

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.579-6

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

(Вопрос МСЭ-R 73/4)

(1982-1986-1992-1994-1997-2001-2005)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации рассматриваются 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. Настоящая Рекомендация базируется на нормах готовности, определенных в некоторых Рекомендациях МСЭ-Т.

Настоящая Рекомендация была обновлена, с тем чтобы надлежащим образом отразить новые изменения, внесенные в соответствующие Рекомендации МСЭ-Т. В Приложение включен новый раздел, содержащий руководство по применению Рекомендации МСЭ-R P.1623 для расчета статистики ослабления сигналов в условиях замираний, обусловленных средой распространения.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что гипотетическая эталонная цепь (ГЭЦ), как она определена в Рекомендации МСЭ-R S.352, и гипотетический эталонный цифровой тракт (ГЭЦТ), как он определен в Рекомендации МСЭ-R S.521, в ФСС предназначены в качестве руководства для разработчиков систем и планировщиков;
- b) что готовность оборудования (включая космическую станцию) зависит от показателей его надежности, ремонтпригодности и материального обеспечения технического обслуживания;
- c) что готовность ГЭЦ или ГЭЦТ определяется готовностью оборудования и влиянием условий распространения на линию;
- d) что имеются два компонента неготовности из-за условий распространения – превышение порога ослабления и частота таких превышений;
- e) что в кабельных, радиорелейных системах и системах фиксированной спутниковой связи желательно применять схожие нормы готовности;
- f) что трафик ЦСИС может передаваться на скоростях, которые ниже, равны или выше первичной скорости передачи (1,544 Мбит/с или 2,048 Мбит/с),

рекомендует,

- 1 что готовность ГЭЦ или ГЭЦТ в ФСС необходимо определять по следующей формуле:

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

где:

(1)

$$\text{Неготовность} = \frac{\text{Время неготовности}}{\text{Заданное время работы}} \times 100 \quad \%$$

где заданное время работы определяется как период времени, в течение которого, как того требует пользователь, цепь или цифровой тракт должны быть в состоянии выполнять необходимую функцию, а время неготовности определяется как суммарное время перерывов в цепи или цифровом тракте в течение заданного времени работы;

2 что время неготовности ГЭЦ или ГЭЦТ в ФСС из-за оборудования не должно превышать 0,2% года;

3 что время неготовности из-за условий распространения не должно превышать:

3.1 0,2% любого месяца для одного направления ГЭЦТ в ФСС (см. Примечание 6);

3.2 0,1% любого года (термин "любой год" объясняется в Примечании 11 Рекомендации МСЭ-R S.353) для одного направления ГЭЦ в ФСС;

4 что линию в ФСС между оконечными точками ГЭЦ или ГЭЦТ, определенных в Рекомендациях МСЭ-R S.352 и МСЭ-R S.521, следует считать находящейся в состоянии неготовности, если на любом из приемных концов этой линии в течение 10 последовательных секунд или более существует одно или несколько из условий, указанных ниже, в пунктах 4.1–4.5 раздела *рекомендует* (см. Примечание 5). (Период времени неготовности начинается тогда, когда одно из условий, указанных в пунктах 4.1–4.5 раздела *рекомендует*, сохраняется в течение 10 последовательных секунд. Эти 10 секунд считаются временем неготовности. Период времени неготовности заканчивается, когда то же условие перестает существовать и отсутствует в течение 10 последовательных секунд. Эти 10 секунд считаются временем готовности.):

4.1 в аналоговых системах передачи полезный сигнал на дальнем конце линии принимается с уровнем ниже ожидаемого на 10 дБ или более;

4.2 в аналоговых системах передачи невзвешенная мощность шума в телефонном канале в точке с нулевым относительным уровнем при времени интегрирования 5 мс превышает величину 10^6 пВт0;

4.3 в цифровых системах передачи цифровой сигнал прерывается (то есть теряется выравнивание или синхронизация);

4.4 в цифровых системах передачи, работающих со скоростью ниже первичной (1,544 Мбит/с или 2,048 Мбит/с), коэффициент ошибок по битам (BER), усредненный в течение 1 с, превышает 10^{-3} ;

