	градус	13,5 в боковом направлении излучения антенны
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	2,7 в боковом направлении излучения антенны

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Характеристики	Ед. изм.	Система А13
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	Растр 8 кадров в минуту с чередующимися корректировками слежения по мере необходимости
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	градус	Секторное ± 110 , электронное сканирование (используются 2 антенны)
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Растр 8 кадров в минуту с чередующимися корректировками слежения по мере необходимости
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	градус	Секторное ± 15 (поиск), ± 45 (слежение); электронное сканирование; электронная стабилизация сектора обзора относительно локальной горизонтальной плоскости
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	< 17 первый боковой лепесток; < 13 наружные боковые лепестки (применимо к уровням боковых лепестков при передаче с равномерным взвешиванием; уровни боковых лепестков при приеме более низкие)
Высота подвеса антенны		Равна высоте полета воздушного судна
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	5–10 (зависит от режима)
Коэффициент шума приемника	дБ	4,4 (коэффициент шума системы)
Минимальный различимый сигнал	дБм	-129 при отношении сигнал/шум 10 дБ (эквивалентная мощность сигнала на выходе пассивной приемной антенны без потерь, исключая усиление антенны и включая усиление в процессе цифровой обработки сигнала)
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ	МГц	10 при использовании радиоимпульсов с ЛЧМ (для возможных режимов роста); 5 для бифазного кода
Ширина полосы РЧ-излучения на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	5–10 (в зависимости от режима) 25

ТАБЛИЦА 2

Характеристики судовых радаров радиоопределения, работающих в полосе частот 8500–10 680 МГц

Характеристики	Ед. изм.	Система S1	Система S2	Система S3	Система S4		Система S5
Назначение		РЛС поиска и навигации	РЛС сопровождения	РЛС обнаружения наземных и маловысотных целей (многофункциональная)	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	9 225–9 500		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	кВт	35	13,3	10	5 (мин.)	50 (макс.)	от 10 ⁻⁶ до 10 ⁻³
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс 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	дБи	29	43	39	27 (мин.)	32 (макс.)	30
Ширина луча антенны по углу места	градус	13	1	1	20,0 (мин.)	26,0 (макс.)	20
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	3	1	1,5	0,75 (мин.)	2,3 (макс.)	1,4

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система S1	Система S2	Система S3	Система S4		Система S5
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	57	90	180	120 (мин.)	360 (макс.)	144
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	градус	360 (механическое)	360 (механическое)	360 или секторное поиск/слежение (механическое)	360		360
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо	90	Неприменимо	Неприменимо		Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Неприменимо	Секторное +83°/-30° (механическое)	Неприменимо	Неприменимо		Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	Не определено	23 (1-й боковой лепесток)	23 (1-й боковой лепесток)	4 для угла $\leq 10^\circ$ (мин.) 3 для угла $\geq 10^\circ$ (макс.)	9 для угла $\leq 10^\circ$ (макс.) 2 для угла $\geq 10^\circ$ (макс.)	5 (1-й боковой лепесток)
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		Не определено	Не определено	Не определено	45 (мин.)	60 (макс.)	
Полоса пропускания фильтра 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 на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	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	Ед. изм.	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	9 225–9 500	9 225–9 500	9 445 ± 30
Модуляция		Импульсная	Импульсная	Импульсная	Импульсная	
Пиковая мощность на входе антенны	кВт	25	1,5	5	От 1,5 до 10	
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс 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	Щелевая коммутируемая антенная решетка или рупор	
Поляризация антенны		Горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная	
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	31	23,9	30	22–30	
Ширина луча антенны по углу места	градус	20	25	26	24–28	
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	0,95	6	0,95	1,9–7	
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	144	144	180	144	
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	градус	360	360	360	360	

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система S6	Система S7	Система S8	Система S9
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	Не определено	+2,9	< 5 в пределах 10°; ≤ 2 за пределами 10°	22 – это уровень главного луча: от 3 до 4 в пределах 10°; от 0 до 3 за пределами 10°; 30 – это уровень главного луча: от 7 до 10 в пределах 10°; от –2 до +7 за пределами 10°
Высота подвеса антенны		Мачта	Мачта	Мачта	Мачта
ПЧ приемника	МГц	Не определено	Не определено	50	45–60
Полоса пропускания фильтра 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 на уровнях: –3 дБ –20 дБ	МГц	14 43	20 55	Не определено	Не определено

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

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система S10	Система S11	Система S12
Назначение		Обзорный радар	Морской навигационный радар	Обзорный радар
Тип платформы		Судовая	Судовая	Корабельная и береговая
Диапазон настройки	МГц	9 225–9 500	9 325–9 460	9 000–9 200 или 9 225–9 500
Модуляция		Сжатие импульсов	Импульсная	V7N РЛС с полностью когерентным сжатием импульсов, использующая комплексную диаграмму направленности радиоимпульсов с ЛЧМ на центральных частотах (до 6 частот), с тремя различными значениями длительности радиоимпульсов
Пиковая мощность на входе антенны	кВт	0,2	25	0,05–0,1
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс импульс/с	0,08–100 1 000–10 000	0,06/0,25/0,5/1 3 000/2 000/1 000/750	От 0,150 до 40 1 000–5 000
Максимальный рабочий цикл		0,2	$7,5 \times 10^{-4}$	0,2
Время нарастания/спада импульса	мкс	0,02	0,015/0,086	Около 0,02
Выходное устройство		Полупроводниковый прибор	Магнетрон (некогерентный)	Полупроводниковый прибор
Тип диаграммы направленности антенны		Клиновидная	Веерный луч	Веерный луч
Тип антенны		Волноводно-щелевая	Волноводно-щелевая решетка	Волноводно-щелевая
Поляризация антенны		Круговая/горизонтальная	Горизонтальная	Горизонтальная
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	37	31	≥ 34
Ширина луча антенны по углу места	градус	11	25	$\leq 16^\circ$ при -3 дБ / $\leq 55^\circ$ при -20 дБ (типичное значение)
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	0,4	0,95	$\leq 0,6^\circ$ при -3 дБ
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	60–288	144 или 240	10–48 об/мин
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	градус	Непрерывное или секторное	Непрерывное	Непрерывное или секторное

