

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SA.1157-1

Критерии защиты для исследования дальнего космоса

(1995-2006)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации устанавливаются критерии защиты, необходимые для успешного полного контролирования пилотируемых и непилотируемых исследовательских спутников в дальнем космосе, управления ими и их эксплуатации, т. е. спутников, предназначенных для работы в пространстве, удаленном от Земли на расстояние более 2 млн. километров.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что исследование дальнего космоса с помощью пилотируемого летательного аппарата сопряжено с уникальными требованиями высокой надежности радиосвязи для гарантии безопасности жизни;
- b) что исследование дальнего космоса с помощью пилотируемых и непилотируемых летательных аппаратов сопряжено с уникальными требованиями высокой надежности радиосвязи для гарантии успешного приема ценных научных данных, собранных в специфический критический интервал времени, и что повторная передача этих данных часто невозможна;
- c) что очень высокая чувствительность наземных станций дальней космической связи приводит к необычно низким уровням допустимости помехи;
- d) что, как показано в Приложении 1, критерии защиты были получены для земных станций исследования дальнего космоса и для станций в дальнем космосе;
- e) что чувствительность к помехам определена в Приложении 2,

рекомендует,

1 что критерии защиты для земных станций исследования дальнего космоса должны быть установлены следующим образом:

- 222 дБ(Вт/Гц) в диапазонах около 2 ГГц,
- 221 дБ(Вт/Гц) в диапазонах около 8 ГГц,
- 220 дБ(Вт/Гц) в диапазонах около 13 ГГц,
- 217 дБ(Вт/Гц) в диапазонах около 32 ГГц;

2 что критерии защиты для станций на космическом корабле в дальнем космосе должны быть установлены следующим образом:

- 193 дБ(Вт/20 Гц) в диапазонах около 2 ГГц,
- 190 дБ(Вт/20 Гц) в диапазонах около 7 ГГц,
- 186 дБ(Вт/20 Гц) в диапазонах около 17 ГГц,
- 183 дБ(Вт/20 Гц) в диапазонах около 34 ГГц,

3 что вычисление помехи, которая может вызываться атмосферой и влиянием осадков, должно быть основано на погодной статистике, которая применима для 0,001% времени (см. п. 2.3 Приложения 1).

Приложение 1

Критерии защиты для исследования дальнего космоса

1 Введение

В настоящем Приложении устанавливаются критерии защиты для исследования дальнего космоса. Эти критерии могут использоваться в вычислениях расстояния координации и для другого анализа. Критерии защиты также уместны при изучении разделения в пределах службы космического исследования. Рассматривается возможная помеха другим службам, и сделаны заключения относительно выполнимости совместного использования частот. Будущие спутники-ретрансляторы для использования в экспедициях дальнего космоса не рассматриваются в этом Приложении.

Критерии защиты основаны на чувствительности приемников, обычно используемых для исследования дальнего космоса, как это описано в Приложении 2.

1.1 Воздействие помех и последствия этого воздействия

Последствие помехи, которая мешает надлежащему функционированию земной станции или приемника космической станции, может выражаться в уменьшении или прерывании способности управлять космическим кораблем и в способности получать научные и технические данные, посланные космическим кораблем.

Приемник содержит несколько контуров синхронизации, каждая из которых захватывает и отслеживает отдельный компонент сигнала. При достаточно сильной помехе один или большее число этих контуров будет терять захват полезного сигнала. Мгновенная помеха может также вызывать такую потерю, поэтому может потребоваться несколько минут в случае самых слабых сигналов, чтобы восстановить захват сигнала. В течение критических периодов, которые происходят в течение наиболее глубоко-пространственных экспедиций, необходимо передать и принять научные данные без ошибки или прерывания. Выпадение из синхронизма в течение этих периодов приводит к невозможной потере данных. Именно эта характеристика ведет к таким жестким требованиям защиты от помехи. Напротив, данные, сообщенные некоторыми другими радиослужбами, часто доступны для повторной передачи.

Для некоторых режимов работы ширина полосы контура необычно узка. Конкретный пример – контур слежения за несущей частотой в приемнике земной станции. Эта ширина полосы может быть порядка 1 Гц, а в специальных случаях – еще меньше (300 мГц). Можно было бы сделать заключение, что будет маловероятно, чтобы мешающий сигнал лежал бы точно в пределах этой ширины полосы, но нужно помнить, что частота полезного сигнала подвергается смещению Доплера в результате вращения Земли. Например, сигнал 8,4 ГГц будет изменен на ± 11 кГц при приеме земной станцией, расположенной в широте 35° . Мешающий сигнал с фиксированной частотой, которая находится где-нибудь в пределах диапазона смещения Доплера сигнала из дальнего космоса, проникнет в контур слежения за несущей частотой и может прервать синхронизацию. Кроме того, помеха не должна быть точно в пределах ширины полосы контура, чтобы воздействовать на него. Если частота помехи расположена около ширины полосы контура и сигнал помехи имеет достаточную мощность, то возможно серьезное ухудшение. Помеха, которая находится далеко от ширины полосы электрического контура, также может вызывать ухудшение через другие механизмы, например через насыщение мазера.

1.2 Развитие критериев защиты

Чтобы гарантировать надлежащую работу системы приема в целом, каждая и четырех подсистем должна быть защищена от помехи. Критерий защиты определяет уровень мощности помехи, который ведет к максимально приемлемому ухудшению эффективности. Максимально приемлемое ухудшение для каждой подсистемы дается в таблице 1. С использованием этих значений может быть определена соответствующая максимальная допустимая помеха.

