

Рекомендация МСЭ-R М.1461-2
(01/2018)

**Процедуры определения потенциальных
помех между радарными, работающими
в службе радиоопределения,
и системами в других службах**

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.1461-2*

**Процедуры определения потенциальных помех между радарными,
работающими в службе радиоопределения,
и системами в других службах**

(Вопрос МСЭ-R 226/5)

(2000-2003-2018)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приведены руководящие указания и процедуры для определения потенциальных помех между радарными, работающими в службе радиоопределения, и системами в других службах.

Ключевые слова

Радар, процедура, помехи, критерии защиты.

Сокращения/гlossарий

BPSK	Binary phase shift keying		Двоичная фазовая манипуляция
CW	Continuous-wave		Непрерывная волна
FDR	Frequency dependent rejection		Частотно-зависимое подавление
LNA	Low noise amplifier	МШУ	Малошумящий усилитель
OFR	Off-frequency rejection		Подавление вне частоты настройки
OTR	On-tune rejection		Подавление на частоте настройки
QPSK	Quadrature phase shift keying		Квадратурная фазовая манипуляция

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что характеристики радаров, относящиеся к антенне, распространению сигнала, обнаружению цели и большой необходимой ширине полосы, требуемые для выполнения ими своих функций, в некоторых полосах частот являются оптимальными;
- b)* что технические характеристики радаров, работающих в службе радиоопределения, зависят от назначения системы и широко варьируются даже в пределах одной полосы частот;
- c)* что радионавигационная служба относится к службам безопасности, как это определено в пункте 4.10 Регламента радиосвязи (РР), и создание вредных помех этой службе недопустимо;
- d)* что в настоящее время ряд технических групп МСЭ-R рассматривают возможность внедрения новых типов систем (например, систем фиксированного беспроводного доступа и систем фиксированной и подвижной связи высокой плотности) или служб в полосах между 420 МГц и 34 ГГц, используемых радарными службами радиоопределения;
- e)* что для изучения осуществимости внедрения новых типов систем необходимы типовые технические и эксплуатационные характеристики систем, работающих в полосах, которые распределены службе радиоопределения;

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения Международной морской организации (ИМО), Международной организации гражданской авиации (ИКАО), Международного комитета по морской радиосвязи (МКМР) и Всемирной метеорологической организации (ВМО).

f) что требуются процедуры и методики анализа совместимости радаров, работающих в службе радиоопределения, и систем других служб,

рекомендует

1 использовать процедуры, изложенные в Приложении 1, в качестве руководства при определении потенциальных помех между радарными, работающими в службе радиоопределения, и системами других служб;

2 использовать для исследуемой полосы частот характеристики радаров, приведенные в соответствующих Рекомендациях МСЭ-R.

Приложение 1

Процедуры определения потенциальных помех между радарными, работающими в службе радиоопределения, и системами в других службах

1 Введение

В отношении потенциальных помех были разработаны процедуры анализа. Ввиду высоких значений выходной мощности передатчиков (от 50 киловатт до нескольких мегаватт) и коэффициента усиления антенн (30–45 дБи) радаров, работающих в службе радиоопределения (именуемых далее просто радарными), совместимость между этими радарными и системами других служб определяется в основном путем анализа воздействия излучения радаров на прием в других службах. Поэтому основным содержанием настоящей процедуры анализа являются методы оценки потенциальных помех от радаров. Кроме того, кратко обсуждается возможная потеря чувствительности приемников радаров, обусловленная излучениями от систем других служб, работающих в режиме модулированной непрерывной волны (CW).

В связи с характером решаемых радарными задач многие из них являются подвижными, и ограничить их эксплуатацию определенными территориями не представляется возможным. Кроме того, эти задачи часто требуют быстрой перестройки частоты и задействования всей распределенной полосы частот. Если предполагается эксплуатировать радары в определенных районах, расположенных в непосредственной близости от других систем, потенциальные помехи можно оценить с использованием процедур, изложенных в настоящей Рекомендации.

