

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.2069-0
(12/2014)

Разнообразие скоростей вращения антенн и его влияние на связь антенн при анализе помех между радарами

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, 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.2069-0

Разнообразие скоростей вращения антенн и его влияние на связь антенн при анализе помех между радарными

(2014)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации приводится описание влияния вращения антенн на связь антенн для целей анализа помех и совместимости.

Ключевые слова

Связь антенн, рассогласование вращения антенн, радар

Сокращения/Глоссарий

CDF Cumulative distribution function Интегральная функция распределения

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что существует необходимость оценивать связь вращающихся антенн для использования при оценке помех;

b) что Рекомендация МСЭ-R М.1851 "Математические модели диаграмм направленности антенн радиолокационных систем радиоопределения для использования при анализе помех" может использоваться для получения теоретических диаграмм направленности антенн с целью их использования при оценке связи антенн,

рекомендует,

что при оценке влияния связи антенн следует учитывать информацию, приведенную в Приложении 1.

Приложение 1**Влияние связи антенн**

В настоящем приложении обсуждается влияние рассогласования вращения антенн на связь антенн.

Связь антенн

В случае работы двух радаров в пределах видимости друг друга или в случае, когда позволяют условия аномального распространения радиоволн, излучение антенны одного радара может приниматься антенной и связанным с ней приемником другого радара. Это взаимодействие может привести к взаимным помехам, которые могут ухудшить характеристики работы. При возникновении такой ситуации говорят, что между двумя системами имеется связь. Для того чтобы предвидеть какие-либо проблемы, вызываемые системой-источником помех, и принять соответствующие предупредительные меры, должна быть рассчитана величина связи между двумя радарными антеннами. Связь между двумя радарными антеннами зависит от следующих факторов:

- условия распространения радиоволн в атмосфере;
- мощность передатчика;

- потери в кабелях и других элементах обеих систем;
- связь между диаграммами направленности антенн;
- чувствительность приемника, подвергающегося воздействию помехи;
- пространственный разнос и наличие возвышенностей на местности между радаром;
- высота подвеса антенн над землей и угол наклона антенн (по углу места);
- абсолютные значения усиления антенн при углах, под которыми прямые лучи выходят из передающей антенны и поступают на приемную антенну, и
- рассогласование скоростей вращения антенн.

В первичных радаров используются приемники с высокой чувствительностью, чтобы обнаруживать сигналы, отраженные от воздушных судов, с ослаблением, соответствующим двустороннему распространению радиоволн (трассы прямого и обратного распространения), которое в энергетическом уравнении для радара учитывается пропорционально $1/R^4$, где R – расстояние до воздушного судна.

Помеха от радара к радару распространяется по трассе в одну сторону (пропорциональность $1/R^2$, где R – длина трассы распространения), что приводит к большему требуемому расстоянию разноса между радаром, создающим помеху, и радаром, принимающим помеху.

С учетом этих соображений можно сделать вывод, что в сети радаров, обеспечивающих полное покрытие, они всегда будут принимать помехи от других окружающих радаров.

Связь радаров возникает главным образом тогда, когда оба радара работают на совпадающих или на близких частотах, на которых величина частотно-зависимого подавления или пикового частотно-зависимого подавления маленькая. Поэтому, с целью исключения этих помех между радаром, в качестве метода ослабления их влияния в настоящее время применяются разные частоты для работы радаров в зоне покрытия. Для уменьшения помех и обеспечения полного покрытия региона необходим набор частот с достаточным частотным разнесом и частотно-территориальный план.