В следующих разделах данного Приложения изложены критерии защиты. Для каждой из нескольких подсистем приемника имеется максимально приемлемое ухудшение рабочих характеристик, вызываемое помехой. Уровень помехи, который может вызывать такое ухудшение, показан в Приложении 2. Подсистема приемника, которая является наиболее чувствительной к помехе, определяет максимальную допустимую помеху. Этот уровень – критерий защиты приемника. Большой уровень помехи ведет к нарушению работы.

ТАБЛИЦА 1

Максимальное приемлемое ухудшение приемных подсистем

Приемная подсистема	Максимальное приемлемое ухудшение
Мазерный предварительный усилитель	Амплитудное искажение 1 дБ
Слежение за несущей частотой	Статическая погрешность фазы контура или амплитуда дрожания фазы 10°
Телеметрия	Уменьшение (эквивалентно на 1 дБ) энергии сигнала к шуму в отношении спектральной плотности ($\Delta E/N_0 = -1$ дБ)
Измерение расстояния	Уменьшение (эквивалентно на 1 дБ) энергии сигнала к шуму в отношении спектральной плотности ($\Delta E/N_0 = -1$ дБ)

2 Критерии защиты для наземных станций дальней космической связи

Имеются четыре подсистемы приемника, которые являются чувствительными к помехе: мазерный предварительный усилитель, контур слежения за несущей частотой, телеметрическая подсистема и подсистема измерения расстояния.

2.1 Максимальное приемлемое ухудшение рабочих характеристик

Усиление мазерного предварительного усилителя уменьшается как функция входной мощности для очень сильных сигналов или помехи. Эти амплитудные искажения приводят к нелинейному режиму работы. Сильная помеха может таким образом производить нелинейное воздействие на полезный сигнал, в том числе включая генерацию ложных сигналов. Полагается, что максимальные приемлемые амплитудные искажения равны 1 дБ. Использование амплитудных искажений в качестве меры нелинейных эффектов является общепринятой практикой.

Реакция контура слежения за несущей частотой на помеху проявляется в увеличении фазовой ошибки и дрожании фазы. Достаточно сильная помеха может вызвать выпадение из синхронизма. Считается, что максимальное приемлемое ухудшение – увеличение статической погрешности фазы на 10° или увеличение амплитуды дрожания фазы на 10°.

Увеличение интенсивности потока битовых ошибок телеметрии и точности измерения расстояния в результате воздействия помехи может быть выражено в терминах соответствующего уменьшения отношения сигнал/шум. Максимально приемлемое ухудшение для телеметрии и подсистемы измерения расстояния соответствует уменьшению на 1 дБ отношения спектральной плотности мощности сигнала к шуму.

Максимальная допустимая помеха для каждой подсистемы приемника получена из соответствующего максимально приемлемого ухудшения. Критерием защиты для всего приемника является максимальная допустимая помеха для наиболее чувствительной подсистемы.

В таблице 1 приведено максимально приемлемое ухудшение рабочих характеристик для каждой из четырех подсистем приемника.

2.2 Уровни помех соответствующие максимально приемлемому ухудшению рабочих характеристик

2.2.1 Мазерный предварительный усилитель

В таблице 2 дана мощность помехи, которая вызывает амплитудные искажения, равные 1 дБ, в мазерном предварительном усилителе. Источник данных приведен в Приложении 2.

ТАБЛИЦА 2

Максимальная допустимая мощность помехи для амплитудных искажений 1 дБ в мазерном предварительном усилителе на частоте 8,4 ГГц

Тип помехи	Источник данных	Помеха, вызывающая амплитудные искажения 1 дБ
Непрерывное излучение	Рис. 2	-114 дБВт
Шум (ширина полосы 40 МГц)	Рис. 2	-190 дБ(Вт/Гц)

2.2.2 Подсистемы подстройки несущей, телеметрии и измерения расстояния

2.2.2.1 Отношения сигнал/помеха для подстройки несущей, телеметрии и измерения расстояния

В таблице 3 показано отношение помехи к несущей (I/C), отношение помехи к сигналу (I/S) и отношение помехи к шуму (I/N), которые соответствуют приемлемому ухудшению подсистем подстройки несущей, телеметрии и измерения расстояния. Эти отношения найдены следующим образом:

Для помехи непрерывного режима допустимое отношение помехи для каждой подсистемы может быть найдено непосредственно из кривых, данных в Приложении 2.

Для шумоподобной помехи контуру слежения за несущей частотой на рис. 8 показано, что уменьшение границы несущей от 10 дБ (типичная минимальная рабочая точка) до 5,5 дБ приводит к 10° дополнительному дрожанию фазы. Соответствующее отношение I/N дается выражением:

$$I_0 / N_0 = 10 \log \left(10^{(CM_0/10)} / 10^{(CM_i/10)} - 1 \right) \text{ дБ,}$$

где:

I_0/N_0 : отношение спектральной плотности шума помехи к спектральной плотности шума приемника

CM_0 : порог несущей (дБ) без помехи

CM_i : порог несущей (дБ) с помехой,

и порог несущей представляет собой отношение мощности несущей к мощности шума в контуре слежения за несущей частотой.