2 Воздействие помех, создаваемых радарными, на системы других служб

По итогам расследования ряда случаев возникновения помех было выделено два основных механизма связи между мощными радиолокационными системами и другими службами, приводящих к электромагнитным помехам: перегрузка входного каскада приемника и излучения передатчика радара, проникающие через полосу пропускания ПЧ приемника. Эти механизмы обсуждаются ниже.

2.1 Перегрузка входного каскада приемника

Этот механизм возникновения электромагнитных помех связан с тем, что входной каскад приемника (в некоторых системах – маломощный усилитель, МШУ) вводится в режим насыщения энергией основной частоты (необходимых излучений) нежелательного сигнала, что приводит к сжатию динамического диапазона усиления полезного сигнала в степени, достаточной для ухудшения характеристик приемника. Перегрузка входного каскада приемника обычно становится следствием недостаточной избирательности его входного РЧ-каскада.

2.1.1 Оценка возможности перегрузки входного каскада приемника

Пороговый уровень входного сигнала, при котором возникает перегрузка входного каскада приемника, является функцией уровня сжатия динамического диапазона (насыщения) на 1 дБ и коэффициента усиления входного каскада или МШУ приемника, а именно:

$$T = C - G, \quad (1)$$

где:

- T : пороговый уровень входного сигнала, при котором возникает перегрузка входного каскада приемника (дБм);
- C : выходной уровень сжатия динамического диапазона (насыщения) входного каскада или МШУ приемника на 1 дБ (дБм);
- G : коэффициент усиления входного каскада или МШУ приемника на основной частоте радара (дБ).

Например, если в приемниках применяются МШУ с коэффициентами усиления 50–65 дБ и выходным уровнем сжатия динамического диапазона на 1 дБ, равным +10 дБм, T будет находиться в диапазоне от –55 до –40 дБм, в зависимости от коэффициента усиления МШУ.

Возможность помех, связанных с перегрузкой входного каскада приемника, существует при следующем условии:

$$I_T = T - FDR_{RF}, \quad (2)$$

где:

- I_T : пиковый уровень сигнала радара на выходе антенны или входе приемника, вызывающий перегрузку входного каскада приемника (дБм);
- T : пороговый уровень входного сигнала, при котором возникает перегрузка входного каскада приемника (дБм);
- FDR_{RF} : частотно-зависимое подавление (FDR) сигнала основной частоты радара, обусловленное избирательностью РЧ-тракта на участке до РЧ-усилителя (МШУ) приемника или избирательностью самого РЧ-усилителя (МШУ).

Формулу (3) можно использовать для оценки возможности перегрузки входного каскада приемника при работе радаров на заданном расстоянии от других станций с заданным разносом по частоте.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P, \quad (3)$$

где:

- I : пиковая мощность импульсного сигнала основной частоты радара на выходе приемной антенны или входе приемника (дБм);
- P_T : пиковая мощность передатчика радара (дБм);
- G_T : коэффициент усиления антенны радара в главном лепестке (см. Примечание 1) (дБи);
- G_R : коэффициент усиления приемной антенны в направлении исследуемой радиолокационной станции (дБи);
- L_T : вносимые потери передатчика радиолокационной станции (дБ) (принимается значение 2 дБ);
- L_R : вносимые потери приемника, испытывающего помехи (дБ);
- L_P : потери на трассе распространения сигнала между передающей и приемной антеннами (дБ).

При определении потерь на трассе распространения следует использовать надлежащие модели распространения и учитывать возможную косвенную связь, принимая во внимание высоту антенны и рельеф местности (там, где это уместно). Если расчетное значение пиковой мощности I импульсного сигнала радара на основной частоте превышает пороговое значение I_T , при котором возникает

перегрузка входного каскада приемника, необходимо принять соответствующие меры для обеспечения совместимости.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Имеются документально зафиксированные случаи возникновения помех от передатчиков радаров, обусловленных перегрузкой входного каскада приемника излучениями по оси основного луча. Поэтому рекомендуется при оценке максимальных потенциальных помех, обусловленных перегрузкой входного каскада приемника, использовать коэффициент усиления антенны радара по оси основного луча.