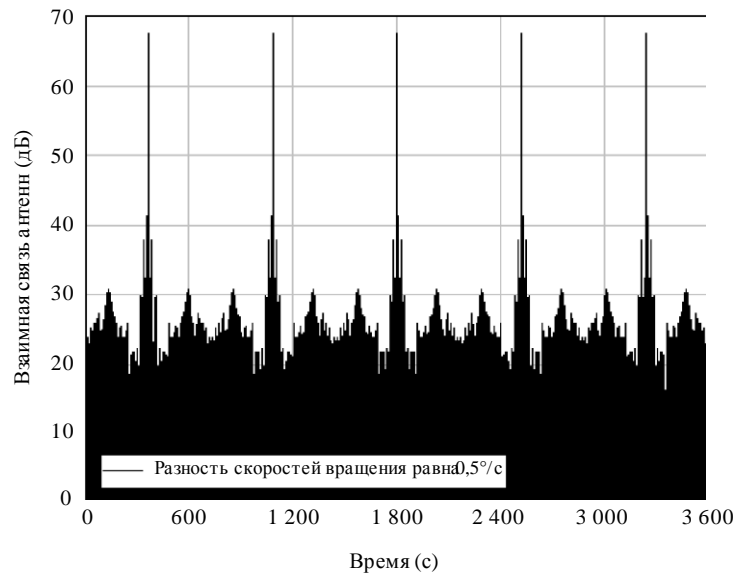
Рассогласование скоростей вращения двух антенн может привести к высоким уровням помех, повторяющихся в течение длительного времени. На рисунках 1–6 представлены примеры рассогласованного вращения антенн (Рекомендация МСЭ-R М.1464-1, от радара-С к радару-С). Это рассогласование скоростей вращения имеет рациональную основу. Приведем пример конкретного технического требования к обзорному радару аэропорта с азимутальным приводом постаментов и требования к скорости сканирования антенны:

"Азимутальный привод постаментов антенны. Азимутальный привод постаментов должен иметь регулируемую скорость от 0 до 30 градусов в секунду с шагом не более 1 градуса в секунду с точностью $\pm 0,5\%$. При поступлении команды азимутальный привод должен установить и удерживать антенну в пределах $\pm 0,05$ градуса относительно выбранного командой азимутального угла. В нормальном режиме работы направление вращения антенны – по часовой стрелке".

В другом техническом требовании к скорости сканирования антенны указывается, что "скорость сканирования антенны составляет один оборот каждые 4,8 секунды, $+0,53$ или $-0,44$ секунды", это приравнивается к значениям скорости вращения антенны от $67,54^\circ/\text{с}$ до $82,57^\circ/\text{с}$.

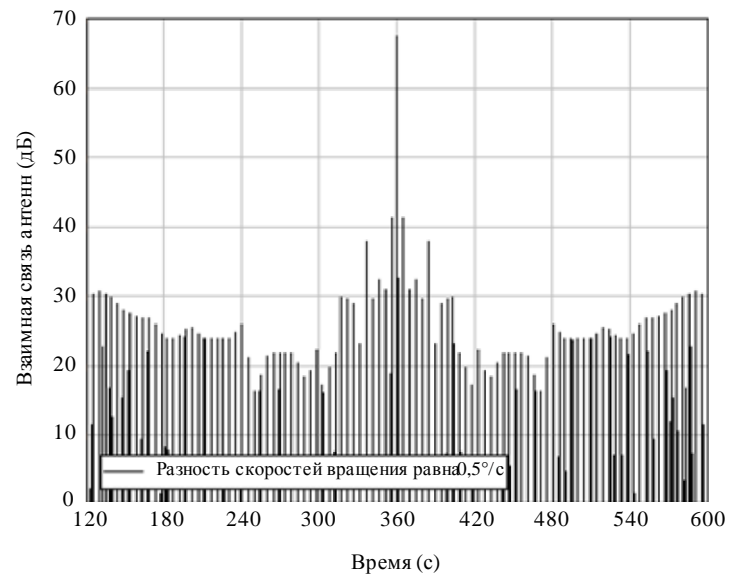
Указанные выше технические требования означают, что даже если вращение антенн синхронизировано, могут возникать высокие уровни связи антенн. Результаты, характеризующие связь антенн при трех значениях максимального рассогласования вращения антенн двух радаров $0,5^\circ/\text{с}$, $0,25^\circ/\text{с}$ и $7,46^\circ/\text{с}$ представлены на рисунках ниже. Показано, что при уменьшении рассогласования скорости вращения антенн уменьшается и частота повторения высоких уровней связи антенн.