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система S10	Система S11	Система S12
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	28	< -32 /удаленные SL < -40	$1,5^\circ - 5^\circ < 6$ $5^\circ - 10^\circ < 4$ $> 10^\circ < -1$
Высота подвеса антенны	м	Как правило, 30–100	Как правило, 10–50 м в зависимости от оборудования судна	В зависимости от оборудования судна
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	180	22 или 5	180 (аналоговый сигнал) разрешение по полосе пропускания равно 12,5 или 25 ⁽⁸⁾
Коэффициент шума приемника	дБ	2,5	2,5	2,5
Минимальный различимый сигнал	дБм	-130	-130	-130 эквивалентное значение после сжатия импульса
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ	МГц	Как правило, 6×35	Неприменимо	$6 \times 35 = 210$ (ширина полосы при -3 дБ) ⁽⁹⁾
Ширина полосы РЧ-излучения на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	240 275	9 при (-3 дБ) 66 при (-20 дБ) для самого короткого импульса	Зависит от настройки профилей. Как правило, используется вся полоса частот, поэтому ширина полосы на уровне -20 дБ остается в пределах полосы частот 9 225–9 500 МГц, а ширина полосы на уровне -3 дБ представляет собой совокупную ширину полосы всех используемых центральных частот. По умолчанию ширина полосы отдельного радиоимпульса с ЛЧМ на уровне -3 дБ равна 35 ⁽¹⁰⁾
Динамический диапазон	дБ			
Минимальное число обработанных импульсов				

⁽⁸⁾ Мгновенная ширина полосы аналогового сигнала в пределах полосы пропускания 180 МГц, которая может быть обработана в процессе аналого-цифрового преобразования. Это "окно" может перемещаться по частоте по мере необходимости.

⁽⁹⁾ Следовательно, термин "общая ширина радиоимпульса с ЛЧМ" по отношению к охватываемому спектру частот означает совокупную ширину полосы всех используемых импульсов с ЛЧМ и, таким образом, составляет до 6×35 МГц = 210 МГц (ширина полосы на уровне -3 дБ).

⁽¹⁰⁾ Могут использоваться до шести отдельных центральных частот. Типичная ширина отдельного радиоимпульса с ЛЧМ (на уровне -3 дБ) составляет 30–35 МГц. Суммарная ширина используемой РЧ-полосы может превышать 180 МГц и, как правило, совпадает с используемой полосой частот (например, 9,0–9,2 ГГц или 9,225–9,500 ГГц).

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система S13
Назначение		Морской навигационный радар
Тип платформы		Корабельная и береговая
Диапазон настройки	МГц	9 200–9 500
Модуляция		Импульс незатухающей волны (CW) для малой дальности Нелинейный радиоимпульс с линейной частотной модуляцией для большой дальности (ширина радиоимпульса с ЛЧМ равна 20 МГц)
Пиковая мощность на входе антенны	кВт	Номинальное значение 0,17 Пиковое значение 0,20
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс импульс/с	Импульсы шириной 0,1; 5 и 33 мкс с интервалами повторения 12, 64 и 365 мкс и эффективной частотой следования импульсов 2 267
Максимальный рабочий цикл		13%
Время нарастания/спада импульса	мкс	Около 0,02
Выходное устройство		Полупроводниковый прибор
Тип диаграммы направленности антенны		Клиновидная
Тип антенны		Щелевая антенная решетка
Поляризация антенны		Горизонтальная
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	32,7 или 34,5
Ширина луча антенны по углу места	градус	25
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	< 0,7 или < 0,45
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	12 или 24 оборота в минуту
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)	градусы	Непрерывное

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

Характеристики	Ед. изм.	Система S13
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	26
Высота подвеса антенны	м	Зависит от размера судна
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	15; 0,1875 и 0,0375
Коэффициент шума приемника	дБ	5,5
Минимальный различимый сигнал	дБм	-125
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ	МГц	20
Ширина полосы РЧ-излучения на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	-3 дБ – 15 (малая дальность) -3 дБ – 20 (большая дальность) -20 дБ – 18 (малая дальность) -20 дБ – 22 (большая дальность)
Динамический диапазон	дБ	125
Минимальное число обработанных импульсов		32 интегрированных импульса (12 об/мин) 16 интегрированных импульсов (24 об/мин)

ТАБЛИЦА 3

Характеристики радиомаяков и наземных радаров радиоопределения, работающих в полосе частот 8500–10 680 МГц*

Характеристики	Ед. изм.	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 управления посадкой
Тип платформы		Воздушного базирования	Наземная (переносной)	Наземная (трейлер)	Наземная (трейлер)	Наземная (трейлер)
Диапазон настройки	МГц	8 800–9 500	9 375 и 9 535 (прием); 9 310 (передача)	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	кВт	0,300	От 0,020 до 0,040	31	14	120
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс 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	Квадрантная	"Карандаш"	"Карандаш"	"Карандаш"/клиновидная
Тип антенны		Волновод с открытым концом	Антенная решетка с излучателями на печатной плате	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	дБи	8	13	42,2	42,2	40

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система G1	Система G2	Система G3	Система G4	Система G5
Ширина луча антенны по углу места	градус	18	20; 3	0,81	1	0,7
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	360	65; 10	1,74	1	1,1
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	Неприменимо	Неприменимо	Не определено	90	От 5 до 30
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		Неприменимо	Неприменимо	Секторное $\pm 45^\circ$ (с фазовым сканированием)	360° (механическое)	Секторное $+23^\circ/+15^\circ$ (с фазовым сканированием)
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо	Неприменимо	Не определено	90	От 5 до 30
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Неприменимо	Неприменимо	Секторное $90^\circ \pm$ наклон антенной решетки (частотное сканирование)	Секторное $90^\circ \pm$ наклон антенной решетки (механическое)	Секторное $+7^\circ/-1^\circ$ (частотное сканирование)
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	Не определено	0 (1-й боковой лепесток)	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
Полоса пропускания фильтра 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 на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	2,4 13,3	4,7 11,2	0,85 5,50	Не определено Не определено	3,6 25,0

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	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	Вт	310,5	500	70
Длительность импульса и частота повторения импульсов	мкс импульс/с	1,2; 30 и 96 12 800, 3 200–6 300 и 2 120	0,65 и 25 парный импульс 3 470; 3 500; 5 200 и 5 300	0,04 и 4,0 (сжат до 0,040) 4 096 каждый, 8 192 всего
Максимальный рабочий цикл		0,203	0,11	0,017
Время нарастания/спада импульса	мкс	Не определено	0,15/0,15 и 0,15/0,15	Короткий импульс 0,016/0,018 Длинный импульс 0,082/0,06
Выходное устройство		Полупроводниковый прибор	Транзисторы	Полупроводниковый прибор
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	Правосторонняя круговая
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	37,5 передача, 37 прием	Вертикальная клиновидная 36 Горизонтальная клиновидная 36	35
Ширина луча антенны по углу места	градус	От $3,5 + \text{csc}^2$ до 20	Вертикальная клиновидная 9,0 Горизонтальная клиновидная 0,63	19
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	1,05	Вертикальная клиновидная 1,04 Горизонтальная клиновидная 15	0,35