Для шумоподобной помехи подсистемам телеметрии и измерения расстояния допустимое отношение помехи к шуму дается выражением:

$$I_0 / N_0 = 10 \log \left(10^{(\Delta E/N_0)/10} - 1 \right) \text{ дБ,}$$

где:

I_0/N_0 : отношение спектральной плотности шума помехи к спектральной плотности шума приемника

$\Delta E/N_0$: критерий, данный в таблице 1, и уменьшение эквивалентного отношения спектральной плотности символьной энергии к шуму или отношение сигнал/шум.

ТАБЛИЦА 3
Максимум допустимых значений I/C , I/S или I/N
для непрерывного излучения шумоподобной помехи

Подсистема (критерий)	Тип помехи	Источник данных	Максимум отношения помехи
<i>Подстройка несущей</i> (10° увеличение амплитуды дрожания фазы)	Непрерывный	Рис. 3	$I/C = -15$ дБ
	Шумоподобный	Рис. 8 и расчет	$I_0/N_0 = +2,6$ дБ
<i>Телеметрия</i> (Уменьшение на 1 дБ E/N_0 вследствие помехи контуру слежения за несущей частотой)	Непрерывный	Рис. 5	$I/C = -1,5$ дБ
<i>Телеметрия</i> (Уменьшение на 1 дБ E/N_0 вследствие помехи в полосе детектирования телеметрии)	Непрерывный	Рис. 4	$I/S = -11$ дБ
	Шумоподобный	Расчет	$I_0/N_0 = -5,9$ дБ
<i>Измерение расстояния</i> (Уменьшение на 1 дБ E/N_0 вследствие помехи контуру слежения за несущей частотой)	Непрерывный	Рис. 6	$I/C = -5$ дБ
<i>Измерение расстояния</i> (Уменьшение на 1 дБ E/N_0 вследствие помехи в полосе измерителя расстояния)	Непрерывный	Рис. 7	$I/S = -7,1$ дБ
	Шумоподобный	Расчет	$I_0/N_0 = -5,9$ дБ

2.2.2.2 Максимальная допустимая помеха для подстройки несущей, телеметрии и измерения расстояния

Для непрерывной помехи максимальная допустимая помеха зависит от отношения I/C (I/S) и минимального уровня (сигналов) несущей, определенного конструкцией приемника. Если считается, что мощности сигналов несущей, телеметрии и измерения расстояния имеют одинаковое значение, тогда из данных таблицы 3 следует, что максимальная допустимая непрерывная помеха определяется контуром слежения за несущей частотой, потому что это требует наименьшего значения I/C .

Для подстройки несущей минимальное отношение несущая/помеха равно 10 дБ. Соответствующая максимальная допустимая мощность помехи для шумоподобной помехи дается выражением:

$$P_i = N_0 + 10 \log B + 10 + I/C,$$

где:

- P_i : максимальная допустимая мощность помехи при подстройке несущей (дБВт)
- N_0 : спектральная плотность шума приемника, данная в таблице 4 (дБ(Вт/Гц))
- B : ширина полосы контура слежения за несущей частотой, принятая равной 1 Гц
- I/C : отношение помехи к несущей, определяемой в таблице 3 (дБ).

Результаты этих вычислений даны в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Максимальная допустимая мощность помехи для приемников земной станции

Диапазон (ГГц)	Спектральная плотность шума приемника (дБ(Вт/Гц))	Максимальная мощность непрерывной помехи (дБВт)	Максимальная спектральная плотность мощности шумоподобной помехи (дБ(Вт/Гц))
2,29–2,30	–216,6	–221,6	–222,5
8,40–8,45	–215,0	–220,0	–220,9
12,75–13,25	–214,6	–219,6	–220,5
31,8–32,3	–211,4	–216,4	–217,3

2.3 Критерии защиты для приемников дальней космической связи наземных станций

В таблице 5 дается максимальная допустимая помеха, которая не будет вызывать ухудшение работы приемника земной станции свыше приемлемого. Эти значения – критерии защиты на входе приемников дальней космической связи земной станции: большая помеха ведет к неприемлемому ухудшению. Также показан соответствующий спектральный поток плотности мощности в апертуре антенны рефлектора диаметром 70 м. Антенна имеет приблизительно 70% эффективность площади для более низких диапазонов и 40% при 32 ГГц.

ТАБЛИЦА 5

Защиты от помехи для наземных станций дальней космической связи

Диапазон (ГГц)	Максимальная приемлемая спектральная плотность мощности (дБ(Вт/Гц))	Максимальная приемлемая спектральная плотность потока мощности помехи (дБ(Вт/м ² · Гц))
2,29–2,30	–222,5	–257,0
8,40–8,45	–220,9	–255,1
12,75–13,25	–220,5	–254,3
31,8–32,3	–217,3	–249,3

Для защиты приемников земных станций спектральная плотность мощности шумоподобной помехи или полной мощности непрерывной помехи не должна быть больше, чем значение, показанное в таблице 5.

Для определения района координации вокруг земной станции необходимо рассмотреть распространение радиоволн, обусловленное изменяющимися метеорологическими условиями. Чтобы ограничить прекращение связи из-за расширенного загоризонтного распространения меньше, чем 5 минутами в течение любого дня года, необходимо учесть распространение в течение самого плохого погодного часа в году и самые плохие 5 минут в пределах того часа. Это условие принято как 0,001% времени.

