

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.2057-1
(01/2018)

Характеристики систем автомобильных радаров, работающих в полосе частот 76–81 ГГц, для применений интеллектуальных транспортных систем

Серия М

**Подвижные службы, служба радиоопределения,
любительская 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	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

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

Электронная публикация
Женева, 2018 г.

© ITU 2018

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

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.2057-1

**Характеристики систем автомобильных радаров,
работающих в полосе частот 76–81 ГГц,
для применений интеллектуальных транспортных систем**

(2014-2018)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации указываются характеристики систем автомобильных радаров, работающих в радиолокационной службе в полосе частот 76–81 ГГц. Эти технические и эксплуатационные характеристики следует использовать в исследованиях совместимости между автомобильными радаром, работающими в радиолокационной службе, и системами, работающими в других службах.

Ключевые слова

Характеристики, критерии защиты, автомобильный радар, интеллектуальные транспортные системы

Сокращения/гlossарий

ACC	Adaptive cruise control	Адаптивное автоматическое поддержание скорости
CA	Collision avoidance	Предотвращение столкновений
FMCW	Frequency modulated continuous wave	Частотно-модулированная незатухающая волна
ITS	Intelligent transport systems (ИТС)	Интеллектуальные транспортные системы

Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1452 Автомобильные радары для предотвращения столкновений и системы радиосвязи диапазона миллиметровых волн для применений интеллектуальных транспортных систем

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что характеристики антенны, распространения сигнала, определения цели и большой ширины полосы для автомобильных радаров необходимы для оптимального выполнения радаром своих функций в определенных полосах частот;
- b) что технические характеристики радаров, работающих в службе радиоопределения, определяются потребностями системы и могут широко варьироваться в зависимости от полосы частот;
- c) что требуются типовые технические и эксплуатационные характеристики систем, действующих в полосах частот, распределенных службе радиоопределения, чтобы определить возможность введения новых типов систем;
- d) что требуются процедуры и методики анализа совместимости между радаром, работающими в службе радиоопределения, и системами других служб,

рекомендует,

использовать для проведения исследований совместного использования частот и совместимости характеристики систем автомобильных радаров, работающих в полосе частот 76–81 ГГц, для применений интеллектуальных транспортных систем (ИТС), описанных в Приложении 1.

Приложение 1

Характеристики систем автомобильных радаров, работающих в полосе частот 76–81 ГГц, для применений интеллектуальных транспортных систем

1 Введение

В полосе частот 76–81 ГГц работают системы автомобильных радаров, предназначенные для обеспечения более высокого уровня безопасности дорожного движения. В связи с меняющимся спросом на применения в области безопасности автомобилей, направленных на снижение количества дорожно-транспортных происшествий, в том числе со смертельным исходом, требуется разрешение по дальности для систем автомобильных радаров, ведущее к необходимой полосе частот шириной до 4 ГГц.

2 Технические характеристики систем автомобильных радаров, работающих в полосе частот 76–81 ГГц

Что касается функциональных требований и требований безопасности, то системы автомобильных радаров, работающие в полосе частот 76–81 ГГц, можно разделить на две категории.

- **Категория 1** – радары для адаптивного автоматического поддержания скорости (ACC) и предотвращения столкновений (CA) с дальностью измерения до 250 метров, типовые технические характеристики которых приводятся в таблице 1 в качестве радара А. Для этих применений требуется максимальная непрерывная ширина полосы в 1 ГГц. Считается, что такие радары обеспечивают дополнительные функции, направленные на повышение уровня комфорта водителя, что способствует снижению уровня стресса при вождении автомобиля.
- **Категория 2** – датчики для применений с высоким разрешением, таких как обнаружение объектов вне зоны видимости водителя, помощь при смене ряда движения, предупреждение об объектах, движущихся в поперечном направлении сзади, и обнаружение пешеходов и велосипедистов в непосредственной близости от транспортного средства, с дальностью измерения до 100 м, типовые технические характеристики которых приводятся в таблице 1 в качестве радара В, радара С и радара D. Для этих применений с высоким разрешением требуется необходимая полоса шириной 4 ГГц. Такие радары напрямую повышают уровень пассивной и активной безопасности транспортного средства и поэтому приносят существенную пользу с точки зрения повышения безопасности дорожного движения. Повышенные требования к активной и пассивной безопасности транспортного средства уже находят свое отражение в требованиях в отношении испытаний транспортных средств. Радар Е действует с более широкой зоной видимости, что дает возможность для использования применений с высоким разрешением, таких как обнаружение пешеходов, помощь при парковке и чрезвычайное торможение на небольшой скорости (< 30 км/ч).