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система G6	Система G7	Система G8
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	12	Вертикальная клиновидная 60, половина интервала (60 сканирований в минуту)	360
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		360°	30° секторное	Непрерывное
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо	Горизонтальная клиновидная 20, половина интервала (60 сканирований в минуту)	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Неприменимо	Сектор 10°	Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	7,5 в среднем на передачу 2,9 в среднем на прием	Вертикальная клиновидная 17 Горизонтальная клиновидная 18,5	Плоскость азимута $\leq +10$ Плоскость угла места $\leq +20$
Высота подвеса антенны	м	Уровень земной поверхности	Уровень земной поверхности	От 30 до 100 м над уровнем земли
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	Не определено 0,8 (по оценкам)	40	36
Коэффициент шума приемника	дБ	От 5 до 6,5	7,5	5,56
Минимальный различимый сигнал	дБм	Не определено	-90 ($S/N = 13,5$ дБ)	-96,2
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	Короткого импульса нет Длинный импульс 50
Ширина полосы РЧ-излучения на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	0,8 (по оценкам) Неизвестно	1,1 (простой импульс), 1,8 (NLFM) 5,8 (простой импульс), 3,15 (NLFM)	43,2 70,3
Возможность подавления помех		Не определено	Не определено	Местная CFAR; карта помех; двумерный пространственный фильтр

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система G9
Назначение		РЛС сопровождения
Тип платформы		Наземный
Диапазон настройки	МГц	От 8 700 до 9 500
Модуляция		Линейно-импульсная ЧМ
Пиковая мощность на входе антенны	кВт	150
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс импульс/с	1–15 500–15 000
Максимальный рабочий цикл		Не определено
Время нарастания/спада импульса	мкс	0,05
Выходное устройство		ЛБВ
Тип диаграммы направленности антенны		"Карандаш"
Тип антенны		Планарная антенная решетка
Поляризация антенны		Линейная
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	38
Ширина луча антенны по углу места	градус	5
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	5
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	300
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		Непрерывное
Сканирование лучом антенны в вертикальной плоскости	градус	Неприменимо

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Характеристики	Ед. изм.	Система G9
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Случайное
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	Не определено
Высота подвеса антенны	м	Уровень земной поверхности
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	3
Уровень собственных шумов приемника	дБм	-105
Потери приема	дБ	Не определено
Ширина полосы импульса ЛЧМ	МГц	3
Ширина полосы РЧ-излучения на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	3

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

ТАБЛИЦА 4

Характеристики прочих типов радаров, работающих в полосе частот 8500–10 680 МГц

Характеристики	Ед. изм.	Система G10	Система G11	Система G12
Назначение		Обнаружение проникновения	Обнаружение проникновения	Измерение скорости
Тип платформы		Наземная	Наземная	Наземная
Диапазон настройки	ГГц	10,525	10,15–10,65	10,519–10,531
Модуляция		CW	CW	CW
Пиковая мощность на входе антенны	Вт	10	10	0,5
Пиковая мощность на входе антенны	Вт	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс импульс/с	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Максимальный рабочий цикл		1	1	1
Время нарастания/спада импульса	мкс	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Тип диаграммы направленности антенны		Параболическая антенна	Параболическая антенна	"Карандаш"
Тип антенны		Параболическая антенна	Параболическая антенна	Планарная антенная решетка
Поляризация антенны		Вертикальная	Вертикальная	Вертикальная
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	38	42	21
Ширина луча антенны по углу места	градус	1,9	2	20
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	1,9	1,2	10
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости		Не определено	Не определено	Не определено
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		Не определено	Не определено	Не определено
Антенна вертикального сканирования		Не определено	Не определено	Не определено
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Не определено	Не определено	Не определено

ТАБЛИЦА 4 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система G10	Система G11	Система G12
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	28	22 для угла 3°	9 для угла 14°
Высота подвеса антенны		Не определено	Не определено	Не определено
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Чувствительность	дБм	-100	-152	-136
Коэффициент шума приемника	дБ	13	3,6	7
Ширина полосы импульса ЛЧМ	МГц	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Ширина полосы РЧ-излучения на уровне -40 дБ	МГц	3,2	3,2	3,2

ТАБЛИЦА 4 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система G13	Система G14	Система G15	Система G16
Назначение		РЛС сопровождения	РЛС сопровождения	РЛС сопровождения	РЛС сопровождения
Тип платформы		Воздушного базирования	Судовая	Наземная (трейлер)	Наземная и судовая
Диапазон настройки	ГГц	10,5–10,6	10,5–10,6	10,5–10,6	10,5–10,68
Модуляция		РЛС непрерывного излучения (CW), РЛС непрерывного излучения с частотной модуляцией (FMCW)	РЛС непрерывного излучения (CW), РЛС непрерывного излучения с частотной модуляцией (FMCW)	РЛС непрерывного излучения (CW), РЛС непрерывного излучения с частотной модуляцией (FMCW)	Линейно-импульсная
Пиковая мощность на входе антенны	кВт	1,5	13,3	14	70
Средняя мощность на входе антенны	Вт	–	–	–	20 000
Длительность импульса и частота следования импульсов	мкс импульс/с	Неприменимо Неприменимо	Неприменимо Неприменимо	Неприменимо Неприменимо	2–15 5–140 К
Максимальный рабочий цикл		1	1	1	0,28
Время нарастания/спада импульса	мкс	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо	0,005
Тип диаграммы направленности антенны		"Карандаш"	"Карандаш"	"Карандаш"	"Карандаш"
Тип антенны		Планарная антенная решетка	Планарная антенная решетка	Планарная антенная решетка	Планарная антенная решетка
Поляризация антенны		Линейная	Линейная	Линейная	Линейная
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	35,5	43	42,2	46
Ширина луча антенны по углу места	градус	2,5	1	1	2
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	2,5	1	1	2
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	90	90	90	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		Секторное $\pm 60^\circ$ (механическое)	360° (механическое)	360° (механическое)	Секторное $\pm 90^\circ$ (механическое)

ТАБЛИЦА 4 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система G13	Система G14	Система G15	Система G16
Антенна вертикального сканирования	градус/с	90	90	90	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		Секторное $\pm 60^\circ$ (механическое)	Секторное $+83^\circ/-30^\circ$ (механическое)	Секторное $90^\circ \pm$ наклон антенной решетки (механическое)	Секторное $+85^\circ/-10^\circ$ (механическое)
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	Не определено	23 (1-й боковой лепесток)	Не определено	Не определено
Высота подвеса антенны		Высота полета воздушного судна	Монтируется на мачте/палубе	Уровень земной поверхности	Монтируется на мачте/палубе
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	0,48	0,5	0,52	10
Чувствительность	дБм	–	–113	–113	–112
Мощность шума	дБм	–	–	–	
Коэффициент шума приемника	дБ	3,6	3,5	3,4	4,5
Ширина полосы импульса ЛЧМ	МГц	Не определено	Не определено	Не определено	10
Ширина полосы РЧ-излучения на уровнях: –3 дБ –20 дБ	МГц	Не определено Не определено	Не определено Не определено	Не определено Не определено	5,5 11