2.2 Помехи от излучений передатчика радара

Этот механизм возникновения электромагнитных помех действует, когда передатчик радара излучает в полосе пропускания ПЧ приемника. Эти излучения проходят через приемный тракт практически неослабленными. Когда уровень излучений радара в полосе пропускания приемника высок относительно уровня полезного сигнала, это чревато ухудшением характеристик приемника.

2.2.1 Оценка возможности помех от излучений передатчика радара

В первую очередь при оценке совместимости необходимо определить уровень сигнала I_T , при котором начинается ухудшение характеристик приемника.

$$I_T = I/N + N, \quad (4)$$

где:

I/N : отношение помеха/шум на входе детектора (выходе ПЧ), необходимое для обеспечения приемлемого критерия качества работы (дБ);

N : уровень собственных шумов приемника (дБм)
 $(N = -144 \text{ дБм} + 10 \log B_{IF} (\text{кГц}) + NF$

или

$$N = -168,6 \text{ дБм} + 10 \log B_{IF} (\text{кГц}) + 10 \log T,$$

где:

B_{IF} : ширина полосы пропускания ПЧ приемника (кГц);

NF : коэффициент шума приемника (дБ);

T : шумовая температура системы (К).

Кроме того, уровень сигнала I_T , при котором начинается ухудшение характеристик приемника, можно вычислить по формуле (5).

$$I_T = C - (C/I), \quad (5)$$

где:

C : желаемый уровень сигнала несущей частоты на выходе антенны (входе приемника) (дБм);

C/I : отношение уровня несущей к уровню помехи на входе детектора (выходе ПЧ), необходимое для поддержания приемлемых характеристик (дБ).

Формулу (6) можно использовать для оценки возможности помех от излучений передатчиков радаров на ПЧ при работе радаров на заданном расстоянии от других станций с заданным разносом по частоте.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF}, \quad (6)$$

где:

I : пиковая мощность импульсного сигнала радара на приемнике (дБм);

P_T : пиковая мощность передатчика исследуемого радара (дБм);

G_T : коэффициент усиления антенны исследуемого радара в главном лепестке (см. примечание 2) (дБи);

G_R : коэффициент усиления приемной антенны в направлении исследуемой радиолокационной станции (дБи);

L_T : вносимые потери передатчика радиолокационной станции (дБ);

L_R : вносимые потери приемника, испытывающего помехи (дБ);

L_P : потери на трассе распространения сигнала между передающей и приемной антеннами (дБ);

FDR_{IF} : частотно-зависимое подавление, обусловленное характеристикой избирательности ПЧ приемника в спектре нежелательных излучений передатчика (дБ).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Имеются документально зафиксированные случаи ухудшения характеристик приемников под действием излучений передатчиков радара в главном лепестке диаграммы направленности антенны. Поэтому рекомендуется при оценке максимальных потенциальных помех, обусловленных излучениями передатчика радара в полосе пропускания ПЧ приемника, использовать коэффициент усиления антенны радара в главном лепестке.

Значение параметра FDR, используемое в формуле (6), можно определить в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.337. Частотно-зависимое подавление (FDR) может быть представлено как сумма двух членов – подавление на частоте настройки (OTR) и подавление вне частоты настройки (OFR) (дополнительное подавление из-за расстройки между источником помехи и приемником).

$$FDR_{IF}(\Delta f) = OTR + OFR(\Delta f). \quad (7)$$

Для сигналов непрерывной волны и импульсных сигналов с фазовым кодированием фактор OTR определяется следующими формулами:

$$OTR = 0 \quad \text{при } B_R \geq B_T; \quad (8)$$

$$OTR = 20 \log(B_T/B_R) \quad \text{при } B_R < B_T, \quad (9)$$

где:

B_R : полоса пропускания приемника на уровне 3 дБ (Гц);

B_T : полоса пропускания передатчика на уровне 3 дБ (Гц).

Для импульсных ЛЧМ-сигналов фактор OTR определяется следующими формулами:

$$OTR = 0 \quad \text{при } B_C/(B_R^2 T) \leq 1; \quad (10)$$

$$OTR = 10 \log(B_C/(B_R^2 T)) \quad \text{при } B_C/(B_R^2 T) > 1, \quad (11)$$

где:

T : длительность ЛЧМ-импульса (с);

B_C : ширина полосы частот ЛЧМ-сигнала передатчика на протяжении длительности импульса T (Гц).