Технические параметры радиолокационных радарных систем, действующих в полосах частот 76–77 ГГц и 77–81 ГГц, приводятся в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

Характеристики автомобильных радаров, работающих в полосе частот 76–81 ГГц

Параметры	Единицы измерения	Радар А ⁽¹⁾ Автомобильный радар Для фронтальных применений, например для АСС	Радар В Автомобильный радар с высоким разрешением Для фронтальных применений	Радар С Автомобильный радар с высоким разрешением Для угловых применений	Радар D Автомобильный радар с высоким разрешением	Радар E Автомобильный радар с высоким разрешением Применения с очень небольшой дальностью действия (например, помощь при парковке, СА на очень малой скорости)
Используемый поддиапазон частот	ГГц	76–77	77–81	77–81	77–81	77–81
Типовая дальность измерения	м	До 250	До 100	До 100	До 100	До 50
Разрешение по дальности	см	75	7,5	7,5	7,5	7,5
Типовой тип излучения		FMCW, быстрая FMCW	FMCW, быстрая FMCW	FMCW, быстрая FMCW	FMCW	FMCW, быстрая FMCW
Максимальная необходимая ширина полосы	ГГц	1	4	4	4	4
Ширина полосы ЛЧМ	ГГц	1	2–4	2–4	2–4	2
Стандартное время развертки	мс	10 000–40 000 для FMCW 10–40 для быстрой FMCW	10 000–40 000 для FMCW 10–40 для быстрой FMCW	10 000–40 000 для FMCW 10–40 для быстрой FMCW	2 000–20 000 для FMCW	10 000–40 000 для FMCW 10–40 для быстрой FMCW
Максимальная э.и.и.м.	дБм	55	33	33	45	33
Максимальная мощность передачи на антенну	дБм	10	10	10	10	10

Рек. МСЭ-R M.2057-1
ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Параметры	Единицы измерения	Радар А ⁽¹⁾ Автомобильный радар Для фронтальных применений, например для АСС	Радар В Автомобильный радар с высоким разрешением Для фронтальных применений	Радар С Автомобильный радар с высоким разрешением Для угловых применений	Радар D Автомобильный радар с высоким разрешением	Радар E Автомобильный радар с высоким разрешением Применения с очень небольшой дальностью действия (например, помощь при парковке, СА на очень малой скорости)
Максимальная плотность мощности нежелательных излучений	дБм/МГц	0 (73,5–76 ГГц и 77–79,5 ГГц) –30 в других случаях	–30	–30	–13 ⁽²⁾	–30
Ширина приемника (–3 дБ)	ПЧ МГц	0,5–1	10	10	10	10
Ширина приемника (–20 дБ)	ПЧ МГц	0,5–20	15	15	15	15
Чувствительность приемника ⁽³⁾	дБм	–115	–120	–120	–120	–120
Коэффициент шума приемника	дБ	15	12	12	12	12
Эквивалентная ширина полосы шума	кГц	25	16	16	16	16
Усиление в главном луче антенны	дБи	Типичное 30, максимальное 45	TX 23 RX 16	TX 23 RX 13	TX 35 max RX 35 max	TX 23 RX 13
Высота антенны	м	0,3–1 над уровнем дорожного покрытия	0,3–1 над уровнем дорожного покрытия	0,3–1 над уровнем дорожного покрытия	0,3–1 над уровнем дорожного покрытия	0,3–1 над уровнем дорожного покрытия
Азимут антенны при ширине луча по уровню 10 дБ	градусы	TX/RX ±10	TX ±22,5 RX ±25	TX ±23 RX ±30	TX ±30 RX ±30	TX ±50 RX ±50