ТАБЛИЦА 4 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система G17	Система G18	Система G19
Назначение		Многоцелевой обзор, сканирование, слежение	Оборудование для контроля наземного движения в аэропорту	Оборудование для контроля наземного движения в аэропорту
Тип платформы		Наземная (трейлер)	Наземная	Наземная
Диапазон настройки	МГц	9 200–9 900	9 000–9 200; перестройка частоты для каждого импульса – 16 частот с предварительно заданной быстрой перестройкой частоты	9 000–9 200; перестройка частоты для каждого импульса – 4 частоты с предварительно заданной быстрой перестройкой частоты
Модуляция		Адаптивная импульсная, ЧМ	Простая и линейно-импульсная ЧМ	Два импульса с ЛЧМ определяют пару импульсов
Пиковая мощность на входе антенны	Вт	30–10 000	170	50
Длительность импульса и частота повторения импульсов	мс импульс/с	0,15–30 адаптивная 1 000–20 000 адаптивная	0,040 и 4,0 (сжаты до 0,040) 16 384 каждый	10,0 и 0,15 при 7 500 (оба сжаты до 0,040); максимальное среднее значение в системе 15 000
Максимальный рабочий цикл		0,60 (импульс) 1 (ЧМ)	0,07	0,15
Время нарастания/спада импульса	мс	Не определено	Короткий импульс 0,016/0,023 Длинный импульс 0,038/0,056	Короткий импульс 0,020/0,020 Длинный импульс 0,020/0,020
Выходное устройство		Полупроводниковый прибор	Полупроводниковый прибор	Полупроводниковый прибор
Тип диаграммы направленности антенны		Цифровое формирование луча	Обратная csc ²	Обратная csc ²
Тип антенны		Активная планарная антенная решетка	Пассивная антенная решетка	Волноводно-щелевая
Поляризация антенны		Линейная/круговая	Правосторонняя круговая	Правосторонняя круговая
Коэффициент усиления в главном лепестке	дБи	36–42	37,6	37,6
Ширина луча антенны по углу места	градус	4 при 36 дБи 2 при 42 дБи	9,91	9,91
Ширина луча антенны по углу азимута	градус	2,5 при 36 дБи 1,3 при 42 дБи	0,37	0,37

ТАБЛИЦА 4 (окончание)

Характеристики	Ед. изм.	Система G17	Система G18	Система G19
Скорость сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости	градус/с	Неприменимо	360	360
Тип сканирования лучом антенны в горизонтальной плоскости (непрерывное, случайное, секторное и т. д.)		±60° электронное сканирование N*360° механическое	Непрерывное	Непрерывное
Скорость сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости	градус/с	Неприменимо	Неприменимо	Неприменимо
Тип сканирования лучом антенны в вертикальной плоскости		±40° электронное	Неприменимо	Неприменимо
Уровни боковых лепестков (SL) антенны (1-й и удаленные лепестки)	дБи	В зависимости от формирования луча	9,15	9,15
Высота подвеса антенны		~ 10 м	от 10 до 100 м над уровнем земли	от 10 до 100 м над уровнем земли
Полоса пропускания фильтра ПЧ приемника на уровне 3 дБ	МГц	Не определено	50	180
Коэффициент шума приемника	дБ	6	5,25	5,0
Минимальный различимый сигнал	дБм	-122	-102	-115
Частотный диапазон	дБ	Не определено	Не определено	Не определено
Минимальное число обработанных импульсов на один СРІ		Не определено	Не определено	Не определено
Суммарная ширина импульса с ЛЧМ	МГц	Не определено	Короткий импульс нет Длинный импульс 50	Короткий импульс 35 Длинный импульс 35
Ширина полосы РЧ-излучения на уровнях: -3 дБ -20 дБ	МГц	Адаптивная Адаптивная	50 59	35 42

2.1 Передатчики

Радары, работающие в полосе частот 8500–10 680 МГц, используют разные виды модуляции, включая немодулированные импульсы, непрерывное излучение (РЛС непрерывного излучения (CW)), частотно-модулированные (ЛЧМ) импульсы и фазокодированные импульсы. Некоторые современные радары с цифровой обработкой сигналов могут использовать различные схемы адаптивной модуляции с переменной длительностью и частотой повторения импульсов. В выходных каскадах передатчиков используются магнетронные, полупроводниковые выходные устройства, а также устройства на базе ЛБВ. В новых радиолокационных системах из-за требований по обработке доплеровского сигнала наблюдается тенденция применения полупроводниковых и выходных устройств на базе ЛБВ. 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 положениях 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 8500–10 680 МГц, составляют 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 сигналов. 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.

В радарх нового образца часто используются широкополосные входные каскады с максимально широким по возможности диапазоном частот. ПЧ-фильтры также спроектированы с относительно широкой полосой частот. Это позволяет задействовать такие функции, как скачкообразное изменение полосы и адаптивная модуляция с переменной шириной полосы. Окончательная обработка, включая адаптивную фильтрацию, выполняется в процессе обработки модулирующих сигналов.

2.3 Антенны

В радарх, работающих в полосе частот 8500–10 680 МГц, используются различные типы антенн. В этой полосе частот антенны, как правило, имеют удобный для эксплуатации размер и поэтому их используют при выполнении прикладных задач, в которых мобильность и небольшой вес более важны, чем дальность действия. Многие типы радаров в полосе частот 8500–10 680 МГц работают в различных режимах, включая поиск и навигацию (метеорологические наблюдения). Диапазон сканирования в горизонтальной плоскости для таких антенн составляет, как правило, 360°.

Новейшие разработки в технологии производства радаров (например, низкотемпературная совместно обжигаемая керамика, уменьшение размеров РЧ-модулей, повышенная производительность при обработке данных) позволяют обрабатывать модулирующие сигналы для каждого элемента антенны фазовой антенной решетки.

Направленность отдельных элементов активной фазовой решетки невелика, и луч формируется путем использования большого количества отдельных элементов с переменным фазовым сдвигом. Как следствие, механизмы помех и подавления помех отличаются от антенн предыдущих поколений (например, с параболическими отражателями).

Эти радары обладают возможностью одновременного выполнения различных задач радиолокации (например, слежения и сканирования, а также отслеживания нескольких целей). Построчное сканирование или круговое сканирование лучом карандашного типа заменяется обработкой сигнала с адаптивным слежением и сканированием.

Передачик – передача сигналов осуществляется при помощи коммутируемого с высокой скоростью луча.

