

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1806

Показатели готовности для гипотетических эталонных цифровых трактов фиксированной спутниковой службы, работающих на частотах ниже 15 ГГц

(Вопрос МСЭ-R 73/4)

(2008)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации рассматриваются показатели готовности для гипотетических эталонных цифровых трактов (ГЭЦТ) фиксированной спутниковой службы, работающих на частотах ниже 15 ГГц. Эти показатели базируются на показателях готовности, определенных в соответствующих рекомендациях МСЭ-T, и дополняют показатели готовности и качества, содержащиеся в соответствующих рекомендациях МСЭ-R, которые перечислены в разделе справочных документов.

Справочные документы

- ITU-T Recommendation G.827: Availability performance parameters and objectives for end-to-end international constant bit-rate digital paths.
- Рекомендация МСЭ-R S.579: Нормы готовности гипотетических эталонных цепей и гипотетических эталонных цифровых трактов, используемых для передачи телефонных сигналов при помощи импульсно-кодовой модуляции или являющихся частью гипотетического эталонного соединения цифровой сети с интеграцией служб, в фиксированной спутниковой службе, работающей на частоте ниже 15 ГГц.
- Рекомендация МСЭ-R S.614: Допустимые показатели качества по ошибкам для спутникового гипотетического эталонного цифрового тракта фиксированной спутниковой службы, работающего на частотах ниже 15 ГГц и входящего в состав международного соединения цифровой сети с интеграцией служб.
- Рекомендация МСЭ-R S.1062: Допустимые показатели качества по ошибкам для спутникового гипотетического эталонного цифрового тракта, работающего в полосах частот ниже 15 ГГц.
- Рекомендация МСЭ-R S.1424: Показатели готовности для гипотетического эталонного цифрового тракта, используемого в режиме широкополосной асинхронной передачи в Ш-ЦСИС геостационарных спутниковых систем фиксированной спутниковой службы на частотах ниже 15 ГГц.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что гипотетические эталонные цифровые тракты (ГЭЦТ) фиксированной спутниковой службы (ФСС), определенные в Рекомендации МСЭ-R S.521, предназначены для использования разработчиками и планировщиками в качестве руководства;
- b) что готовность ГЭЦТ обусловлена суммарным влиянием готовности оборудования и распространения;
- c) что готовность оборудования (включая космическую станцию) зависит от показателей надежности, ремонтпригодности и поддержки технического обслуживания;
- d) что неготовность, вызванная ухудшением условий распространения, зависит от превышения порогового уровня затухания, частоты и продолжительности этих превышений;

е) что спутниковые системы способны обеспечивать показатель готовности аналогичный показателю готовности для наземных трактов, при использовании соглашений об уровне обслуживания (СУО) или соглашений о качестве обслуживания (СКО) для отдельных линий (см. Рекомендацию МСЭ-T E.801);

ф) что готовность геостационарной спутниковой линии в значительной степени зависит от расстояния между пунктами отправления и назначения на линии,

рекомендует,

1 чтобы готовность ГЭЦТ ФСС определялась по следующей формуле:

$$\text{Готовность} = (100 - \text{Неготовность}) \quad \%,$$

где:

$$\text{Неготовность} = \frac{\text{Время неготовности}}{\text{Требуемое время}} \times 100 \quad \%,$$

где требуемое время определяется как период времени, в течение которого пользователю необходимо, чтобы цифровой тракт был в состоянии выполнять требуемую функцию, а время неготовности – это накопленное время перерывов в работе цифрового тракта в течение требуемого времени (см. также пункт 5 раздела *рекомендует*, в котором рассматривается время неготовности);

2 чтобы интенсивность отказов определялась как количество отказов (т. е. периодов времени неготовности, определенного в пункте 5 раздела *рекомендует*) за период измерения, где типовой период измерения составляет один год (8766 ч) (см. также Примечание 5);

3 чтобы ГЭЦТ удовлетворял показателям готовности, зависящей от условий распространения, которые приведены в таблице 1:

ТАБЛИЦА 1

**Показатели готовности, зависящей от условий распространения,
для цифровых спутниковых линий ФСС**

Скорость (Мбит/с)	Вплоть до первичной скорости 1,544–2,048		Выше первичной скорости	
	Готовность	Интенсивность отказов (отказов/год)	Готовность	Интенсивность отказов (отказов/год)
Среднее значение для ГЭЦТ	99,9%	20	99,96%	20

4 чтобы дополнительная неготовность ГЭЦТ ФСС, возникающая за счет оборудования, не превышала 0,11% в год;