В Приложении 7 к Регламенту радиосвязи МСЭ показывается, что применение 0,001% условия погоды ведет к немного увеличенному расстоянию координации, по сравнению с таким, которое необходимо для службы, способной допустить большее прекращение связи.

3 Критерии защиты космических станций в дальнем космосе

Космическая станция и приемники дальней космической связи земной станции работают подобным способом, за исключением того, что на космической станции отсутствует мазер. Космические станции восприимчивы к помехе подобно тому, как это описано ранее для земных станций.

Критерий защиты для приемников космической станции в дальнем космосе состоит в том, что мощность помехи должна быть не больше чем мощность шума приемника. По сравнению с критериями наземной станции дальней космической связи это условие менее неблагоприятно и является

следствием обычно больших запасов по характеристикам канала связи Земля-космос. Для защиты станций на космическом корабле в дальнем космосе спектральная плотность мощности широкополосной помехи или полная мощность непрерывной помехи в любой 20 Гц полосе на входе приемника должна быть не больше чем значение, показанное в таблице 6, – большая помеха ведет к ухудшению качества связи. Технические требования ширины полосы 20 Гц определяются шириной полосы контура слежения за несущей частотой приемопередатчика космического корабля, работающего с пороговой мощностью сигнала. Значения шумовой температуры, показанные в таблице 6, являются оценками, используемых в настоящее время практических систем, которые могли бы использоваться в дальнем космосе.

ТАБЛИЦА 6

Защита от помех для приемников космического корабля в дальнем космосе

Диапазон (ГГц)	Шумовая температура приемника (К)	Максимальная приемлемая спектральная плотность мощности помехи (дБ(Вт/20 Гц))
2,11–2,12	200	–192,6
7,145–7,190	330	–190,4
16,6–17,1	910	–186,0
34,2–34,7	2 000	–182,6

Приложение 2**Чувствительность к помехам приемных систем исследования дальнего космоса****1 Введение**

В данном Приложении дается информация относительно чувствительности к помехам приемных систем, используемых для радиосвязи в связи с исследованием дальнего космоса. Рассматриваются два класса помехи: непрерывная и шумоподобная помеха. Были проанализированы принимающие системы Сети глубокого космоса (СГК), используемой Соединенными Штатами Америки.

2 Приемная система

Приемная система включает четыре главных элемента, каждый из которых должен быть защищен от помехи: мазерный предварительный усилитель, контур слежения за несущей частотой, подсистема телеметрии и система измерения расстояния. Чувствительность к помехам каждого из них будет обсуждена ниже в п. 4. Упрощенная блок-схема приемной системы показана на рисунке 1.

РИСУНОК 1

Упрощенная функциональная блок-схема типичной приемной системы сети дальнего космоса



1157-01

3 Результаты воздействия помехи

Помеха может приводить к ухудшению рабочих характеристик, нелинейным искажениям или потере данных. Воздействие помехи зависит от ее силы и разнеса по частоте от полезного сигнала.

При уровне мощности от слабого до умеренного помеха в том же канале может увеличивать статическую погрешность фазы, дрожание фазы контура слежения за несущей частотой, коэффициент ошибок телеметрии по символам или уменьшать точность оценки дальности. Это ухудшение рабочих характеристик обычно может выражаться как эквивалентное уменьшение отношения сигнал/шум и, в теории, может быть компенсировано увеличением уровня мощности полезного сигнала. На практике мощность полезного сигнала обычно не корректируема.

Сильная помеха, имеющая большое разделение по частоте от полезного сигнала, может приводить к ухудшению рабочих характеристик и одновременно смещать один или большее число компонент приемника в нелинейную область, приводя к амплитудным искажениям, генерации гармоник, ложных сигналов, а также интермодуляционных помех. Эти нелинейные эффекты все вместе называются эффектами насыщения. В отличие от ухудшения рабочих характеристик, эффекты насыщения вообще нельзя компенсировать, даже если увеличить уровень мощности полезного сигнала.

Сильная помеха, имеющая небольшое разделение по частоте от полезного сигнала, может вызвать у приемной системы потерю захвата или синхронизации сигнала, что приведет к полной потере данных.