Прием – в зависимости от применяемого метода цифровой обработки сигнала прием в принципе может осуществляться двумя способами:

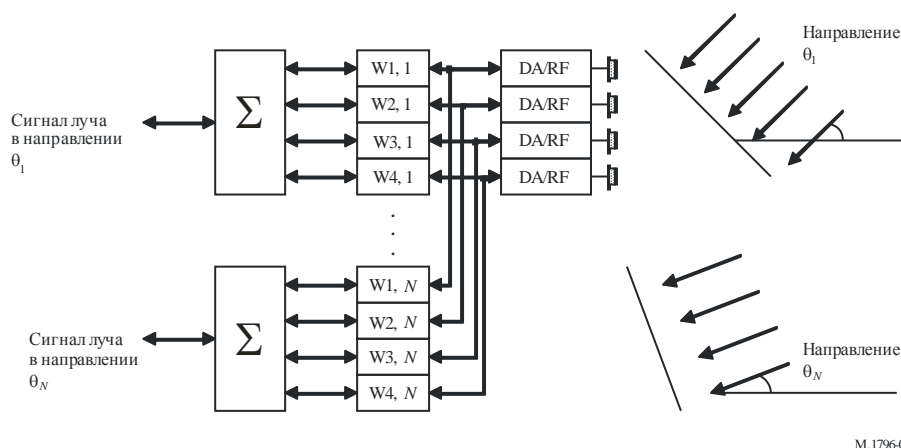
- 1) луч, сформированный цифровым способом, может синхронизироваться с передатчиком;
- 2) помимо этого, существует возможность одновременного обнаружения и приема нескольких сигналов других передатчиков (например, радаров других самолетов) при помощи многолучевой антенны (подробнее см. ниже).

Это означает, что механизмы развязки отличаются от таких механизмов для радаров с обычными антеннами.

Многолучевые антенны (см. рисунок 1)

Каждый элемент антенны выдает модулирующий сигнал, который может быть взвешен по фазе и амплитуде ($W_{i,n}$) с взвешенными модулирующими сигналами ($W_{j,n}$) других элементов. Этот процесс представлен вектором управления для одного направления. Результатом данной математической операции является сигнал, полученный в определенном направлении θ_n . Совмещая различные векторы управления в матрице управления с определенным количеством N различных векторов управления, антенна может принимать сигналы одновременно в различных направлениях от θ_1 до θ_N . Следует заметить, что производительность процессоров современных радаров составляет более одной TFLOPS (10^{12} операций с плавающей запятой в секунду), что дает возможность применения и более крупных антенных решеток. Примером использования может служить формирование луча при помощи БПФ, а также пространственно-временная обработка сигналов.

РИСУНОК 1
Многолучевая антенна



Другие радары в этой полосе частот являются более специализированными, и сканирование в таких радарах ограничивается фиксированным сектором. В большинстве радаров, работающих в полосе частот 8500–10 680 МГц, используется механическое сканирование, однако в некоторых радарах нового поколения используются антенные решетки с электронным сканированием, как описывается далее. Используется горизонтальная, вертикальная и круговая поляризация. Типичные значения высоты подвеса антенн для радаров наземного базирования и судовых радаров составляют 8 м и 30 м над уровнем поверхности соответственно, хотя многие морские радионавигационные РЛС располагаются ниже 30 м.

3 Дополнительные технические и эксплуатационные характеристики судовых радионавигационных систем в полосе частот 9200–9500 МГц

В общем случае можно сделать четкое различие между радарами, 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 в целях безопасности.

В таблице 5 сделаны сравнения уровней мощности передатчиков и количества радаров для трех вышеприведенных категорий.

ТАБЛИЦА 5

Категории судовых радионавигационных радаров

Категория радара	Пиковая мощность (кВт)	Общепланетарная 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 частот 9200–9500 МГц. Большая часть радаров ИМО и радаров рыболовецких судов также работают в этой полосе частот, 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 применяются щелевые антенные решетки, однако в радарах 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 потерю чувствительности или уменьшение расстояния обнаружения, пропадание цели и уменьшение скорости обновления;
- дискретные эффекты, например обнаруженную помеху, 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 приняла пересмотренный вариант стандартов эксплуатационных характеристик для морских радаров¹. В этом варианте ИМО впервые признает возможность помех от других радиослужб.

Наиболее важно, что международные морские власти заявили, без каких-либо оговорок, в своем последнем обновлении Международной конвенции по охране человеческой жизни на море, что радары остаются основным датчиком для предотвращения столкновений.

Это заявление 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 судами, и их требуется обнаруживать при помощи судовых радаров. Следовательно, в обозримом будущем основной системой для предотвращения столкновений останутся радары.

¹ Резолюция ИМО MSC.192(79) "Принятие пересмотренных стандартов эксплуатационных характеристик для радиолокационного оборудования" принята 10 декабря 2004 года.

Среди других задач радиолокации в стандартах ИМО упоминается необходимость обнаружения небольших плавучих 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 эксплуатационных характеристик ИМО, а также навигационные буи и малые суда без радиолокационного отражателя, каждый такой объект должен обнаруживаться на определенных расстояниях². В этих стандартах требуется также, чтобы точность определения расстояния и точность пеленгации находились в пределах 30 м и 1° соответственно и чтобы были предусмотрены средства для адекватного уменьшения помех от других радаров. В стандартах 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 увеличены под действием помех.

4.2 Отдельное описание нового морского навигационного радара S13

Передатчик радара S13 – это полупроводниковое устройство, использующее импульсный радиосигнал с ЛЧМ и соответствующее минимальным эксплуатационным техническим требованиям ИМО (IEC 6227388, новый стандарт для радаров, июль 2008 г.). Такой радар может работать в нескольких режимах, каждый из которых оптимизирован для выполнения конкретных эксплуатационных требований. Режимы работы: обзор рек/каналов, обзор устьев рек, обзор береговых линий, режим пониженного энергопотребления, а также наведение вертолетов при проведении поисково-спасательных операций. Радар S13 обладает рядом важных характеристик:

- полупроводниковый передатчик, в котором вместо магнетрона используются транзисторы;
- когерентные передатчик и приемник;
- для восстановления разрешения по дальности применяется линейно-частотная модуляция и сжатие импульсов;
- присутствие цели определяется при помощи цифровой обработки сигнала с использованием обработки доплеровских сигналов и переменного порогового значения постоянной частоты ложных тревог (CFAR);
- размер антенны в длину составляет 3,7 или 5,5 м, ширина луча по горизонтали менее $0,7^\circ$ (для антенн длиной 3,7 м) или менее $0,45^\circ$ (для антенн длиной 5,5 м);
- работа при низком напряжении;
- избирательность по частоте повторения импульсов. В радаре используются три кадра передачи импульсов с короткими импульсами, обеспечивающими минимальную дальность 30 м, а импульсы средней и большой длины обеспечивают характеристики обнаружения, при которых эффективная частота повторения импульсов (PFR) равна 2268 Гц;
- радар использует несколько кадров для обнаружения цели в пределах ширины луча антенны;
- применение методов обработки доплеровских сигналов;
- пиковая мощность, равная 200 ватт, а минимальная мощность – 170 ватт при рабочем цикле 13%;
- управляемый спектр радиочастот, соответствующий данным МСЭ, и выбор из 12 радиочастот для передачи, что обеспечивает разнесение по частоте для повышения эффективности обнаружения цели;
- цифровой способ формирования радиосигналов радара;

² Пересмотренные ИМО стандарты эксплуатационных характеристик для радиолокационных отражателей (Резолюция MSC.164(78)).