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Параметры	Единицы измерения	Радар А ⁽¹⁾ Автомобильный радар Для фронтальных применений, например для АСС	Радар В Автомобильный радар с высоким разрешением Для фронтальных применений	Радар С Автомобильный радар с высоким разрешением Для угловых применений	Радар D Автомобильный радар с высоким разрешением	Радар E Автомобильный радар с высоким разрешением Применения с очень небольшой дальностью действия (например, помощь при парковке, СА на очень малой скорости)
Азимут антенны при ширине луча по уровню 3 дБ ⁽⁴⁾	градусы	TX/RX ±5	TX ±12,5 RX ±13,5	TX ±12,5 RX ±16	TX ±16 RX ±16	TX ±27 RX ±27
Азимут антенны при ширине луча по уровню -3 дБ	градусы	TX/RX ±3	TX/RX ±5,5	TX/RX ± 5,5	TX/RX ± 5,5	TX/RX ± 5,5

⁽¹⁾ Радар типа А относится к Рекомендации МСЭ-R М.1452.

⁽²⁾ Максимальная плотность мощности нежелательных излучений на входном терминале антенны.

⁽³⁾ Чувствительность приемника определяется с использованием эквивалентной ширины полосы шума.

⁽⁴⁾ Данный параметр используется в диаграмме направленности антенны, определенной в нижеследующем пункте 3 (φ₃).

3 Диаграмма направленности антенны

Нижеследующие уравнения отражают диаграмму направленности антенны, которую можно использовать при анализе помех:

$$G(\varphi, \theta) = G_{ref}(x);$$

$$G_{ref}(x) = G_0 - 12x^2 \quad \text{для} \quad 0 \leq x < 1,152;$$

$$G_{ref}(x) = G_0 - 15 - 15 \log(x) \quad \text{для} \quad 1,152 \leq x$$

при

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\tan \theta}{\sin \varphi}\right);$$

$$\Psi_\alpha = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\cos \alpha}{\varphi_3}\right)^2 + \left(\frac{\sin \alpha}{\theta_3}\right)^2}};$$

$$\Psi = \arccos(\cos \varphi \cdot \cos \theta);$$

$$x = \frac{\Psi}{\Psi_\alpha},$$

где:

- $G(\varphi, \theta)$: коэффициент усиления относительно изотропной антенны (дБи);
- G_0 : максимальный коэффициент усиления в горизонтальной или почти горизонтальной плоскости (дБи);
- θ : абсолютное значение угла места относительно угла максимального коэффициента усиления (градусы);
- θ_3 : ширина луча по уровню 3 дБ в вертикальной плоскости (градусы);
- φ : азимутальный угол относительно угла максимального усиления (градусы);
- φ_3 : ширина луча по уровню 3 дБ в азимутальной плоскости (градусы).

В Приложении 2 представлены диаграммы направленности антенны, полученные с использованием этих формул, для пяти типов радаров, указанных в таблице 1.

4 Эксплуатационные характеристики систем автомобильных радаров, работающих в полосах частот 76–77 ГГц и 77–81 ГГц

Применения автомобильных радаров развиваются от выполнения дополнительных функций по обеспечению комфорта, таких как радары для адаптивного автоматического поддержания скорости (АСС) и предотвращения столкновений (СА), до функций, которые существенным образом повышают уровень пассивной и активной безопасности транспортного средства. Для этого требуются системы, которые могут обнаруживать объекты в непосредственной близости (примерно в 15 метрах) от транспортного средства, такие как пешеходы и велосипедисты. Для таких применений требуются датчики радаров, обладающие способностью определять расстояние до цели с точностью менее 10 сантиметров. Датчикам радаров, которые обеспечивают такую разрешающую способность, требуется рабочая полоса частот шириной 4 ГГц.

Датчики радаров типа А обнаруживают соответствующее дорожное движение, чтобы адаптировать скорость транспортного средства к скорости других движущихся впереди транспортных средств. Для удовлетворения спроса на повышение безопасности автомобилей и в зависимости от применения одна или несколько систем автомобильных радаров типа А может или могут быть объединены дополнительными датчиками радаров типа В, С, D и Е на одном транспортном средстве. На основе информации, получаемой от датчиков, система обработки данных транспортного средства будет приводить в действие соответствующий радар.