5 чтобы линии ФСС между концами ГЭЦТ, определенные в Рекомендации МСЭ-R S.521, считались неготовыми, если на любом приемном конце линии одно или несколько условий, приведенных в пп. 5.1–5.3, ниже, выполняются в течение 10 последовательных секунд или более (см. Примечание 3):

5.1 цифровой сигнал прерывается (т. е. происходит потеря выравнивания или синхронизации);

5.2 при передаче на скорости ниже первичной (1,544 Мбит/с или 2,048 Мбит/с) коэффициент ошибок по битам (КОБ), усредненный на интервале 1 секунда, превышает 10^{-3} ;

5.3 при передаче на первичной или на более высокой скорости (1,544 Мбит/с или 2,048 Мбит/с) каждая секунда считается секундой со значительным количеством ошибок (SES), где SES определяется в соответствии с Рекомендацией МСЭ-T G.826 как секунда, содержащая 30% блоков с ошибками, или, по меньшей мере, один период с серьезными нарушениями соединения (SDP);

6 чтобы следующие примечания рассматривались как часть настоящей Рекомендации:

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Период времени неготовности начинается при выполнении одного из условий, указанных в пп. 5.1–5.3 в течение периода времени, равного 10 или более последовательных секунд. Эти 10 секунд считаются временем неготовности. Период времени неготовности прерывается, если то же самое условие перестает выполняться в течение периода времени, равного не менее 10 последовательных секунд. Эти 10 секунд считаются временем готовности. Периоды ухудшения качества, длящиеся менее 10 последовательных секунд, в течение которых выполняются условия, перечисленные в пп. 5.1–5.3 раздела *рекомендует*, считаются временем готовности.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Все отказы вследствие солнечных затмений и влияния солнца учитываются как время неготовности в пункте 3 раздела *рекомендует*, если они происходят в требуемое время. Влияние солнечных помех в требуемое время можно свести к минимуму за счет эксплуатационных мер, поскольку эти события могут быть точно предсказаны (см. Рекомендацию МСЭ-R S.1525).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – При расчете готовности должно четко учитываться среднее время между отказами, среднее время восстановления обслуживания, а также защитные меры, принятые для ослабления влияния перерывов и ухудшений показателей качества спутниковой связи, включая использование резервных каналов и систем резервирования.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – От процента времени неготовности в связи с распространением, определенного для любого месяца, можно перейти к периоду неготовности для любого года с помощью коэффициента преобразования, равного 5. То есть значение неготовности 0,2% для любого месяца будет соответствовать значению 0,04% для любого года (термин "любой год" приводится в Примечании 11 к Рекомендации МСЭ-R S.353). Данный коэффициент преобразования описывается в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R S.614.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Значения показателей интенсивности отказов, приведенные в таблице 1, базируются на значениях "среднего времени восстановления" (т.е. средней продолжительности интервалов времени неготовности обслуживания), равном 4 часа. Ухудшения условий распространения, приводящие к самовосстановлению после неготовности, обычно носят более кратковременный характер. В этом случае они не должны учитываться.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Дополнительная информация о показателях интенсивности отказов для цифровых спутниковых трактов, представлена в Приложении 1.

Приложение 1

Возможность применения к спутниковым линиям параметров из Рекомендации МСЭ-T G.827 "Коэффициента готовности и интенсивности отказов"

1 Введение

В настоящем Приложении рассматриваются показатели готовности, приведенные в Рекомендации МСЭ-T G.827, с учетом результатов прогнозирования длительности и частоты возникновения замираний, которое было выполнено с использованием методов, описанных в рекомендации МСЭ-R P.1623. Также рассматривается возможность применения этих результатов к показателям готовности для цифровых спутниковых соединений. В частности, рассматриваются показатели интенсивности отказов, представленные в Рекомендации МСЭ-T G.827, в связи с оценкой глубины замираний и количества замираний, спрогнозированных для спутниковой линии.

2 Базовая информация

Рекомендация МСЭ-R S.579 была разработана давно и применяется во многих существующих линиях ФСС. Она служит в качестве общего справочного документа по готовности спутниковых линий и содержит информацию об эффектах распространения на спутниковых линиях. Новые спутниковые соединения, поддерживающие передачу трафика по протоколу Интернет и сети последующих поколений, требуют дополнительных параметров для определения показателей готовности. В настоящем приложении содержится информация об адаптации параметров готовности, содержащихся в рекомендациях МСЭ-T, к спутниковым участкам ГЭЦТ.

3 Рекомендация МСЭ-T G.827

В Рекомендации МСЭ-T G.827 приводятся параметры, используемые для определения показателей готовности.