РИСУНОК 1

Связь антенн при разности скоростей вращения $0,50^\circ/\text{с}$ 

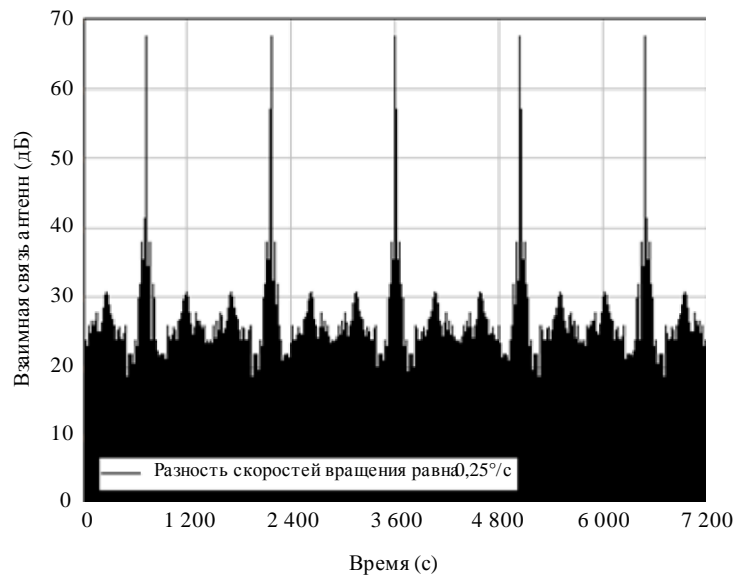
М.2069-01

РИСУНОК 2

Связь антенн при разности скоростей вращения $0,50^\circ/\text{с}$ (с большим разрешением)