4.5 в цифровых системах передачи, работающих со скоростью равной или выше первичной (1,544 Мбит/с или 2,048 Мбит/с), каждая секунда считается секундой, пораженной ошибками (SES). SES определяется как секунда, содержащая $\geq 30\%$ блоков с ошибками или, как минимум, один период с серьезными нарушениями (SDP) (см. Рекомендацию МСЭ-T G.826);

5 что следующие примечания необходимо рассматривать как часть настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Неготовность аналогового оборудования мультиплексирования не учитывается. Неготовность цифрового оборудования мультиплексирования земной станции учтена в пункте 2 раздела *рекомендует*.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Настоящая Рекомендация применима только для цифрового трафика (со скоростью ниже, равной или выше первичной скорости), передаваемого в режиме плезеохронной цифровой иерархии (PDH) или синхронной цифровой иерархии (СЦИ) и их соответствующих комбинаций (см. Рекомендацию МСЭ-T G.823).

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Периоды с ухудшенными показателями качества работы продолжительностью менее 10 последовательных секунд, в течение которых существуют условия, указанные в пунктах 4.1–4.5 раздела *рекомендует*, считаются временем готовности и учитываются при применении Рекомендаций по показателям ошибок.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Все нарушения связи из-за затмений Солнца и солнечных помех учитываются как часть времени неготовности в пункте 2 раздела *рекомендует*, когда они происходят в течение заданного времени работы. Влияние солнечных помех в течение заданного времени может быть сведено к минимуму за счет принятия оперативных мер, поскольку эти события можно точно прогнозировать. См. Приложение 1 и Рекомендацию МСЭ-R S.1525.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – При расчетах готовности следует явно учитывать среднее время между отказами, среднее время восстановления работоспособности и меры, принимаемые для предотвращения перерывов и ухудшения характеристик работы спутника, включая использование резервных каналов и дублирующих систем.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Предполагается, что процент времени неготовности для любого месяца соответствует периоду времени любого года, умноженному на коэффициент пересчета 5, то есть 0,2% любого месяца будут соответствовать 0,04% любого года (термин "любой год" объясняется в Примечании 11 Рекомендации МСЭ-R S.353). Этот коэффициент пересчета рассматривается в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R S.614.

Приложение 1

1 Определение готовности

В аспекте сквозного соединения готовность состоит из ряда компонентов, которые рассматриваются в Рекомендации МСЭ-T G.106. В применении к спутниковым ГЭЦ и ГЭЦТ готовность определяется только готовностью оборудования и влиянием условий распространения.

2 Общие положения

На готовность может оказывать влияние целый ряд различных факторов:

- среднее время между перерывами связи;
- общее количество перерывов связи за длительный период (например, за год);
- общее время перерывов связи за худший период (например, за любой месяц);
- средняя продолжительность перерыва связи;
- частота появления перерывов связи (например, их количество, измеренное за час);
- статистическое распределение прерываний связи (например, ослабление, продолжительность, частота появления).

3 Неготовность из-за оборудования

Этот заголовок охватывает ряд различных причин перерывов связи. К ним относятся:

- эффекты, связанные со спутником, в том числе частичный или полный отказ любой из систем на борту, а также нарушения связи из-за затенения;
- эффекты, связанные с земной станцией, в том числе отказ любого оборудования до интерфейса с наземной сетью, нарушения связи вследствие ошибки персонала, при нахождении диска Солнца в диаграмме направленности антенны земной станции и в результате стихийных бедствий.

4 Неготовность из-за условий распространения

Исследования влияния условий распространения на готовность требуют различения коротких перерывов связи длительностью менее 10 последовательных секунд, которые рассматриваются в Рекомендациях по показателям качества, и перерывов длительностью 10 последовательных секунд или более, которые вносят вклад в неготовность. В связи с этим используется термин "коэффициент готовности", который можно определить как:

$$\text{Коэффициент готовности} = \frac{\text{Общее время, в течение которого возникают нарушения связи длительностью} < 10 \text{ с}}{\text{Общее время, в течение которого возникают все нарушения связи}} \times 100\%$$

Значение термина "нарушения связи" зависит от того, какая цепь рассматривается – аналоговая или цифровая, и точное определение для каждого случая приведено в пункте 4 раздела *рекомендует*.