Одним из параметров является коэффициент готовности (AR), который определяется так же, как и готовность в Рекомендации МСЭ-R S.579. AR определяется следующим образом:

$$AR = \text{Время готовности} / \text{Общее время.}$$

Для этих расчетов общее время, как правило, берется равным одному году (365,25 дней, 8766 часов). Этот параметр используется в качестве базового в Рекомендации МСЭ-R S.579.

Второй параметр, приведенный в Рекомендации МСЭ-T G. 827, – это интенсивность отказов (OI), а также обратный ей параметр – среднее время между отказами (Mo). В соответствии с Рекомендацией МСЭ-T G.827, имеем:

"Среднее время между отказами (Mo) – это средняя длительность интервалов, когда элемент тракта находится в состоянии готовности в течение периода измерения. Количество отказов за период измерения называется интенсивностью отказов. Если период измерения равен одному году, и величина Mo выражается в долях года, то величина OI является обратной к Mo".

В таблице 2/G.827, ниже, приведены сквозные показатели готовности для международного гипотетического эталонного цифрового тракта длиной 27 500 км на первичной скорости передачи или выше.

"ТАБЛИЦА 2/G.827

Сквозные показатели готовности для международного ГЭЦТ длиной 27 500 км на первичной скорости передачи или выше

Уровень качества	Коэффициент готовности (AR)	Интенсивность отказов (OI)
С высоким приоритетом	98%	70
Со стандартным приоритетом	91%	250

"

В таблице 2 приведены соответствующие показатели – коэффициент готовности и интенсивность отказов – для спутникового участка ГЭЦТ длиной 27 500 км, полученные с использованием выделенной доли 35% от сквозного показателя, приведенного в Рекомендации МСЭ-T G.826.

ТАБЛИЦА 2

**Показатели готовности для спутникового участка G.827
на первичной скорости передачи или выше**

Уровень качества	Коэффициент готовности (AR)	Интенсивность отказов (ОИ) (число отказов в год)
С высоким приоритетом	99,3%	25
Со стандартным приоритетом	96,8%	88

4 Готовность сегментов линии

В Рекомендации МСЭ-R S.1424 приведен пример готовности спутникового сегмента, составляющей 99,99%. Готовность земной станции для обслуживаемых земных станций на частоте 11/12 ГГц и $G/T = 31,7$ дБ/К задается равной 99,95% для каждой земной станции. Это приводит к тому, что результирующая готовность земного сегмента составляет 99,90%. Готовность оборудования, относящегося к объединенным земному и космическому сегментам, составляет 99,89%.

Если в качестве требования использовать показатель готовности для высокоприоритетных трактов из Рекомендации МСЭ-T G.827, равный 99,3%, то при готовности оборудования, равной 99,89%, готовность распространения должна составлять 99,4% или выше. Эта информация обобщена в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

**Показатель готовности спутникового участка, необходимый для соблюдения требований
Рекомендации МСЭ-T G.827 к линиям с высокоприоритетным уровнем качества
на первичной скорости передачи или выше**

Показатель готовности спутникового участка из Рекомендации МСЭ-T G.827 (с высоким приоритетом)	99,3%
Готовность оборудования спутникового сегмента	99,99%
Готовность оборудования земного сегмента (каждая земная станция)	99,95%
Соответствующая готовность распространения	99,41%

Следует отметить, что значения коэффициента готовности, которые рекомендованы в таблице 3, являются более жесткими, чем значения согласно Рекомендации МСЭ-T G.827, потому что ГЭЦТ должен также соблюдать требования Рекомендаций МСЭ-T G.821 и G.826 (см. также Рекомендации МСЭ-R S.579, S.614 и S.1062).

При отсутствии более точных данных об интенсивности отказов спутниковых и земных станций на сегмент космических и земных станций отводится пять отказов в год, исходя из опыта инженерно-конструкторской работы. Сбор надежных данных позволит получить более точные значения и может стать предметом дальнейших исследований в МСЭ-R.

5 Интенсивность отказов и ослабление

В настоящем разделе представлена информация, полученная на основе применения Рекомендации МСЭ-R P.1623, относительно расчета значений интенсивности отказов для спутниковых линий при готовности распространения, равной 99,4%.

На линиях 6/4 ГГц редко случаются отказы, связанные с распространением, превышающие 1 дБ. Следовательно, единственной существенной причиной отказов являются отказы оборудования. Современные земные станции обслуживаются на таком уровне, при котором соблюдение требований Рекомендации МСЭ-T G.827 к интенсивности отказов не должно вызвать затруднений.