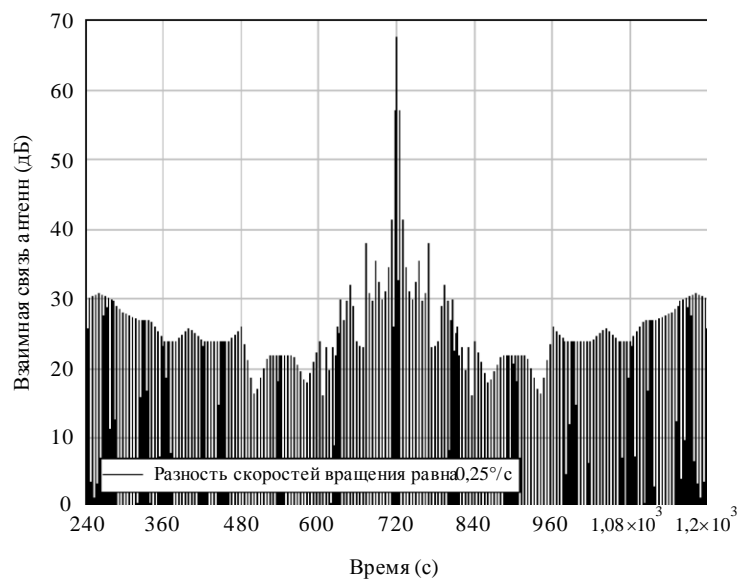
М.2069-02

РИСУНОК 3

Связь антенн при разности скоростей вращения $0,25^\circ/\text{с}$ 

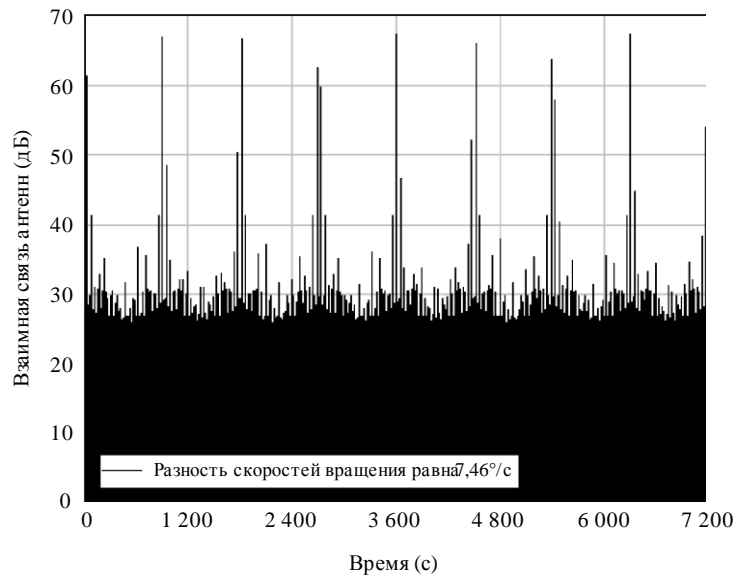
М.2069-03

РИСУНОК 4

Связь антенн при разности скоростей вращения $0,25^\circ/\text{с}$ (с большим разрешением)

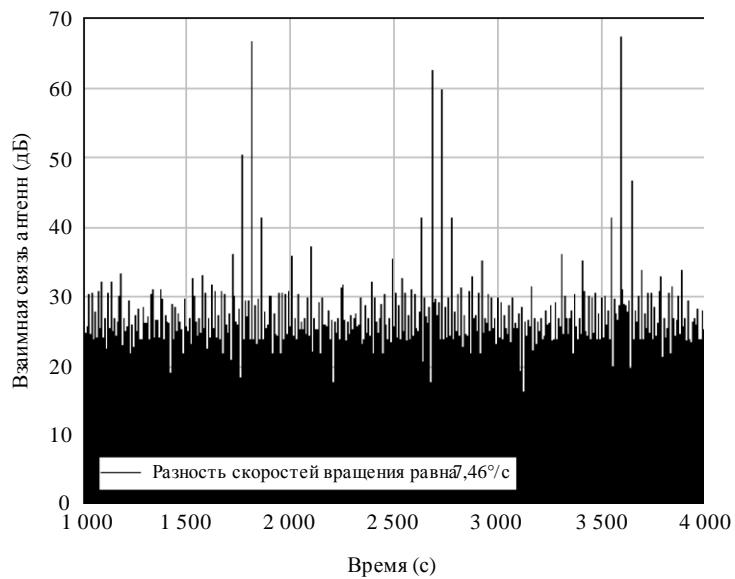
М.2069-04

РИСУНОК 5

Связь антенн при разности скоростей вращения $7,46^\circ/\text{с}$ 

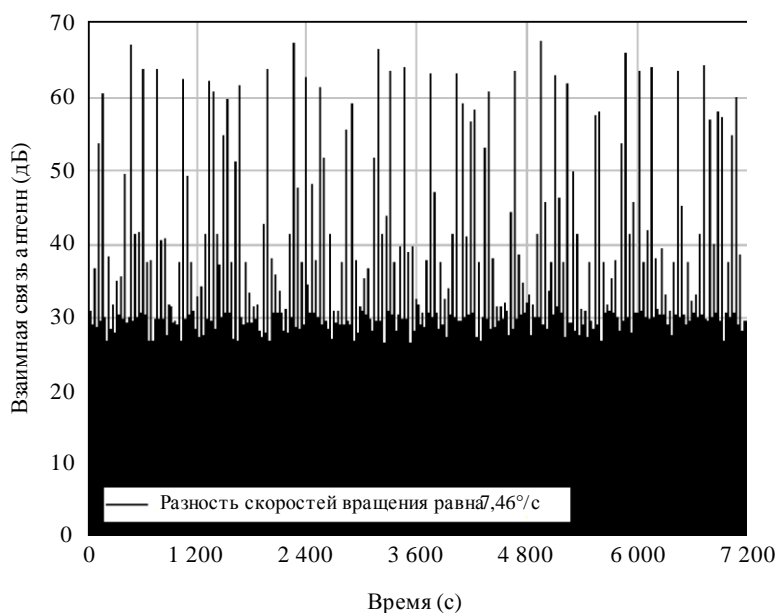
М.2069-05

РИСУНОК 6

Связь антенн при разности скоростей вращения $7,46^\circ/\text{с}$ (с большим разрешением)