Для расчета OFR необходимо знать амплитудно-частотную характеристику ПЧ и спектральные характеристики излучения передатчика радара. Существуют опубликованные МСЭ-R методы расчета спектральных характеристик излучения радаров, работающих в режиме непрерывной волны с импульсной модуляцией, и импульсных ЛЧМ-радаров. Если нет информации о времени нарастания и спада сигнала передатчика радара, для расчета огибающей излучения радара следует принимать время нарастания и спада равным 0,1 мкс. Уровень побочных излучений передатчика радара зависит от типа его выходного устройства. Типовые уровни побочных излучений для различных типов выходных устройств радаров приведены в Рекомендации МСЭ-R М.1314. Поскольку многие радары характеризуются высокими значениями мощности передатчика и коэффициента усиления антенны, для обеспечения совместимости могут потребоваться большой разнос по частоте и защитные полосы.

При определении потерь на трассе распространения следует использовать надлежащие модели распространения и учитывать возможную косвенную связь, принимая во внимание высоту антенны и рельеф местности (там, где это уместно). Если расчетное значение пиковой мощности I импульсного сигнала радара на входе приемника превышает пороговое значение I_T , при котором ухудшаются характеристики приемника, необходимо принять соответствующие меры для обеспечения совместимости.

3 Воздействие помех, создаваемых системами других служб, на радары

Введение

Существуют два основных механизма связи между радиолокационными системами и другими службами, создающих им электромагнитные помехи. Первый механизм – перегрузка входного каскада, вызывающая переход в режим насыщения и возникновение продуктов интермодуляции. Второй механизм – мешающие излучения в полосе пропускания ПЧ приемника, которые ведут к понижению чувствительности и ухудшению характеристик, следствием чего является общее снижение качества выходных данных радара.

3.1 Перегрузка входного каскада приемника

3.1.1 Насыщение входного каскада

Этот механизм возникновения помех имеет место, когда энергия нежелательного сигнала вводит в режим насыщения МШУ входного каскада приемника радара, что приводит к сжатию динамического диапазона усиления полезного сигнала в степени, достаточной для ухудшения характеристик приемника. Пороговый уровень входного сигнала, при котором возникает перегрузка входного каскада приемника, является функцией уровня сжатия динамического диапазона (насыщения) на 1 дБ и коэффициента усиления входного каскада приемника. Для приемника радара с шириной полосы РЧ входного каскада B_{RF} и входным уровнем сжатия динамического диапазона на 1 дБ, равным $P_{1\text{ дБ}}$ (дБм), полная мощность помех в полосе B_{RF} на входе приемника не должна превышать следующего значения:

$$P_{I, RF\text{ max}} = P_{1\text{ дБ}} + k_{sat} = C - G + k_{sat} \quad (\text{дБм}), \quad (12)$$

где:

- $P_{I, RF\text{ max}}$: максимально допустимая полная мощность помех в пределах ширины полосы РЧ (дБм);
- k_{sat} : запас по насыщению, определяемый индивидуально для каждого радара и каждого типа помех (в общем случае значение k_{sat} отрицательное) (дБ);
- $P_{1\text{ дБ}}$: определяется как входной уровень сжатия динамического диапазона на 1 дБ, то есть уровень входной мощности, при котором коэффициент усиления всего приемного тракта снижается на 1 дБ (дБм);
- C : выходной уровень сжатия динамического диапазона (насыщения) входного каскада или МШУ приемника на 1 дБ (дБм);
- G : коэффициент усиления входного каскада приемника на основной частоте потенциального источника помех (дБ).

Например, если в приемниках применяются МШУ с коэффициентом усиления 60 дБ и выходным уровнем сжатия динамического диапазона на 1 дБ, равным +10 дБм, то $P_{1\text{ дБ}}$ будет равняться $10 - 60 = -50$ дБм.