Информация о суммарном влиянии помех и условий распространения содержится в Рекомендации МСЭ-R S.1323.

5 Неготовность из-за нахождения диска Солнца в диаграмме направленности антенны земной станции

Помехи при нахождении диска Солнца в диаграмме направленности антенны земной станции – это прогнозируемое кратковременное природное явление, которое происходит дважды в год. На основе упрощенного алгоритма нахождения диска Солнца в диаграмме направленности антенны, описанного в Приложении 2 Рекомендации МСЭ-R S.1525, операторы земных станций могут рассчитать время и день, когда будут иметь место солнечные помехи. Располагая этой информацией, они могут предпринять упреждающие действия для уменьшения влияния солнечных помех. Эти стратегии описываются в следующих пунктах.

5.1 Линии, передающие трафик коммутируемой сети общего пользования (PSN)

Большая часть трафика PSN, направляемого через спутники ИНТЕЛСАТ, передается земными станциями с антеннами большого диаметра, такими как антенны стандарта А (20–33 м), пересмотренного стандарта А (16–18 м) в диапазоне 6/4 ГГц или стандарта С (~16 м) либо пересмотренного стандарта С (~9 м) в диапазоне 14/10–11 ГГц. Из-за большого размера и небольшой ширины луча (0,2–0,3°) антенн влияние солнечных помех относительно невелико и не принимается в расчет в отношении готовности. Каналы (цепи) PSN рассчитаны на стандарт времени готовности за год 99,96% или выше. Для вышеупомянутых антенн время готовности в условиях только солнечных помех варьируется в пределах 99,997–99,998%. Кроме того, поскольку трафик PSN передается по сети через цифровые коммутаторы, основной трафик может быть временно перемаршрутизирован на несколько минут, пока происходят солнечные помехи, либо спутниковые магистральные каналы могут быть вручную или автоматически заблокированы, чтобы предотвратить занятие каналов с ухудшенными характеристиками. В отличие от замираний вследствие условий распространения, которые могут изменяться в сторону увеличения и уменьшения во время дождя, события, связанные с нахождением диска Солнца в диаграмме направленности антенны земной станции, будут непрерывно ухудшать показатели качества работы линии до тех пор, пока ухудшение не достигнет своего максимума, а затем качество будет улучшаться, пока не будут восстановлены нормальные характеристики работы.

5.2 Линии, передающие трафик в режиме многостанционного доступа с временным разделением каналов и многостанционного доступа с предоставлением каналов по требованию

ИНТЕЛСАТ обеспечивает функционирование двух служб, требующих наличия центральных станций для предоставления необходимого опорного тактового сигнала или выделения пропускной способности каналов пользователям земной станции. С целью сведения к минимуму влияния солнечных помех на готовность сети эти станции используют данные прогнозирования солнечной активности для передачи управления сетью от ведущей станции географически разнесенным зональным ведущим станциям. Это позволяет устранить влияние солнечных помех и обеспечивает непрерывность управления сетью для предоставления услуг управления основным трафиком.

5.3 Линии, передающие арендуемый трафик

Линии, передающие арендуемый трафик, обычно работают с земными станциями, имеющими антенны небольшого диаметра, и поскольку один и тот же сигнал принимают несколько станций, перемаршрутизация трафика не всегда реальна или экономически эффективна. Однако операторы арендуемых сетей, как правило, составляют свои планы с учетом этих периодов нарушения связи из-за солнечных помех, информируя абонентов о том, что будут иметь место кратковременные нарушения связи и что в это время будет передаваться неосновной трафик. Располагая предварительной информацией о солнечных помехах, операторы могут планировать работу, чтобы свести к минимуму влияние помех, и, аналогично плановому техническому обслуживанию и ремонту, абоненты мирятся с такими нарушениями связи, когда они предупреждены заранее.