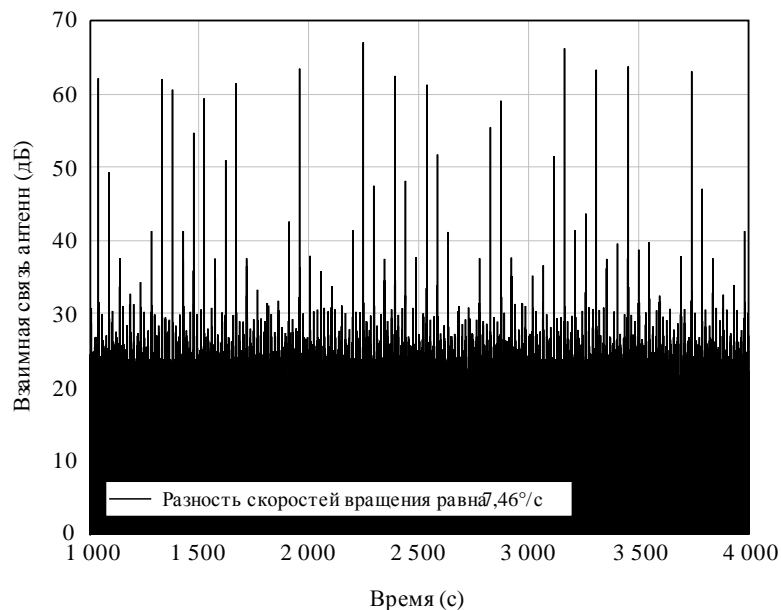
М.2069-06

РИСУНОК 7

Связь антенн при разности скоростей вращения $7,46^\circ/\text{с}$ при работе нескольких радаров

М.2069-07

РИСУНОК 8

Связь антенн при разности скоростей вращения $7,46^\circ/\text{с}$ при работе нескольких радаров (с большим разрешением)

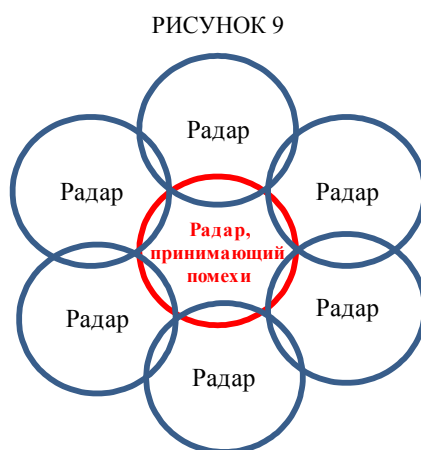
М.2069-08

По рисункам 1–8 можно видеть, что высокие уровни связи антенн могут присутствовать в течение продолжительного времени, в зависимости от значения рассогласования скорости вращения антенн. На рисунке 10 показана интегральная функция связи антенн (cumulative distribution function, CDF) при взаимодействии радара-С с радаром-С (диаграмма направленности антенны представлена на рис. 11), рассчитанная путем взятия 5 миллионов произвольных выборок для положений наведения антенн в азимутальном направлении двух радаров (для нескольких радаров-С, создающих помехи одному радару-С, см. рис. 9), и оценивающая суммарное усиление для антенны, принимающей помехи. Предполагается, что скорости вращения неодинаковы. Радары расположены так, что диаграммы направленности антенн можно считать диаграммами направленности в дальней зоне. В качестве примера: уровни связи +30 дБ между двумя такими радарными превышаются в течение