- обработка сигналов, обеспечивающая защиту от многократно отраженных сигналов;
- эффективное обнаружение и подавление помех, возникающих из-за отражения волн от дождя и поверхности моря;
- энергоснабжение для обнаружения цели и соответствие минимальным требованиям ИМО по дальности;
- размер ячейки при определении дальности действия радара, поддерживаемый по всему инструментальному радиусу действия;
- режим пониженного энергопотребления, в котором мощность передатчика снижается на 7 дБ.

5 Дополнительная информация, относящаяся к РЛС обнаружения и предотвращения столкновений с беспилотными воздушными судами

В настоящее время разрабатывается новый класс радаров воздушного базирования под названием "РЛС обнаружения и предотвращения столкновений" (DAA). Новые радары должны повысить уровень безопасности полетов путем предупреждения о потенциально возможных столкновениях или конфликтных ситуациях с невзаимодействующими воздушными судами. (В данном контексте под "невзаимодействующими" следует понимать воздушные суда, не оборудованные ответчиками системы радиолокационных маяков управления воздушным движением (ATCRBS), системой вещательного автоматического зависящего наблюдения (ADS-B), системой предупреждения столкновений самолетов в воздухе (TCAS) или системой предотвращения столкновений самолетов в воздухе (ACAS).) Круг задач этого класса радаров воздушного базирования включает в себя частично пересекающиеся функции: "предотвращение столкновений", "предотвращение конфликтных ситуаций", "самозшелонирование", "безопасное эшелонирование", "обнаружение и предотвращение столкновений в воздухе" (Sense And Avoid) и "должное внимание". Особый интерес этот класс радаров представляет для эксплуатации беспилотных воздушных судов (БВС), не имеющих на борту пилота, способного визуально следить за безопасностью полета.

РЛС обнаружения и предотвращения столкновений самолетов в воздухе должны отслеживать в своем поле зрения все воздушные суда, представляющие потенциальную угрозу (самолеты-нарушители), и одновременно с этим вести поиск новых потенциально опасных целей. В связи с тем что в поле зрения радара часто попадает несколько воздушных судов-нарушителей, необходимо обеспечить возможность одновременного сопровождения нескольких целей. Для этого требуется либо довольно быстрый режим слежения в процессе сканирования, либо чередующиеся функции поиска и слежения в режиме, который называется поиск во время сопровождения, в котором корректировки слежения планируются по мере необходимости. Скорость сканирования луча, необходимая для этого режима работы, превышает возможности антенны с механическим сканированием. По этой причине во всех радарх DAA воздушного базирования, которые разрабатываются на данный момент, используются либо антенны с электронным сканированием, либо методы формирования луча, обеспечивающие необходимые функции поиска и слежения.

Радиус действия, необходимый для обнаружения и слежения, зависит от требуемого времени предупреждения. Это время в свою очередь зависит от скорости платформы базирования (так называемого "своего" в системе "свой-чужой"), скорости потенциально опасных объектов, маневренности "своего" объекта, вида маневра, выполняемого для предотвращения столкновения (например, горизонтальный или вертикальный), и временной задержки при начале и выполнении маневра предотвращения столкновения. Для относительно быстроходных БВС с ограниченной маневренностью требуются датчики с большим радиусом действия, чем для более медленных и более маневренных БВС. Расстояние, на которое должно выдаваться предупреждение об угрозе столкновения, как правило, составляет 2,5–20 км в зависимости от характеристик платформы базирования, характеристик воздушного судна, создающего опасность столкновения, необходимого расстояния расхождения и погрешностей измерения. Слежение за целью должно устанавливаться на большем расстоянии, что позволит обеспечить своевременное предупреждение.

Для этого класса радаров представляет интерес диапазон частот 8500–10 500 МГц, обеспечивающий разумный компромисс между точностью слежения и способностью функционировать в условиях дождя (с интенсивностью от слабого до умеренного). Несмотря на то что высокие частоты

обеспечивают более высокую точность угловых измерений при заданном размере антенны, ослабление радиоволн в дожде с увеличением частоты возрастает намного быстрее, чем повышение точности угловых измерений. На более низких частотах влияние осадков значительно меньше, однако в этом случае необходимая апертура антенны может превышать возможности транспортного средства базирования, на котором устанавливается радар. Особый интерес в данном диапазоне частот представляют две полосы (8750–8850 МГц и 9300–9500 МГц), которые были определены в Отчете МСЭ-R М.2204 как подходящие для данного вида задач и которые распределены воздушной радионавигационной службе (ВРНС).

Прочие характеристики радаров ДАА перечисляются ниже.

- Для обеспечения покрытия по азимуту в пределах $\pm 110^\circ$, как правило, используются два или три зеркала антенны с электронным сканированием.
- Сигналы со средней (MPRF) и/или высокой (HPRF) частотой повторения импульсов, лежащей в диапазоне 5–60 кГц, используются для подавления пассивных помех в зоне нижнего обзора в целях исключения возможных столкновений. Сигналы с низкой частотой повторения импульсов (LPRF), равной приблизительно 1–2 кГц, могут использоваться для обеспечения четко определенных характеристик по радиусу действия в зоне верхнего обзора в целях исключения возможных столкновений.
- Используются полупроводниковые усилители мощности РЧ-сигналов с коэффициентами заполнения периода импульса, составляющими, как правило, от 4 до 20%.
- Сжатие импульсов с использованием внутриимпульсного фазового кодирования (например, кодов Баркера, псевдошумовых кодов, Р-кодов Льюиса-Кречмера и т. д.) или внутриимпульсной линейно-частотной модуляции (ЛЧМ) часто применяется для сокращения размера ячейки дальности, позволяющего увеличить соотношение цель – пассивная помеха с одновременным сохранением высокого коэффициента заполнения периода импульса.
- Цифровая обработка сигналов дает ширину полосы фильтра доплеровских частот в диапазоне 50–500 Гц, обеспечивая опознавание цели на основе значения скорости, а также подавление пассивных помех.
- Моноимпульсное угловое измерение позволяет осуществлять точное угловое слежение по сигналам, отраженным от флуктуирующих целей.
- Перестройка частоты может использоваться для декорреляции флуктуаций цели, повышая вероятность обнаружения и качество слежения.
- Для ослабления влияния сигналов, отраженных от наземных целей, и помех, принимаемых боковыми лепестками антенн, может применяться защитная антенна (которую также называют устройством подавления боковых лепестков).