4 Воздействие непрерывной помехи

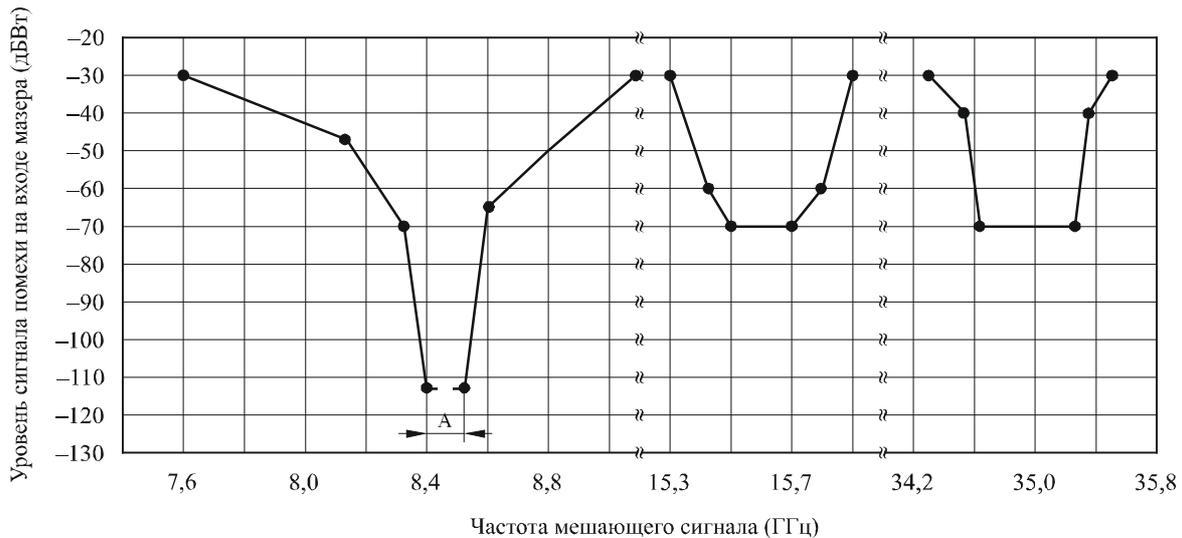
Конкретные влияния помех будут обсуждены в следующих подразделах для каждой из четырех приемных подсистем. Хотя приемная система наиболее чувствительна к помехе от передатчика в том же канале, радиопомеха от соседнего канала и даже внеполосная помеха может иногда вызывать вредные эффекты. Конкретные влияния помех будут обсуждены в следующих подразделах для каждой из четырех приемных подсистем. Хотя приемная система наиболее чувствительна к помехе от передатчика в том же канале, радиопомеха от соседнего канала и даже внеполосная помеха может иногда вызывать вредные эффекты.

4.1 Чувствительность к помехам мазерного предварительного усилителя

Основная чувствительность лазера к помехам – насыщение (амплитудные искажения), вызываемое сильными сигналами. Мазер наиболее чувствителен к помехе, которая имеет частоту в полосе или около полосы пропускания лазера, или в области незанятых частот лазера. Мощность помехи, которая вызывает амплитудные искажения лазера, равные 1 дБ, показывается на рисунке 2 для типичного лазера, работающего в диапазоне 8,4 ГГц.

РИСУНОК 2

Необходимый уровень сигнала для уменьшения на 1 дБ усиления лазера на частоте 8,45 ГГц, в зависимости от частоты



Тип радиопомехи: непрерывное излучение
А: полоса пропускания лазера

1157-02

4.2 Чувствительность контура слежения за несущей частотой к непрерывной помехе

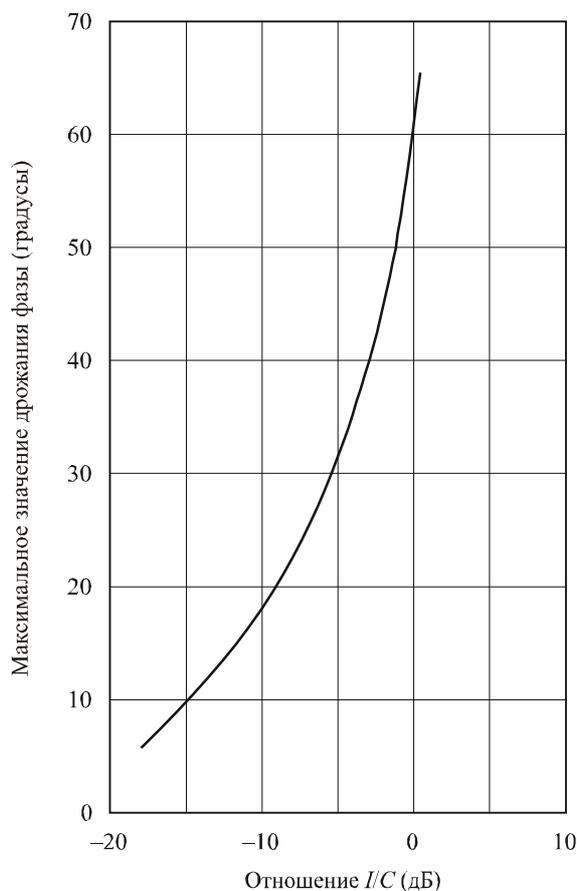
Контур слежения за несущей частотой – двойной гетеродинный контур подстройки, который содержит синхронный детектор АРУ (автоматическая регулировка усиления) и цепь фазовой синхронизации второго порядка, которой предшествует полосовой фильтр.

Сильная помеха может вызвать потерю контуром захвата полезного сигнала, и контур может захватить помеху. Непрерывная помеха как на фиксированной частоте, так и в широкой полосе (изменение частоты) может приводить к этому эффекту. Если помеха изменяется по частоте, контур может сначала терять захват полезного сигнала и затем захватить помеху вследствие перемещения частоты помехи к частоте полезного сигнала. По мере изменения частоты помехи от частоты контура контур разблокируется от помехи и может позже заново захватить полезный сигнал. Время, которое требуется для контура, чтобы заново захватить полезный сигнал, зависит от мощности сигнала, величины помехи и скорости сканирования. Это время может варьироваться от секунд до минут. Если помеха – на фиксированной частоте, то захват полезного сигнала может быть невозможен.

При менее сильном уровне помехи может увеличиваться статическая погрешность фазы и дрожание фазы в контуре. Это справедливо как для помехи на фиксированной частоте, так и для широкополосной помехи.

На рисунке 3 показано колебание амплитуды как функции отношения непрерывной помехи к несущей.