0,05% времени. Однако, из представленных выше графиков видно, что уровень 30 дБ почти всегда превышает. Следовательно, для того, чтобы представить реалистичные значения связи антенн, необходимо выбирать значение, намного меньшее 0,05%. При проведении исследований совместного использования частот и совместимости рекомендуется выбирать усиление связи антенн таким, чтобы оно превышалось в рамках очень маленького количества времени. Величина "очень маленького" количества должна определяться на индивидуальной основе, в зависимости от критичности и важности функции радара. Кроме того, добавим следующие примечания:

Влияние действия нескольких радаров

Следует также отметить, что для покрытия больших зон может потребоваться сеть радаров. Например, чтобы обеспечить полное покрытие без каких-либо зон невидимости, можно считать, что радар, принимающий помехи, окружен 6 другими радарными (см. рис. 9).



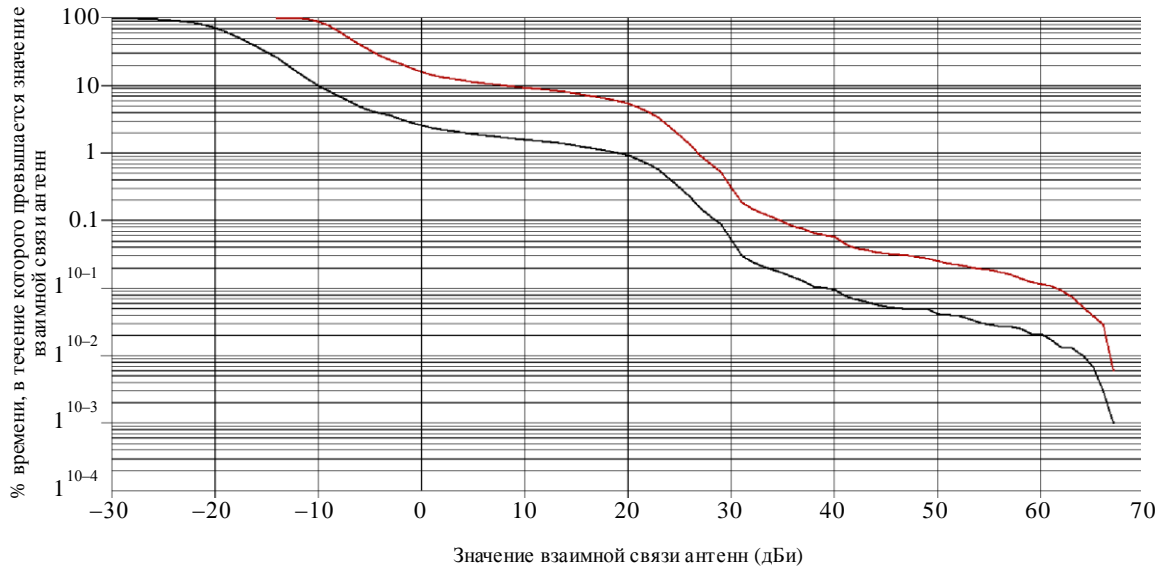
М.2069-09

В этом случае помехи будут возникать приблизительно в шесть раз чаще. Вследствие различных угловых положений этих семи радаров и разности позиций вращения, возникновение помех будет иметь ступенчатое распределение во времени.

Например, при разности скоростей вращения антенн $0,1^\circ/\text{с}$, в случае гипотезы однородной повторяемости, период между событиями максимальной связи можно оценить как каждые $(360^\circ \div 0,1^\circ/\text{с}) \div 6 = 600$ с. Однако в другом случае, события максимальной связи между радаром, принимающим помехи, и шестью другими радарными, могут возникать в течение того же периода вращения антенны радара, принимающего помехи. Это означает, что при обычном периоде вращения антенны радара, равном 12 с, этот радар принимает помехи каждые 2 секунды. Рисунок 10 отображает два случая CDF связи антенн. Первый случай относится к связи антенны одного радара с другой антенной радара (кривая черного цвета) а второй случай (кривая красного цвета) относится к помехам от шести радаров одному радару, расположенному в центре, как показано на рис. 9.