Характеристики типового радара ДАА представлены в таблице 1 (Система А13).

6 Будущие системы радиоопределения

В общих чертах радары радиоопределения, которые могут быть разработаны в будущем для функционирования в полосе частот 8500–10 680 МГц, по всей вероятности будут похожи на описываемые здесь существующие радары. В дополнение к возможности обеспечения объемной выборки по всей тропосфере с высоким разрешением будет разработана распределенная сеть доплеровских метеорологических РЛС для их эффективного использования 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 8500–10 680 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.

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

Ожидается, что некоторые будущие радары будут иметь средние мощности, по крайней мере не меньше средних мощностей описываемых здесь радаров. Однако можно ожидать, что разработчики будущих радаров будут стремиться уменьшить широкополосные излучения шумов до уровней ниже тех, что обеспечиваются в существующих радаров, 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 влияние на работу радаров самыми разными способами, 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 равной $I + N$.

Учитывая, что защитные отношения для радаров, 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, если только 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 радаров 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 дискретной цели с заданной

средней или медианной величиной RCS подобное увеличение приведет к снижению дальности обнаружения примерно на 6% вне зависимости от любых флуктуационных характеристик RCS, которыми может обладать 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 четвертой 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, то есть 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 радар 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 радар 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 радар 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, будет практически нецелесообразной или невозможной, особенно в мобильных РЛС. Для дискретных целей это понижение качества скажется и на вероятности обнаружения, и на частоте ложных тревог, и на любых характеристиках флуктуации цели.

РЛС воздушного базирования для предупреждения о неблагоприятных погодных условиях и радары метеорологических наблюдений отличаются от радаров с дискретными целями тем, что их целями являются протяженные области осадков, которые зачастую заполняют весь луч радар (который обычно достаточно узок). В соответствующей форме энергетического уравнения радиолокации величина SNR обратно пропорциональна квадрату обратной величины расстояния, а не четвертой степени обратной ему величины. Для метеорологической РЛС, наблюдающей дождь, полностью заполняющий луч радар, 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; то есть $(1,26)^{1/2}$, 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 (то есть ухудшать качество) минимальные погодные параметры, которые могут быть измерены в данных условиях, примерно на 26%, опять же без учета характеристик флуктуации отображения погоды.

РЛС с синтезированной апертурой (SAR) для получения изображений выполняют когерентное интегрирование отраженных импульсов в течение времени, необходимого для того, чтобы РЧ-луч антенны просканировал каждый пиксел наблюдаемой картинке за счет движения радиолокационной платформы. Поскольку ширина засветки такого луча на поверхности земли прямо пропорциональна расстоянию (обычно пропорциональна высоте размещения радар 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, то есть при увеличении мощности шума в 1,26 раза, потребуется уменьшить расстояние от SAR до данной отображаемой местности на коэффициент $1/(1,26^{1/3})$, что равно 1/1,077; то есть 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 допустимого предела. 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 отношению $(I+N)/N$, равному 1,26, или отношению I/N , равному примерно -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 расположения, и оно должно быть оценено при анализе рассматриваемого сценария работы. Это является следствием того факта, что почти все радары в этой полосе частот обслуживают программы, управляемые событиями, контролируют невзаимодействующие цели и не используют преимущества избыточности информации, включая повторную передачу пакетов, которая все чаще используется в технологиях связи. 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 тестирования взаимодействия между радарными конкретными типов. Обычно можно ожидать, что многие возможности радаров описываемых 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 радиопределения".

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 приняла пересмотренный вариант стандартов эксплуатационных характеристик для судовых РЛС, и этот пересмотр учитывает современные требования МСЭ к нежелательным излучениям. В этом варианте ИМО впервые признает возможность помех от других служб радиосвязи, а также он включает новые требования по обнаружению конкретных целей с точки зрения RCS (флуктуации) и требуемой дальности как функции 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 власти заявили, без каких-либо оговорок, в своем последнем обновлении Международной конвенции об охране человеческой жизни на море, что радары остаются основным датчиком для предотвращения столкновений.

Это заявление следует рассматривать в контексте обязательной установки на некоторых классах судов систем автоматической идентификации. 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, плавучие обломки, остатки кораблекрушений и т. д., которые не оборудованы системой АИС. Эти объекты имеют возможность столкнуться с судами, и их требуется обнаруживать при помощи судовых радаров. Следовательно, в обозримом будущем основной системой для предотвращения столкновений останутся радары.

Интенсивные дискуссии с морскими властями и пользователями привели к созданию эксплуатационного требования, 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 отношения помехи к шуму (I/N), зависящие от вероятности обнаружения (см. Приложение 3).

Приложение 3

Результаты измерений помех

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

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

В испытаниях использовались радары, работающие в полосах частот 2900–3100 МГц и 9200–9500 МГц. В настоящем документе рассматриваются только испытания, проведенные в полосе частот 9200–9500 МГц. Результаты испытаний представлены в виде вероятности обнаружения как функции от I/N для каждого типа источников помехи.

Следует отметить, что не существует ни спецификаций МСЭ, ни какой-либо иной согласованной на международном уровне спецификации приемников 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 эффект "запираания", при котором приемник более не способен работать при данном уровне помех.

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

1.1 Характеристики конкретных испытываемых радаров

Оба типа радаров, 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 видеодетектор. 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 6 и 7.

ТАБЛИЦА 6
Параметры радара D

Параметр	Ед. изм.	Значение			
Частота	МГц	9 410 ± 10			
Импульсная мощность	кВт	30			
Дальность	морская миля	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 лучом антенны	оборотов в минуту	24/48			
Ширина луча антенны в горизонтальной плоскости	градус	1,2			
Ширина луча антенны в вертикальной плоскости	градус	25			
Поляризация		Горизонтальная			

ТАБЛИЦА 7
Параметры радара E

Параметр	Ед. изм.	Значение		
Частота	МГц	9 410 ± 10		
Импульсная мощность	кВт	30		
Дальность	Морская миля	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 лучом антенны	Оборотов в минуту	25/48		
Время сканирования лучом антенны	с	2,4/1,25		
Ширина луча антенны в горизонтальной плоскости	Градус	2,0		
Ширина луча антенны в вертикальной плоскости	Градус	30,0		
Поляризация		Горизонтальная		

1.2 Возможности подавления помех в приемнике РЛС

Оба типа радаров используют и схемные решения, и обработку сигнала для уменьшения помех от других радаров, расположенных в том же месте. Для уменьшения помех от других РЛС в радаров 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 содержится в Рекомендации МСЭ-R М.1372.