Из определения неготовности, содержащегося в пункте 1 раздела *рекомендует*, и приведенного выше описания предпринимаемых операторами спутников и абонентами практических шагов, которые могут оказать влияние на заданное время работы, ясно, что солнечные помехи не вносят вклад во время неготовности, подобный вкладу нарушений связи из-за условий распространения и помех.

6 Влияние условий распространения на время неготовности

В данном разделе обобщается имеющаяся на сегодняшний день информация о том, как условия распространения влияют на время неготовности. Большая часть этой информации была изучена 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи, которая проанализировала эти данные с точки зрения времени готовности (события ослабления длительностью менее 10 с считались относящимися к "секундам, пораженным ошибками") и времени неготовности (события ослабления длительностью более 10 с) в соответствии с определением времени неготовности, приведенным в настоящей Рекомендации.

Имеющаяся ограниченная информация представлена в таблицах 1 и 2, а также на рисунке 1 как процент времени худшего месяца. Цифры в таблице 1 получены на основе измерений, выполненных спутниковым маяком, а цифры в таблице 2 – на основе измерений, выполненных радиометром.

ТАБЛИЦА 1

Процент времени худшего месяца, для которого превышались указанные значения ослабления

Для каждого значения ослабления было выполнено разделение на время готовности и время неготовности (см. пункт 4 раздела *рекомендует*)

Превышаемый уровень ослабления (дБ)	Дания (I, II) ⁽¹⁾ Угол места = 26,5°						Дания (III) ⁽¹⁾ Угол места = 12,5°	
	11,8 ГГц			14,5 ГГц			11,4 ГГц	
	Одиночная станция (% месяца)		Одиночная секция (% месяца)		Одиночная станция (% месяца)		Одиночная станция (% месяца)	
	Время готовности	Время неготовности	Время готовности	Время неготовности	Время готовности	Время неготовности	Время готовности	Время неготовности
2	0,0070	0,112	0,0110	0,143	0,0165	0,213	0,0343	0,201
4	0,00053	0,0222			0,0038	0,0462	0,00355	0,0215
6	0,00028	0,0106			0,00070	0,0138	0,00035	0,00305
8	0,00047	0,0056			0,0013	0,0039		0,00131
10	0,000096	0,0033			0,00014	0,00070		
15	0,00017	0,00054						

⁽¹⁾ См. рисунок 1.

Превышаемый уровень ослабления (дБ)	Соединенное Королевство (IV, V) ⁽¹⁾ Угол места = 29,9°				Япония (VI) ⁽¹⁾ Угол места = 6,6°	
	11,8 ГГц		14,5 ГГц		11,5 ГГц	
	Одиночная станция (% месяца)		Одиночная станция (% месяца)		Одиночная станция (% месяца)	
	Время готовности	Время неготовности	Время готовности	Время неготовности	Время готовности	Время неготовности
2	0,015	0,16	0,03	0,03		
3					0,96	5,7
4	0,0022	0,035	0,009	0,10		
6	0,0008	0,014	0,0022	0,033	0,16	1,84
8	0,0005	0,006	0,0009	0,016		
10					0,027	0,52
15					0,008	0,17

⁽¹⁾ См. рисунок 1.

ТАБЛИЦА 2

**Процент времени худшего месяца, для которого указанные значения
ослабления превышались в Канаде**

Превышаемый уровень ослабления (дБ)	Климатическая зона К (VII, IX) ⁽¹⁾ 13 ГГц				Климатическая зона Е (VIII) ⁽¹⁾ 13 ГГц	
	Станция 1 Угол места = 20°		Станция 2 Угол места = 29°		Угол места = 31°	
	Время готовности	Время неготовности	Время готовности	Время неготовности	Время готовности	Время неготовности
2	0,017	1,10	0,0081	0,51	0,014	0,68
3	0,007	0,54	0,0042	0,31	0,0046	0,22
4	0,0039	0,36	0,0028	0,22	0,003	0,11
6	0,0022	0,16	0,0017	0,16	0,0004	0,058
8	0,0011	0,089	0,0017	0,12	0,0005	0,041
10	0,0007	0,056	0,0007	0,099	0,0004	0,031

⁽¹⁾ См. рисунок 1.