Выполнение равенства (12) – необходимое условие, позволяющее избежать введения приемника в режим насыщения (или режим, близкий к насыщению) и тем самым обеспечить достаточный динамический диапазон для самого эхосигнала радара. Помимо этого, та доля мощности помех, которая попадает в полосу пропускания ПЧ приемника радара, должна также отвечать требованиям, изложенным в соответствующих Рекомендациях МСЭ.

Возможность помех, связанных с перегрузкой входного каскада приемника, существует при следующем условии:

$$I_T > P_{I, RF\text{ max}} - FDR_{RF}, \quad (13)$$

где:

- I_T : уровень мешающего сигнала на входе приемника, вызывающий перегрузку входного каскада приемника (дБм);

FDR_{RF} : частотно-зависимое подавление мешающего сигнала, обусловленное избирательностью РЧ-тракта на участке до РЧ-усилителя (МШУ) приемника или избирательностью самого РЧ-усилителя (МШУ).

Суммарная мощность принятых помех для полной ширины полосы РЧ не должна превышать уровень, при котором на конкретном элементе приемного тракта, первым переходящем в режим насыщения, обеспечивается достаточный запас по выходной мощности до точки сжатия динамического диапазона на 1 дБ. Это необходимо, чтобы ограничить сжатие динамического диапазона и не допустить повышения мощности продуктов интермодуляции 3-го порядка до уровня, при котором превышает приемлемое значение отношения помеха/шум в РЧ-полосе пропускания приемника.

Формулу (13) можно использовать для определения уровня мешающего сигнала на входе первого усилительного каскада приемного тракта в условиях, когда источники помех работают на заданном расстоянии от других станций с заданным разносом по частоте, но при этом попадают в РЧ-полосу пропускания приемника.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P, \quad (14)$$

где:

- I : пиковая мощность мешающего сигнала на входе приемника (дБм);
- P_T : пиковая мощность передатчика источника помех (дБм);
- G_T : коэффициент усиления антенны источника помех в направлении исследуемого радара (дБи);
- G_R : коэффициент усиления приемной антенны в направлении источника помех (дБи);
- L_T : вносимые потери передатчика (дБ);
- L_R : вносимые потери приемника радара (дБ);
- L_P : потери на трассе распространения сигнала между передающей и приемной антеннами (дБ).

При определении потерь на трассе распространения следует использовать надлежащие модели распространения и учитывать возможную косвенную связь, принимая во внимание высоту антенны и рельеф местности (там, где это уместно) (см. пункт 3.3). Если расчетное значение суммарной мощности сигналов всех источников помех превышает пороговое значение I_T , при котором возникает перегрузка входного каскада приемника, необходимо принять соответствующие меры для обеспечения совместимости.

3.1.2 Интермодуляция

Для приемника радара с широкой РЧ-полосой пропускания входного каскада B_{RF} (см. определение в пункте 3.1.1) и, как правило, гораздо более узкой полосой пропускания ПЧ необходимо учитывать механизм интермодуляции 3-го порядка, приводящий к переносу энергии сигнала из-за пределов этой полосы (но в пределах полосы пропускания РЧ) в полосу пропускания ПЧ.

Любая пара несущих частот ("тонов") f_1 и f_2 может образовывать продукты интермодуляции 3-го порядка вида $f_3 = 2*f_1 - f_2$ или $f_3 = 2*f_2 - f_1$. Когда f_3 находится в пределах полосы пропускания ПЧ, помехи на частоте настройки усиливаются по мощности и обрабатываются ПЧ-трактом и трактом основной полосы приемника радара.

Интермодуляционные эффекты существенно возрастают с увеличением уровня мощности одиночного тона. При увеличении мощности одиночного тона на 10 дБ мощность продуктов интермодуляции возрастает на 30 дБ. Точка (теоретическая), в которой мощность продуктов интермодуляции 3-го порядка начинает превышать мощность усиленного одиночного тона, называется выходной точкой пересечения 3-го порядка ($IP3_{out}$). Для РЧ МШУ, применяемых во входных каскадах радаров, $IP3_{out}$ располагается на 10–15 дБ выше $P_{1\text{ дБ},out}$ – выходного уровня сжатия динамического диапазона на 1 дБ.