РИСУНОК 10

**Интегральная функция распределения связи антенн для радаров-С
(использованы измерения диаграммы направленности антенны)**

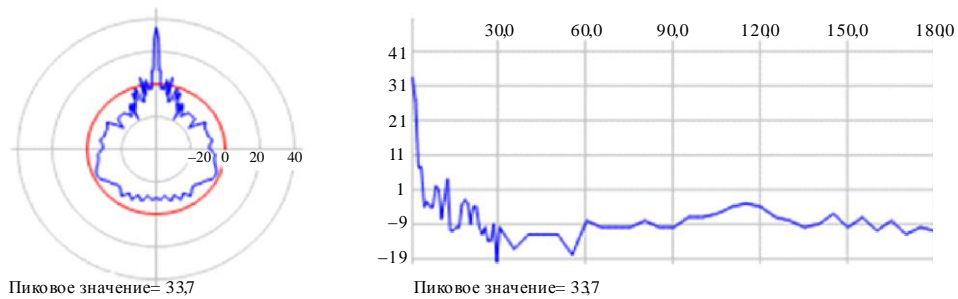


М.2069-10

Используемые для данного анализа диаграммы направленности антенн представлены на рис. 11.

РИСУНОК 11

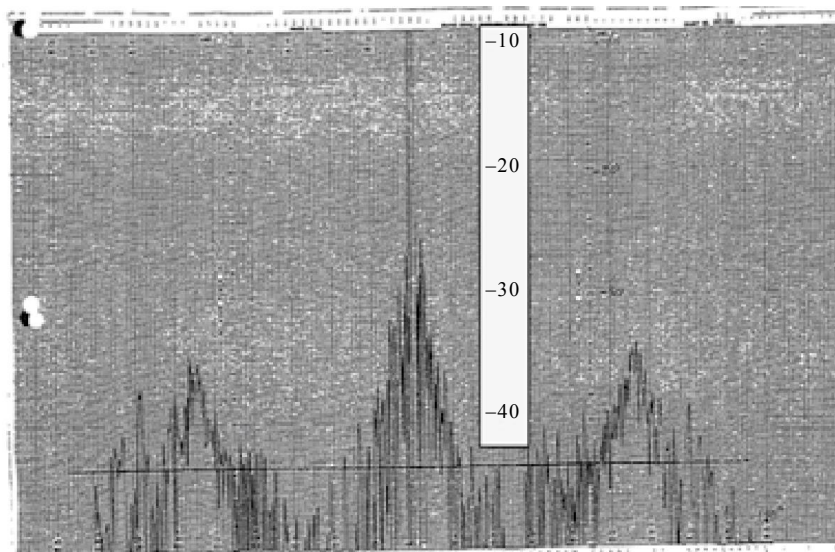
**Диаграмма направленности радара-С (Рекомендация МСЭ-R М.1464),
полученная путем измерения (рис. 11)**



М.2069-11

На рисунке 12 показаны измеренные диаграммы направленности антенн радаров, эквивалентных радару С.

РИСУНОК 12

Измеренная диаграмма направленности антенны радара-С

М.2069-12

Выводы

Показано, что высокие значения связи антенны одного радара с антенной другого радара могут систематически повторяться в течение продолжительного периода времени. Влияние этой связи следует учитывать путем использования соответствующего значения, взятого из расчета CDF связи антенн, принимая во внимание критичность функций радара.

Справочные документы

- [1] ATDI Contract No. N68836-10-P-1705 "Rivira Wind Farm Effect on Kingsville Naval Air Station Radar" Written by S. Yun, M. Rais.
 - [2] faaco.faa.gov/attachments/TDWR_Antenna_Requirements.doc.
 - [3] Thereza M. Macnamara BSc, MSc (London) "Introduction to Antenna Placement and Installation" A John Wiley and Sons, Ltd., Publication, 2010.
-