Для спутниковых линий, действующих на частотах выше 10 ГГц, отказы, связанные с распространением, могут быть существенными и учитываются при проектировании этих линий. Рассматривая вкратце применяемые в данном разделе процедуры, отметим, что готовность распространения 99,4% соответствует определенной глубине замираний, которая может быть вычислена с помощью Рекомендации МСЭ-R P.618. Используя данное значение глубины замираний, можно применить методы, приведенные в Рекомендации МСЭ-R P.1623, чтобы определить вероятность замираний с такой глубиной и количество замираний с такой глубиной в год.

В таблице 5 показаны значения глубины замираний, соответствующие готовности распространения 99,4% и рассчитанные с использованием методов из Рекомендации МСЭ-R P.618, для трех примеров местоположений, характеристики которых представлены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

Примеры местоположений и связанные с ними климатические характеристики

Координаты земной станции	46,222° с. ш. 6,139° в. д.	25,81° с. ш. 279,88° в. д.	40,773° с. ш. 286,025° в. д.
Угол места	30°	24°	23°
Скорость выпадения дождя для 0,01% времени года	25 мм/ч	96 мм/ч	43 мм/ч

ТАБЛИЦА 5

Значения глубины замираний, соответствующие готовности распространения 99,4%

Местоположение земной станции	46,222° с. ш. 6,139° в. д.		25,81° с. ш. 279,88° в. д.		40,773° с. ш. 286,025° в. д.	
Частота трассы (ГГц)	11	14	11	14	11	14
Глубина замираний (дБ)	0,6	1,1	2,7	4,7	1,5	2,6

Следует отметить, что значения глубины замираний, приведенные в таблице 5, не учитывают дополнительного необходимого запаса на повышение шумовой температуры приемной станции вследствие значительной облачности.

5.1 Количество замираний, приводящих к отказам

В соответствии с существующими рекомендациями по показателям качества и готовности спутниковой связи, отказы в спутниковых соединениях возникают при падении показателя готовности соединения ниже порогового значения в течение 10 секунд и более.

Исходя из количества отказов, приведенных в таблице 2, можно определить глубину замираний, соответствующую этому количеству отказов. Соблюдение Рекомендации МСЭ-T G.827 подразумевает, что при расчете спутниковой линии должен быть заложен достаточный запас¹ на то, чтобы количество замираний длительностью 10 секунд и более не превышало требований к интенсивности отказов. Следовательно, запас на замирания для спутниковой линии должен соответствовать глубине замираний длительностью 10 секунд или превышать это значение, которое отмечено по оси ординат на рисунках 1–6. В таблице 6 обобщены соответствующие запасы на замирание, необходимые для соблюдения требований Рекомендации МСЭ-T G.827 к интенсивности отказов, а также запасы, необходимые для соблюдения требований к готовности распространения, приведенные в таблице 1, для трех местоположений на частотах 11 ГГц и 14 ГГц.

¹ В Рекомендации МСЭ-R S.1061 приводится описание различных принципов и методов противодействия замиранию в фиксированной спутниковой службе, применение которых может обеспечить требуемый запас.

ТАБЛИЦА 6

Запас на замирание, необходимый для соблюдения требований Рекомендации МСЭ-Т G.827 к интенсивности отказов, для трех местоположений земных станций на частотах 11 ГГц и 14 ГГц

Местоположение земной станции	46,222° с. ш. 6,139° в. д.		25,81° с. ш. 279,88° в. д.		40,773° с. ш. 286,025° в. д.	
	11	14	11	14	11	14
Запас на замирание, необходимый для обеспечения готовности распространения 99,9%	1,5	2,6	6,6	11,2	3,2	5,5
Запас на замирание, необходимый для обеспечения готовности распространения 99,96%	2,3	4,0	9,7	16,3	4,8	8,2
Запас на замирание, необходимый для соблюдения требований G.827 к интенсивности отказов соединений с высоким приоритетом (дБ)	5,4	8,7	18,0	27,0	5,3	13,6
Запас на замирание, необходимый для соблюдения требований G.827 к интенсивности отказов соединений со стандартным приоритетом (дБ)	2,7	4,8	10,6	17,1	2,7	7,7

5.2 Результаты наблюдений

При рассмотрении таблиц 5 и 6 становится очевидно, что требования Рекомендации МСЭ-Т G. 827 к коэффициенту готовности, можно соблюсти при относительно небольших запасах на линии. Дополнительный запас необходим для выполнения требований к интенсивности отказов для соединения со стандартным приоритетом, лежащих в пределах 1,9–12,5 дБ, в зависимости от частоты и местоположения земной станции. Предполагается, что потребуется еще больший запас для выполнения требований к соединениям с высоким приоритетом. Спутниковые линии, рассчитанные на соблюдение требований к интенсивности отказов, обеспечат гораздо лучший коэффициент готовности, чем коэффициент, установленный в Рекомендации МСЭ-Т G.827, или даже требования к готовности распространения, приведенные в таблице 1.