Датчики радаров типа В, С, D и E охватывают зону, расположенную в непосредственной близости от транспортного средства, и будут обеспечивать дополнительные функции активной и пассивной безопасности, такие как автономное чрезвычайное торможение, активная помощь вне зоны видимости водителя и помощь при смене ряда движения.

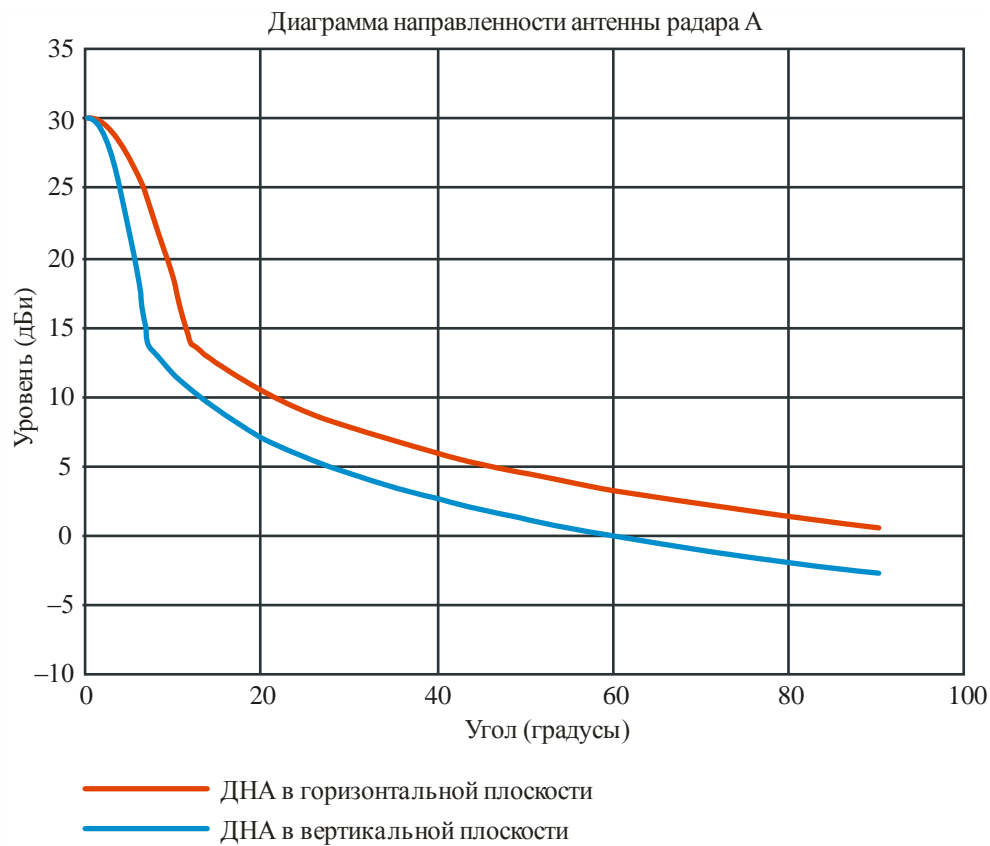
5 Критерии защиты

Влияние модуляции типа незатухающей волны, непрерывной частотно-модулированной волны (FMCW) или шумоподобного типа на уменьшение чувствительности радаров от помех других служб, работающих в этой полосе частот, связано с ее интенсивностью и может прогнозироваться. В любых азимутальных секторах, в которые поступает такая помеха, ее спектральная плотность мощности в пределах допустимого приближения может просто добавляться к спектральной плотности мощности теплового шума приемника радара. Если спектральную плотность мощности шума приемника радара при отсутствии помех обозначить как N_0 , а спектральную плотность мощности шумоподобной помехи как I_0 , то получаемая в результате эффективная спектральная плотность мощности шума становится просто $I_0 + N_0$. Увеличение примерно на 1 дБ для автомобильных радаров составило бы существенное ухудшение. Такое увеличение соответствует отношению $(I + N)/N$, равному 1,26, или критерию защиты I/N , равному примерно –6 дБ.