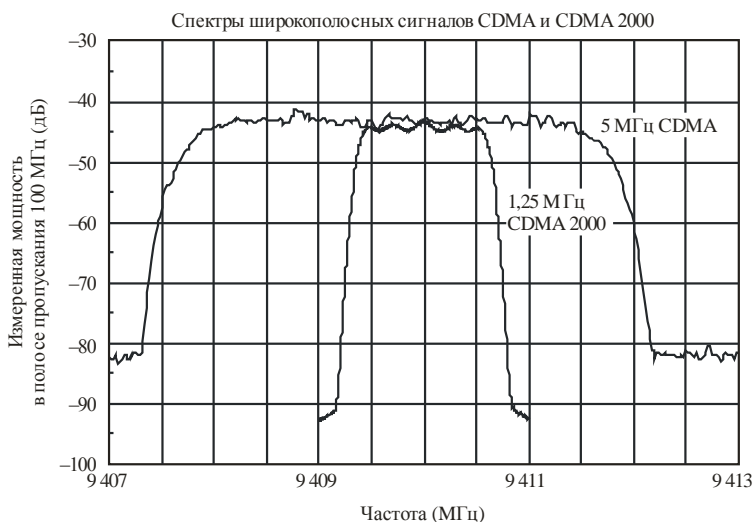
1.3 Мешающие сигналы и сигналы целей

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 рисунке 2.

РИСУНОК 2

Типичные сигналы CDMA



М.1796-02

1.4 Генерирование нефлуктуирующей цели

Для создания десяти целей, равномерно распределенных в зоне радиусом 3 морских мили (~ 5,6 км) с одинаковым уровнем РЧ-мощности, использовалась комбинация генераторов сигналов произвольной формы, генераторов РЧ-сигналов, дискретные схемы, портативный компьютер и другие РЧ-компоненты (кабели, разветвители, сумматоры и т. д.). Уровень мощности моделированных целей был подобран таким, чтобы вероятность обнаружения цели составляла примерно 90%. Эти десять импульсов целей включались триггерами каждой РЛС так, чтобы все они возникали во время обратного хода луча по одной из шкал радара малого радиуса действия, то есть "одним махом". Следовательно, импульсы моделировали десять целей на одном радиальном направлении, то есть по одному пеленгу. Для регулировки установок экрана РЧ-мощность генератора цели была установлена равной такому уровню, при котором все десять целей были бы видны вдоль радиуса 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, цветность и контраст, были экспериментально подобраны

персоналом, проводившим испытания с помощью производителей и профессиональных моряков, имеющих опыт работы с радарами такого типа на судах различных размеров. После того как эти значения были определены, они использовались на протяжении всей программы испытаний для этого радара.

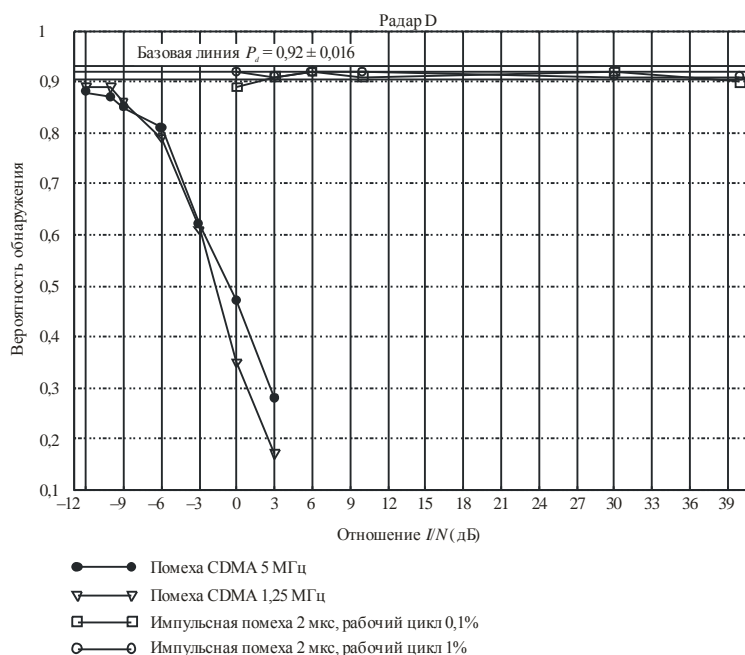
1.5 Результаты испытаний

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 числа целей, видимых на индикаторе кругового обзора (ИКО), с увеличением уровня I/N . Подсчет целей выполнялся для каждого уровня I/N в отношении каждого типа помехи. Расчет базового значения вероятности обнаружения P_d выполнялся перед началом каждого испытания. Результаты испытаний для радара D показаны ниже, на рисунке 3, где изображена зависимость вероятности обнаружения цели P_d от уровня I/N для каждого типа помех. Базовое значение P_d на рисунке 3 составляет 0,92 с погрешностью 0,016 выше и ниже 1 сигмы. Отметим, что каждая точка на рисунке 3 изображает результаты для 500 полезных целей.

РИСУНОК 3

Кривые вероятности обнаружения для радара D



М.1796-03

На рисунке 3 показано, что, за исключением случая импульсных помех, вероятность обнаружения цели P_d уменьшилась 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 затем 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 появление всех целей. Данные для радара E показаны ниже, в таблице 8.

ТАБЛИЦА 8

Радар Е с импульсными 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 8 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" (то есть 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 9. 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 9

Краткое изложение результатов

Источник помех	Радар D	Радар E
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". Испытываемые морские радары, как правило, не имеют в своем составе блока обработки 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 еще не разработано 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 радарми и/или цепей обработки сигналов. Было показано, что методы подавления помех между радарми 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 9200–9500 МГц, схожи по конструкции и режимам работы, то существенных отклонений от критериев защиты для радаров, которые использовались в данных испытаниях, не ожидается. Следовательно, результаты испытаний могут быть применены для других аналогичных радаров, которые работают в полосе частот 9200–9500 МГц.

Администрации, желающие выполнить исследования совместимости в целях определения возможности совместной работы в указанной полосе частот, должны использовать эти результаты в качестве руководства при своих исследованиях, зная, что результаты испытаний, представленные в параграфах 1.5 и 1.6 и особенно в таблице 9, были получены для нефлуктуирующих целей. Если бы испытания были выполнены с флуктуирующими целями, то, вероятно, были бы получены другие результаты.