В случае нескольких несущих может потребоваться учет продуктов интермодуляции вплоть до 5-го порядка, которые могут быть существенными источниками помех в этих обстоятельствах.

Мощность помех, перенесенная в полосу пропускания ПЧ из-за ее пределов, должна рассматриваться как мощность помех на частоте настройки, то есть в сочетании с мощностью помех, создаваемых непосредственно в полосе пропускания ПЧ, и должна удовлетворять требованиям к отношению помеха/шум, изложенным в соответствующей Рекомендации МСЭ-R.

3.2 Снижение чувствительности

Влияние помех типа незатухающих колебаний или шумоподобных сигналов от других служб на снижение чувствительности радара прогнозируемо связано с интенсивностью этих помех. В пределах любого азимутального сектора, в котором возникает такого рода помеха, ее спектральная плотность мощности может быть просто добавлена к спектральной плотности мощности теплового шума приемника радара при достаточной точности аппроксимации.

В первую очередь при оценке совместимости необходимо определить уровень сигнала I_T , при котором начинается ухудшение характеристик приемника радара.

$$I_T = I/N + N, \quad (15)$$

где:

I/N : отношение помеха/шум на входе детектора (выходе ПЧ), необходимое для обеспечения приемлемого критерия качества работы (дБ);

N : уровень собственных шумов приемника (дБм);

$$N = -114 \text{ дБм} + 10 \log B_{IF} (\text{МГц}) + NF,$$

где:

B_{IF} : ширина полосы пропускания ПЧ приемника (МГц);

NF : коэффициент шума приемника (дБ).

Формулу (15) можно использовать для оценки возможности помех радарам от систем других служб при работе последних на заданном расстоянии от радаров с заданным разносом по частоте.

$$I = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - L_P - FDR_{IF}, \quad (16)$$

где:

I : пиковая мощность мешающего сигнала на входе приемника радара (дБм);

P_T : пиковая мощность исследуемого мешающего передатчика (дБм);

G_T : коэффициент усиления антенны источника помех в направлении исследуемого радара (дБи);

G_R : коэффициент усиления антенны радара в направлении исследуемого источника помех (см. Примечание 3) (дБи);

L_T : вносимые потери передатчика (дБ);

L_R : вносимые потери приемника радара (дБ);

L_P : потери на трассе распространения сигнала между передающей и приемной антеннами (дБ);

FDR_{IF} : частотно-зависимое подавление, обусловленное характеристикой избирательности ПЧ приемника в спектре нежелательных излучений передатчика (дБ).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Большинство антенн радаров радиоопределения осуществляют сканирование на 360° по азимуту и в широком диапазоне углов места. Однако в некоторых системах сканирование производится по секторам или случайным образом, хотя платформа радара может быть, как правило, ориентирована на любой азимут. Помехи радиолокационным системам в большинстве случаев возникают, когда нежелательный сигнал попадает в главный лепесток диаграммы направленности антенны радара. Поэтому при анализе следует в большинстве случаев рассматривать главный лепесток диаграммы направленности радара. В некоторых особых

ситуациях главный лепесток может не подсвечивать мешающую станцию (например, при гашении сектора), и тогда следует рассматривать соответствующий боковой лепесток диаграммы направленности антенны.

Значение параметра FDR, используемое в формуле (13), можно определить в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.337. Для расчета FDR необходимо знать характеристику избирательности ПЧ приемника радара и спектральные характеристики излучения передатчика радара. Если характеристика избирательности ПЧ приемника радара не дана, следует принять для расчетов спад с крутизной 80 дБ на декаду от граничной частоты по уровню 3 дБ до порога чувствительности 70 дБ, который соответствует уровню собственных шумов.