Совокупный фактор может быть весьма существенным в некоторых системах связи с большим количеством развернутых станций. Влияние импульсной помехи определить сложнее, и оно сильно зависит от конструкции и режима работы приемника/процессора. В частности, дифференцированный выигрыш при обработке в отношении сигнала, отраженного от важной цели, который синхронно работает в импульсном режиме, и в отношении импульсов помехи, которые обычно являются несинхронными, часто оказывает значительное влияние на воздействие заданных уровней импульсной помехи. Подобным уменьшением чувствительности может быть вызвано несколько различных форм ухудшения показателей работы. Оценка этого будет являться целью для анализа взаимодействия между конкретными типами радаров.

Приложение 2

Примеры диаграмм направленности антенны при передаче для типов радаров, указанных в таблице 1



М.2057-0 1

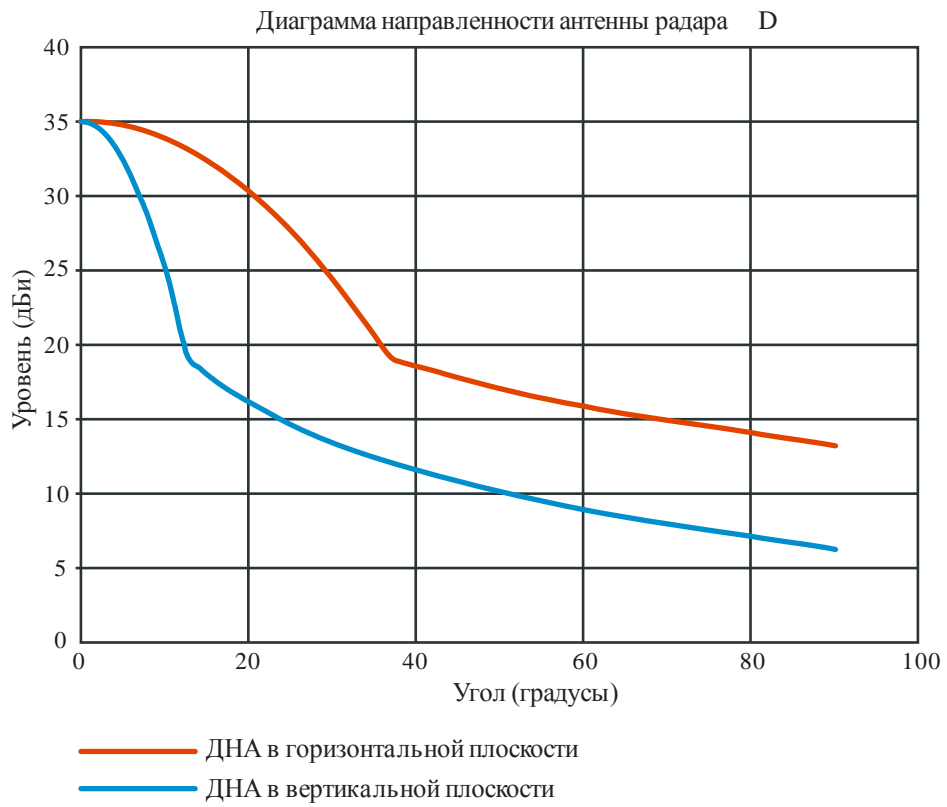
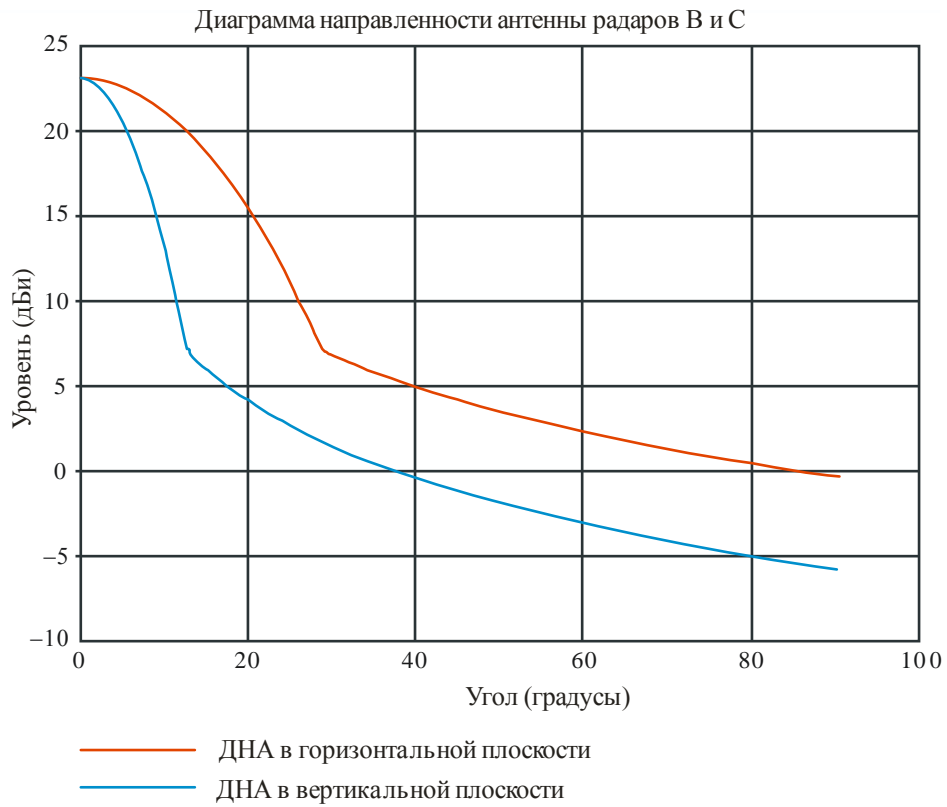
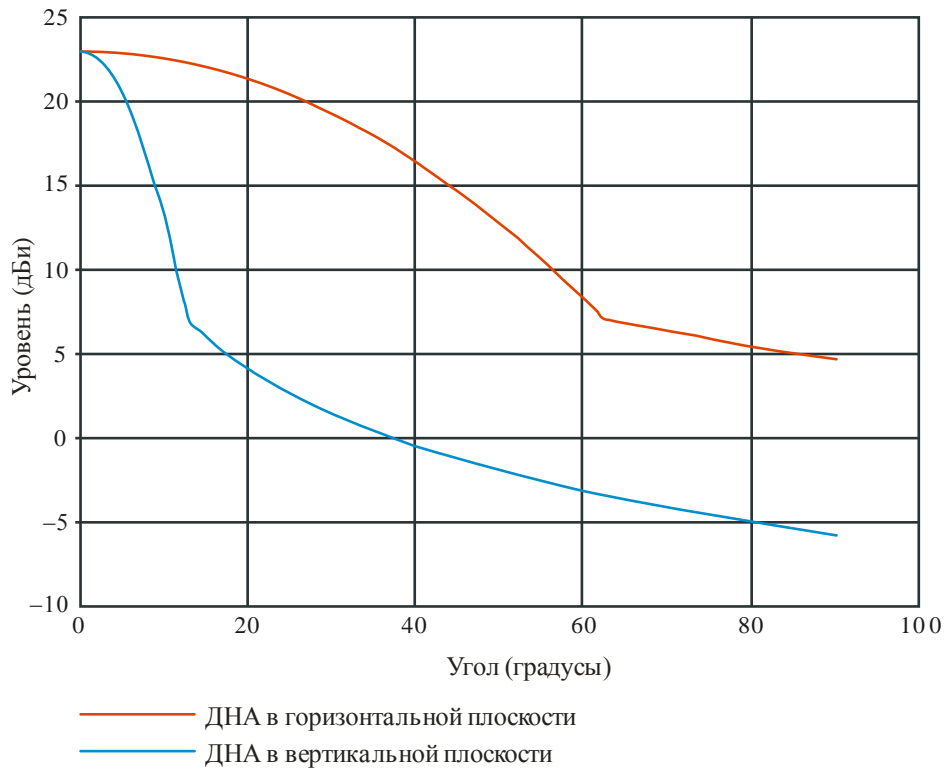


Диаграмма направленности антенны радара Е



М.2057-04