На основе таблицы 1 были сделаны следующие общие выводы:

- Для углов места в диапазоне 26–30° и для значений ослабления 2–8 дБ отношение времени существования ослаблений в течение времени готовности к времени существования ослаблений в течение общего времени, как установлено, составляет от 3% до 10%. При бóльших значениях ослабления эта пропорция имеет тенденцию к увеличению, хотя по мере приближения ослабления к своему максимальному значению его продолжительность будет уменьшаться.
- При меньших углах места, 6–12°, отношение времени существования ослаблений в течение времени готовности к времени существования ослаблений в течение общего времени составляет около 14% при величине ослабления 3 дБ, уменьшаясь до примерно 5% при величине ослабления в диапазоне 10–15 дБ. Для еще больших величин ослабления вышеуказанное отношение, вероятно, будет снова повышаться. Ожидается, что сцинтилляции будут вносить больший вклад во время существования ослаблений при меньших углах места, чем при более высоких углах места, для которых проводились измерения.

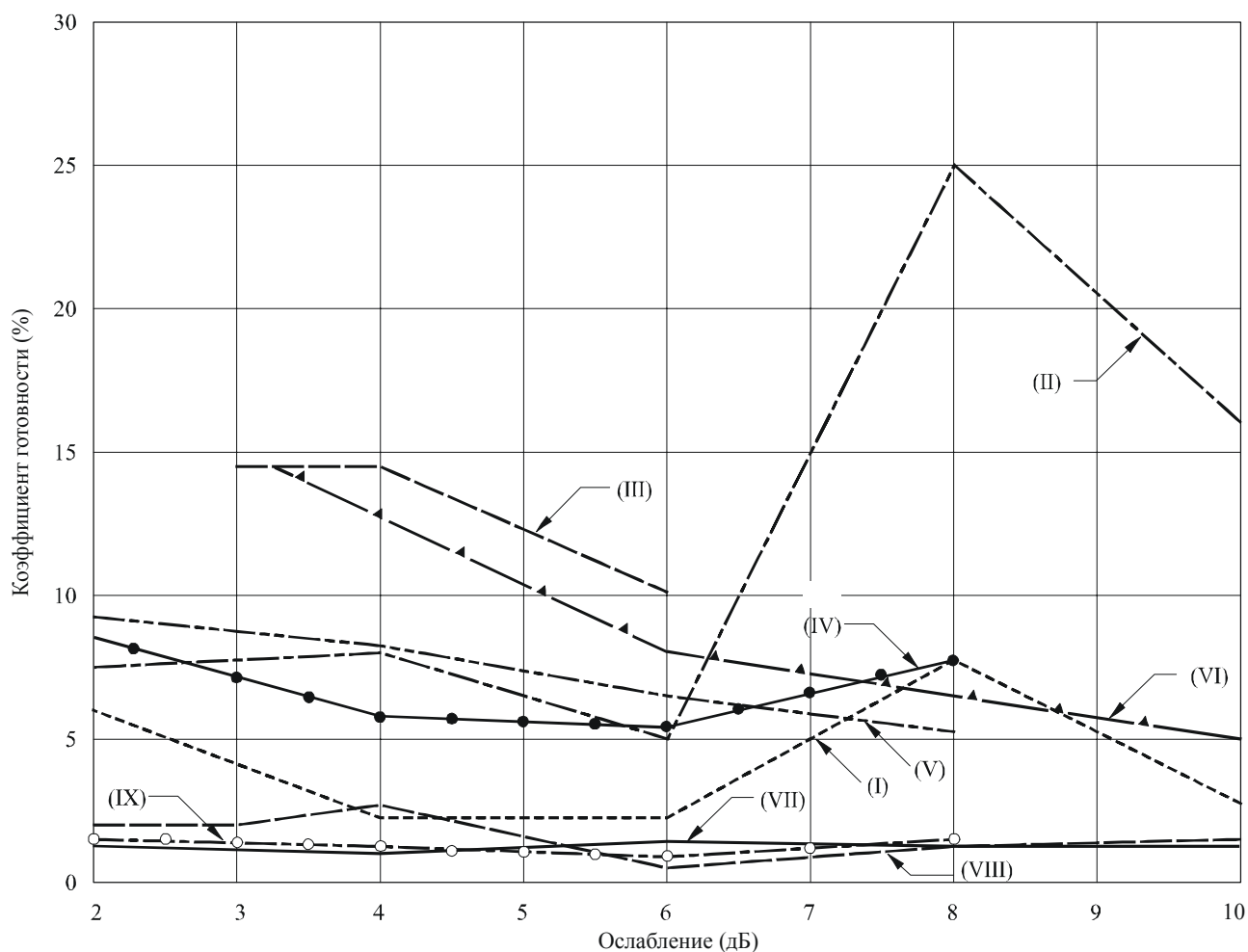
Данные для пространственного разнесения получены только на основе значений ослабления 2 дБ; во время эксперимента в Дании не проводились одновременные измерения на обеих станциях при ослаблении 4 дБ. Следовательно, единственные имеющиеся данные соответствуют значению 2 дБ. Было установлено, что отношение времени существования ослаблений в течение времени готовности к времени существования ослаблений в течение общего времени весьма близко к тому значению, которое было получено для одиночной станции. Однако для регионов мира с более высокими значениями интенсивности дождевых осадков это отношение при использовании разнесения может быть больше, чем для одиночной станции в результате того, что в таких климатических условиях пространственное разнесение оказывает гораздо большее влияние.