РИСУНОК 3

Амплитуда дрожания фазы отношения I/C 

Тип радиопомехи: непрерывное излучение

1157-03

4.3 Чувствительность подсистемы телеметрии к непрерывной радиопомехе

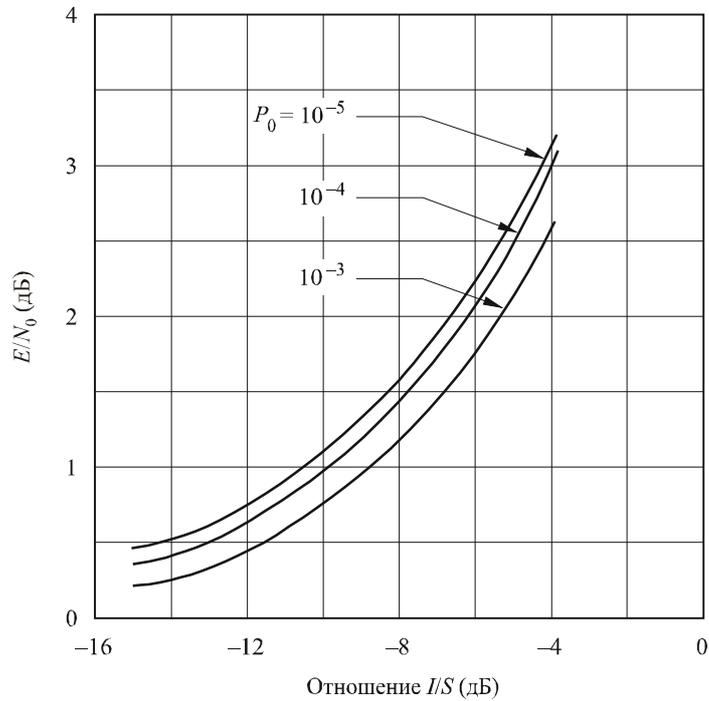
Ухудшение телеметрии может быть выражено как эквивалентное уменьшение отношения спектральной плотности символьной энергии к шуму $\Delta E/N_0$, который определен как значение, на которое отношение спектральной плотности символьной энергии уменьшилось бы при отсутствии помехи, чтобы получить коэффициент символьных ошибок, равный коэффициенту в присутствии помехи.

Отношение $\Delta E/N_0$, обусловленное непрерывной помехой, которая находится в пределах ширины полосы детектирования телеметрии, дается на рисунке 4.

Работа телеметрии может также ухудшаться непрерывной помехой, которая попадает в пределы полосы контура слежения за несущей частотой. На рисунке 5 показано отношение $\Delta E/N_0$, обусловленное дрожанием фазы контура слежения за несущей частотой в зависимости от отношения помехи к несущей, для смещения частоты -10 Гц и для типичного режима приема в диапазоне $8,4$ ГГц.

РИСУНОК 4

Эквивалентное уменьшение отношения сигнал телеметрии/шум, E/N_0 , в результате помехи в телеметрическом канале, в зависимости от отношения помехи к сигналу, для выбранных значений вероятности символьной ошибки P_0



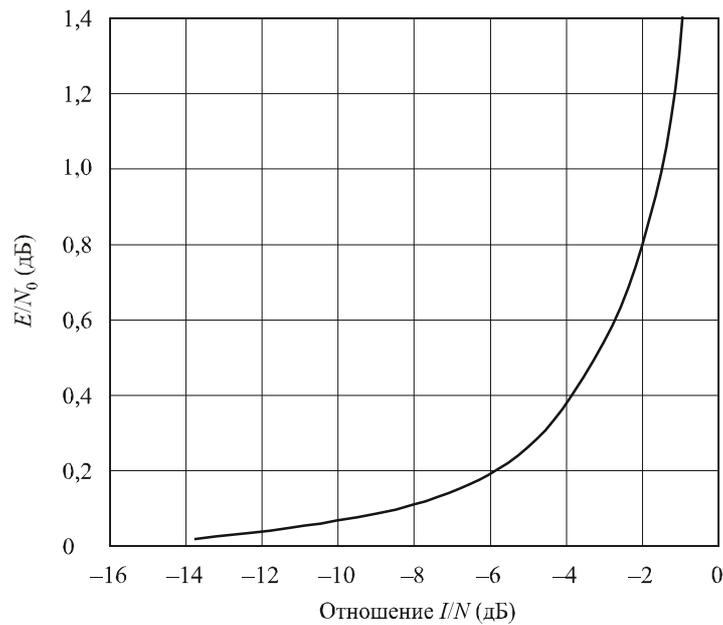
Тип радиопомехи: непрерывное излучение

P_0 : вероятность символьной ошибки

1157-04

РИСУНОК 5

Эквивалентное уменьшение отношения сигнал телеметрии/шум, E/N_0 , в результате фазовой ошибки контура слежения за несущей частотой и дрожания фазы, в зависимости от отношения помехи к несущей