Основной причиной отказов на спутниковых трактах является замирание, вызванное аномальным распространением. Восстановление после этих отказов не требует вмешательства и, таким образом, отказы являются самовосстанавливающимися. В соответствии с примечанием к таблице 2/G.827 из Рекомендации МСЭ-Т G.827, значения интенсивности отказов основываются на среднем времени восстановления, равном 4 часа. В соответствии с рассчитанными статистическими данными распространения, замирания длительностью 4 часа и более возникают лишь несколько раз в год или совсем не возникают.

Учитывая длительность и самовосстанавливающийся характер отказов распространения, соблюдение требований к интенсивности отказов с точки зрения отказов распространения не вызовет затруднений.

Отказы, связанные с неисправностями оборудования космического или наземного сегментов, произошедшими при нормальных обстоятельствах, могут длиться не менее 4 часов и даже больше, в зависимости от конфигурации земной станции, наличия запасного оборудования и обеспеченности обслуживающим персоналом. Значения готовности для космического и земного сегментов, которые определены при разработке Рекомендации МСЭ-R S.1424, касающейся готовности спутниковых соединений в режиме асинхронной передачи трафика, составляют соответственно 99,99% и 99,95%. Используя эти значения, получим среднее количество отказов, связанных с неисправностью оборудования, которое составляет 1,5 отказа в год. Таким образом, за счет обеспечения достаточного запаса для соблюдения требований к коэффициенту готовности, можно без затруднений выполнить требования Рекомендации МСЭ-Т G.827 к спутниковым цифровым трактам.

РИСУНОК 1

Количество замираний длительностью D в год, на частоте 11 ГГц
46,222° с. ш., 6,139° в. д.; $R_{0,01} = 25$; угол места = 30°

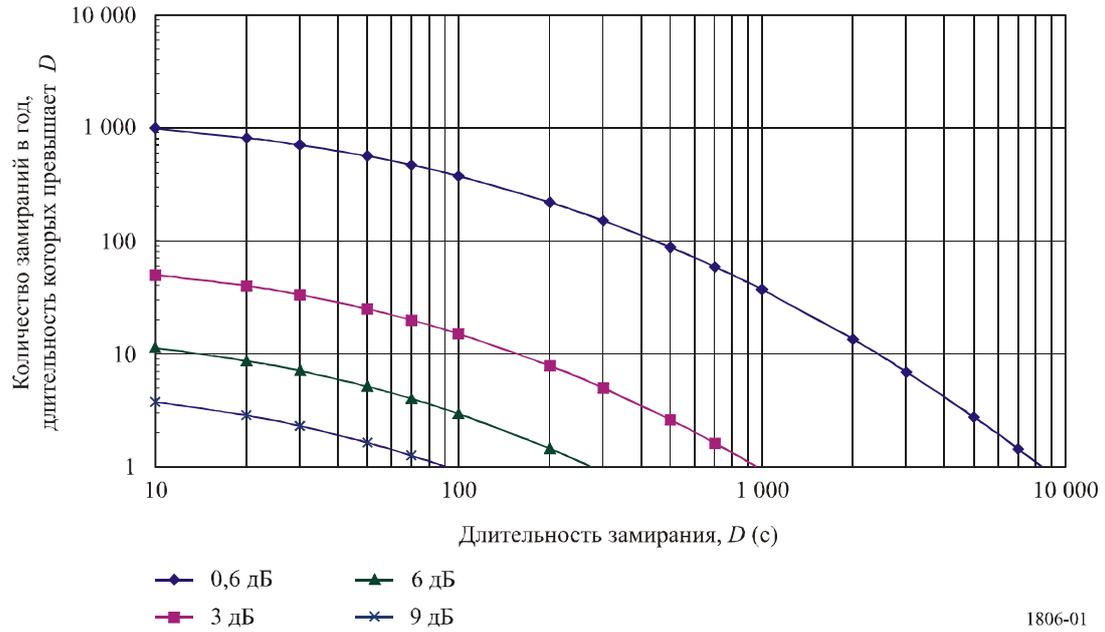


РИСУНОК 2

Количество замираний длительностью D в год, на частоте 14 ГГц
46,222° с. ш., 6,139° в. д.; $R_{0,01} = 25$; угол места = 30°