3.3 Критерии защиты

В большинстве случаев сигнал какой-то другой службы, приводящий к отношению помеха/шум ниже -6 дБ, допускается пользователями радаров для сигналов от другой службы с интенсивным рабочим циклом (например, CW, BPSK, QPSK, шумоподобный сигнал и т. д.). Отношение помеха/шум, равное -6 дБ, дает $(I + N)/N$, равное 1,26, или возрастание мощности шума приемника радара приблизительно на 1 дБ. В некоторых случаях отношение помеха/шум, равное -6 дБ, может оказаться недостаточным и могут потребоваться дальнейшие исследования или измерения параметров совместимости для оценки влияния помех на эксплуатационные характеристики радара. В случае если радиолокационные системы работают в полосе частот, для которой существует Рекомендация МСЭ-R по характеристикам и критериям защиты радаров, за конкретными указаниями в отношении критериев защиты следует обращаться к соответствующей Рекомендации¹.

Влияние импульсных помех количественно оценить более сложно, и оно в значительной степени зависит от проектного решения приемника/процессора и режима работы. В частности, выигрыш от дифференциальной обработки отраженных от действительной цели сигналов (которые являются синхронными импульсами) и импульсных помех (которые, как правило, асинхронные) часто оказывает заметное влияние на воздействие конкретного уровня импульсных помех. Подобное снижение чувствительности может привести к ухудшению качественных показателей, выраженному в различных формах. Оценка такого ухудшения является целью анализа взаимодействия конкретных типов радаров. Как правило, можно предполагать, что многочисленные функциональные возможности радаров службы радиоопределения будут способствовать подавлению импульсных помех с низким коэффициентом заполнения, в особенности помех от нескольких изолированных источников. Методы подавления импульсных помех с низким коэффициентом заполнения приведены в Рекомендации МСЭ-R М.1372 "Эффективное использование радиочастотного спектра радиолокационными станциями в службе радиоопределения".

При наличии множества источников помех рекомендуемое критериями защиты отношение помеха/шум остается неизменным (поскольку оно зависит от типа приемника радара и его характеристик обработки сигнала). Однако общий уровень помех, фактически поступающих на приемник радара (который необходимо проверить на предмет соответствия рекомендуемому критериями защиты отношению помеха/шум), зависит от числа источников помех, их распределения в пространстве и структуры их сигналов и должен быть оценен в ходе анализа суммарных помех в данном сценарии. Фактор суммирования может быть весьма существенным для некоторых систем связи высокой плотности. Если помехи принимаются с нескольких азимутальных направлений, для оценки соответствия актуальных отношений помеха/шум критериям защиты при анализе суммарных помех необходимо учесть совокупный вклад сигналов, поступающих одновременно со всех этих направлений и принимаемых через главный лепесток и/или боковые лепестки диаграммы направленности антенны радара.

¹ Примеры Рекомендаций с техническими характеристиками и критериями защиты для конкретных полос частот: МСЭ-R М.1460, МСЭ-R М.1462, МСЭ-R М.1463, МСЭ-R М.1464, МСЭ-R М.1465 и МСЭ-R М.1466.

4 Выбор модели распространения

При определении потерь на трассе распространения следует использовать надлежащие модели распространения и учитывать возможную косвенную связь, принимая во внимание высоту антенны и рельеф местности (там, где это уместно). В общем случае не следует учитывать экранирование за счет рельефа местности или искусственных препятствий. В конкретных случаях совместного использования спектра при наличии точных данных можно провести подробный анализ профиля трассы и расчет потерь. Если для всех частот, представляющих интерес, имеются полученные экспериментальным путем фактические значения потерь на трассе между источником помех и радаром, испытывающим помехи, можно пользоваться этими данными. Если расчетное значение суммарной пиковой мощности I всех помех на входе приемника радара превышает пороговое значение I_T , при котором ухудшаются характеристики приемника, необходимо принять соответствующие меры для обеспечения совместимости.

Применительно к радарам, используемым в целях обеспечения безопасности (например, для наблюдения за воздушным движением), модель распространения должна учитывать все усиливающие явления, которые, хотя бы и кратковременно, могут приводить к превышению допустимых пределов. Эксплуатационные требования к радиолокационным системам, обеспечивающим безопасность жизнедеятельности (например, аэродромным обзорным радиолокаторам), предусматривают обязательную защиту как от долговременных, так и кратковременных помех. Особую осторожность необходимо соблюдать, в случае когда на рассматриваемой территории могут возникать кратковременные мешающие сигналы без определения местоположения их источников.