Тип радиопомехи: непрерывное излучение

Полоса = 8,45 ГГц

Частотное смещение = 10 Гц

1157-05

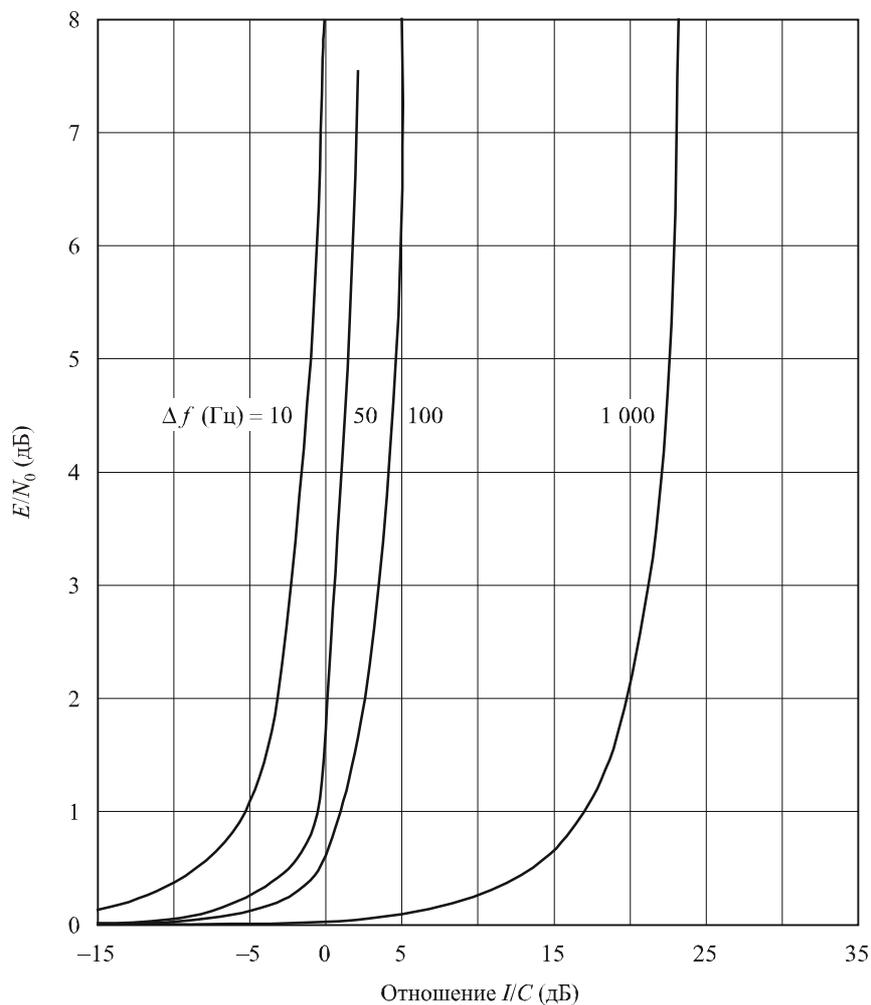
4.4 Чувствительность системы измерения расстояния к непрерывной радиопомехе

Помеха может ухудшать работу системы измерения расстояния, увеличивая дисперсию оценок дальности. Ухудшение может быть выражено в терминах эквивалентного уменьшения отношения эффективного сигнала измерения расстояния к шуму.

Непрерывная помеха в ширине полосы контура слежения за несущей частотой воздействует на работу системы измерения расстояния, как показано на рисунке 6. Влияние непрерывной помехи в ширине полосы сигнала показано на рисунке 7. Отношение I/S – это отношение мощности помехи к мощности сигнала измерения расстояния.

РИСУНОК 6

Эквивалентное уменьшение отношения сигнала измерения расстояния к шуму, E/N_0 , в результате фазовой ошибки контура слежения за несущей частотой и дрожания фазы, в зависимости от отношения помехи к несущей, для набора частот