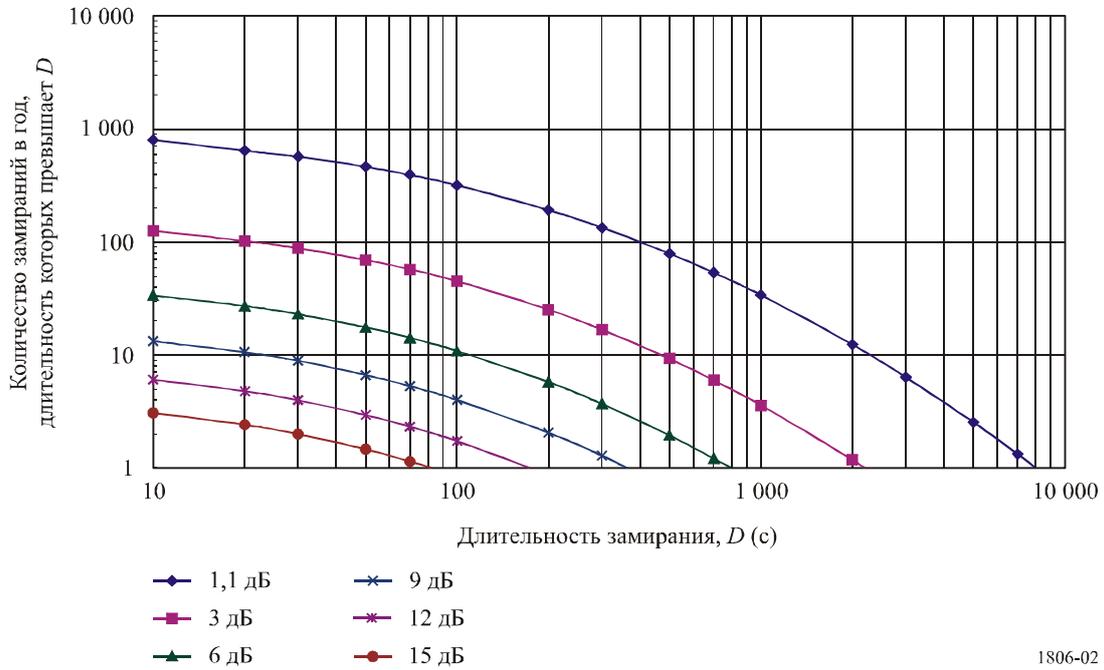


РИСУНОК 3

Количество замеров длительностью D в год, на частоте 11 ГГц
 25,81° с. ш., 279,88° в. д.; $R0,01 = 96$; угол места = 24°

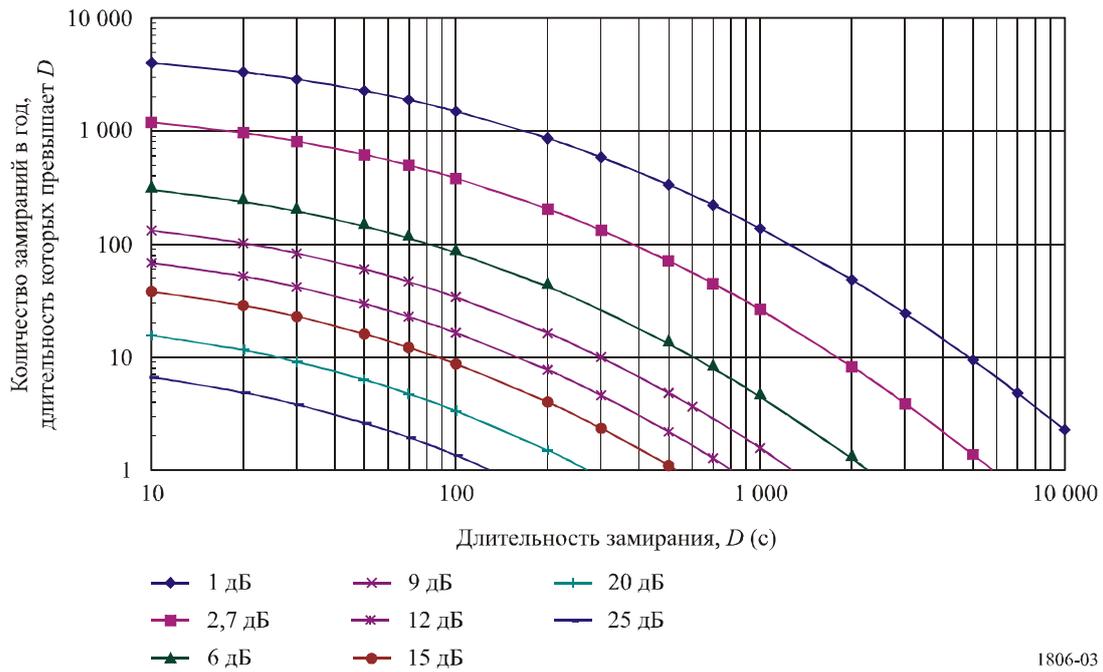


РИСУНОК 4

Количество замеров длительностью D в год, на частоте 14 ГГц
 25,81° с. ш., 279,88° в. д.; $R0,01 = 96$; угол места = 24°