Тип радиопомехи: непрерывное излучение

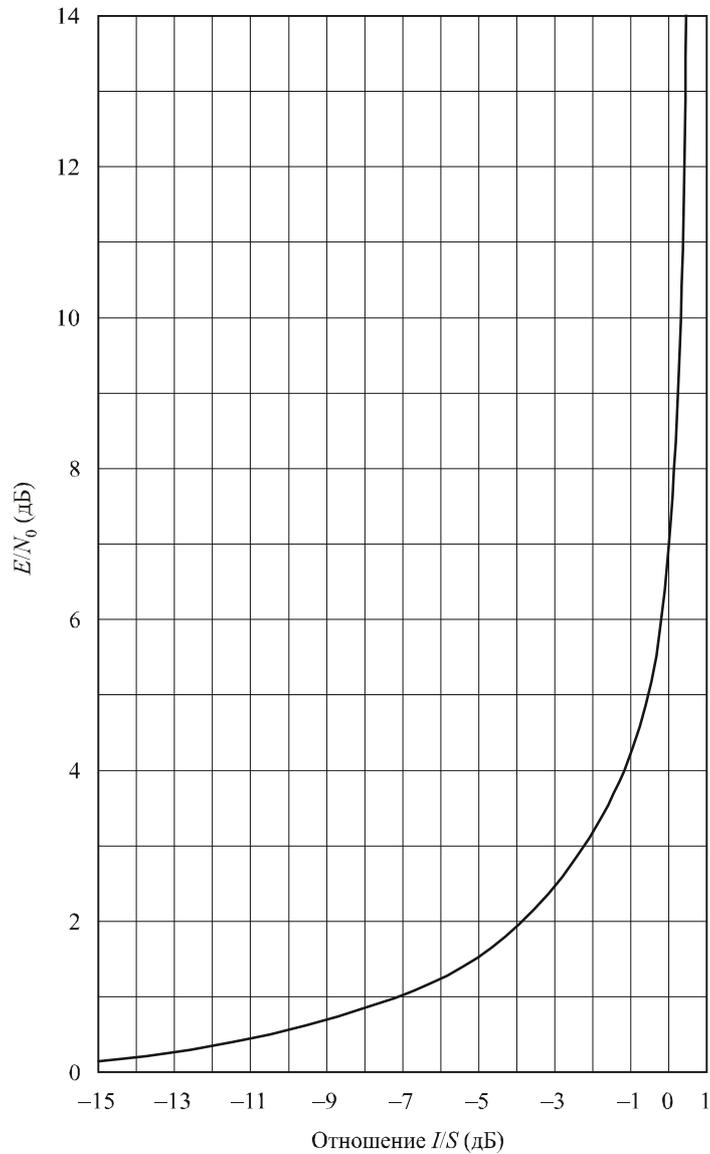
Полоса = 8,45 ГГц

Δf : частотное смещение

1157-06

РИСУНОК 7

Эквивалентное уменьшение отношения сигнала измерения расстояния к шуму, E/N_0 в результате помехи в канале измерения расстояния, в зависимости от отношения помехи к сигналу



Тип радиопомехи: непрерывное излучение

1157-07

5 Влияние шумоподобной помехи

Шумоподобная помеха может насыщать мазерный предварительный усилитель и может ухудшать работу контура слежения за несущей частотой, подсистемы телеметрии и системы измерения расстояния. Чтобы вызывать амплитудные искажения лазера величиной 1 дБ, спектральная плотность мощности шумоподобной помехи, I_0 , должна быть равна -190 дБ(Вт/Гц), при ширине полосы лазера, равной 40 МГц.

Для контура слежения за несущей частотой амплитуда дрожания фазы зависит от порога несущей, как показано на рисунке 8. Шумоподобная помеха уменьшает порог несущей и, следовательно, увеличивает дрожание фазы. Порог несущей связан с I_0/N_0 выражением:

$$CM_i = CM_0 + 10 \log (1 + I_0/N_0)^{-1},$$

где:

CM_i : порог несущей (дБ) в присутствии помехи

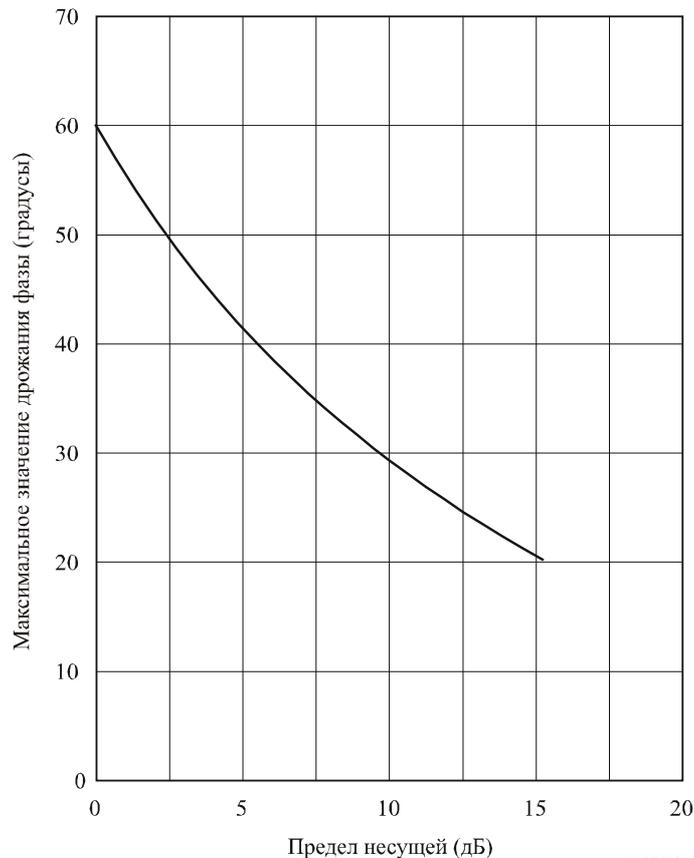
CM_0 : порог несущей (дБ) без помехи

I_0/N_0 : отношение спектральной плотности шума помехи к спектральной плотности шума приемника.

С помощью рисунка 8 и предшествующего выражения можно рассчитать I_0/N_0 при учете конкретного порога несущей без помехи и приемлемого увеличения дрожания фазы. Например, для типичного порога 10 дБ увеличение на 10° амплитуды дрожания фазы будет вызвано помехой, которая уменьшает порог до 5,5 дБ. Отношение I_0/N_0 для этого случая равно 2,6 дБ.

РИСУНОК 8

Амплитуда дрожания фазы в зависимости от порога несущей



1157-08

Влияние шумоподобной помехи на телеметрию и систему измерения расстояния должно уменьшить отношение эффективной символьной энергии к спектральной плотности шума и поэтому увеличить коэффициент ошибок телеметрии и дисперсию оценки дальности.

Уменьшение эквивалентного отношения символьной энергии к спектральной плотности шума, $\Delta E/N_0$, может быть выражено следующим образом:

$$\Delta E/N_0 = 10 \log (1 + I_0/N_0) \quad \text{дБ,}$$

где I_0/N_0 – отношение спектральной плотности шума помехи к спектральной плотности шума приемника. Зная приемлемое сокращение отношения E/N_0 , можно рассчитать соответствующее значение I_0/N_0 .