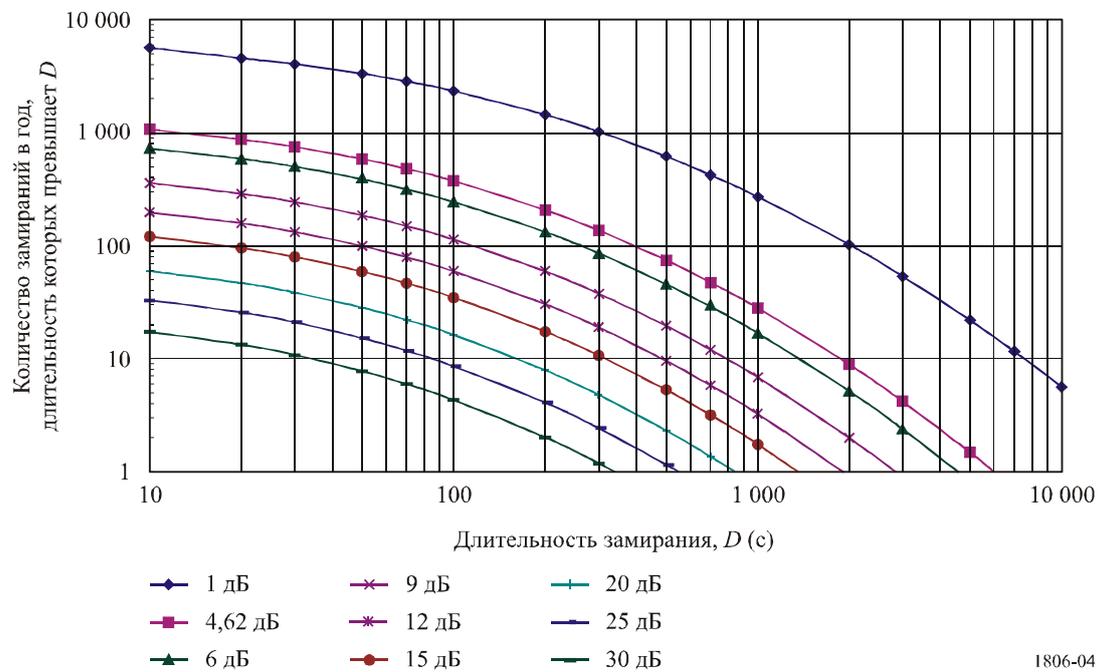


РИСУНОК 5

Количество замеров длительностью D в год, на частоте 11 ГГц
 40,773° с. ш., 286,025° в. д.; $R0,01 = 43$; угол места = 23°

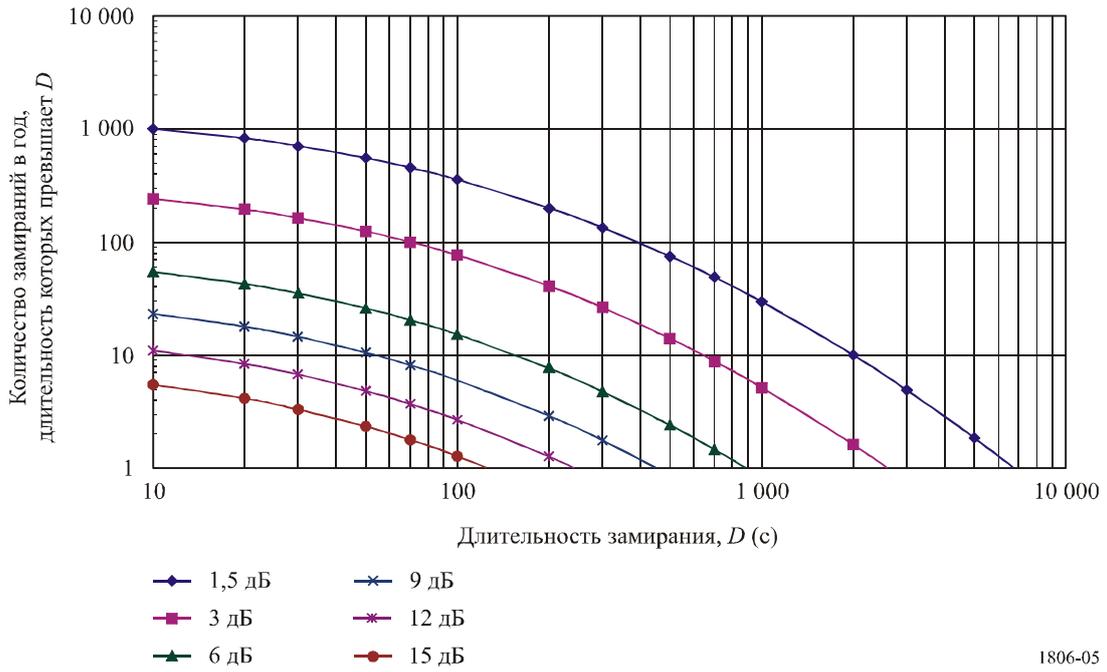
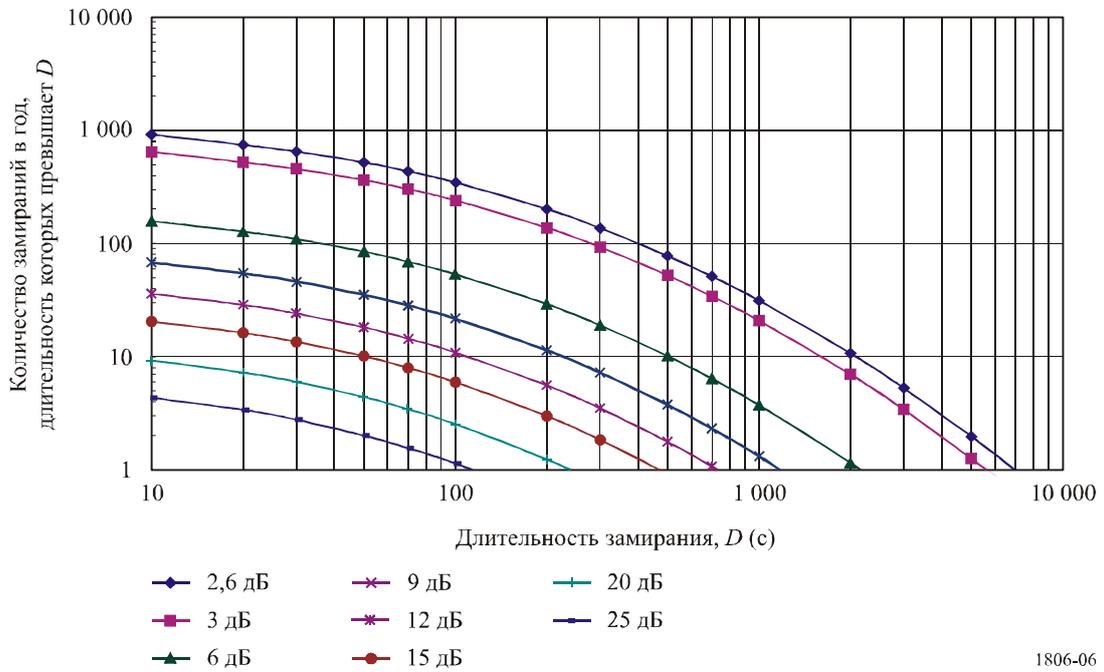


РИСУНОК 6

Количество замеров длительностью D в год, на частоте 14 ГГц
 40,773° с. ш., 286,025° в. д.; $R0,01 = 43$; угол места = 23°



6 Выводы

В настоящем Приложении рассматриваются методы, содержащиеся в Рекомендации МСЭ-R P.1623, которые используются для расчета количества замираний, возникающих на спутниковой линии, как функции от частоты, угла места и местоположения земной станции. На основе этих результатов рассчитывается запас на замирание для спутниковой линии, исходя из требований к коэффициенту готовности и интенсивности отказов, приведенных в Рекомендации МСЭ-T G.827. Отмечается существенное различие между полученной оценкой запаса на замирание, необходимого для соблюдения требований к коэффициенту готовности, а также оценкой запаса, необходимого для соблюдения требований к интенсивности отказов. Необходимо провести дальнейшую работу по описанию качества работы современных цифровых спутниковых линий, в которых используется упреждающая коррекция ошибок, с точки зрения требований к интенсивности отказов, приведенных в Рекомендации МСЭ-T G.827.