Данные, содержащиеся в таблице 2, основаны на измерениях, выполненных на частоте 13 ГГц в Канаде с использованием радиометра. Данные об условиях распространения были собраны в шести точках, где были зарегистрированы замирания величиной 2–10 дБ и была вычислена продолжительность таких замираний, длящихся менее 10 с, а также длящихся 10 с или более. Представлены результаты для двух типичных станций в климатической зоне К и одной станции в климатической зоне Е. Эти результаты показывают, что готовность будет находиться в диапазоне 1–4%. Используя определение коэффициента готовности, приведенное в п. 6, эти результаты были уменьшены до величины менее 1%. Эти данные показывают также, что при проектном запасе системы в диапазоне 3–6 дБ общее время неготовности может составить до 0,54% худшего месяца.

После рассмотрения всей представленной выше информации был сделан вывод о том, что консервативным рабочим значением коэффициента готовности является значение 10%.

РИСУНОК 1

График зависимости коэффициента готовности из-за условий распространения от ослабления



(I) – Дания,	1,8 ГГц,	угол места = 26,5°,	климат. зона D
(II) – Дания,	14,5 ГГц,	угол места = 26,5°,	климат. зона D
(III) – Дания,	11,4 ГГц,	угол места = 12,5°,	климат. зона D
(IV) – Соединенное Королевство,	1,8 ГГц,	угол места = 29,9°,	климат. зона E
(V) – Соединенное Королевство,	14,5 ГГц,	угол места = 29,9°,	климат. зона E
(VI) – Япония,	11,5 ГГц,	угол места = 6,6°,	климат. зона M
(VII) – Канада,	13 ГГц,	угол места = 20°,	климат. зона K
(VIII) – Канада,	13 ГГц,	угол места = 31°,	климат. зона E
(IX) – Канада,	13 ГГц,	угол места = 29°,	климат. зона K

0579-01

Примечание 1. – Определение дождевых климатических зон содержится в Рекомендации МСЭ-R P.837.

7 Длительность замираний и интенсивность нарушений связи

3-я Исследовательская комиссия по радиосвязи недавно разработала модель длительности замираний и частоты возникновения замираний для спутниковых линий, работающих на частоте выше 10 ГГц. Эта модель приведена в Рекомендации МСЭ-R P.1623.

Для спутниковых линий, работающих на частоте ниже 10 ГГц, ослабление в дожде обычно невелико, и преобладающим ухудшением вследствие дождя является деполяризация, которая приводит к усилению помех, создаваемых сигналом с ортогональной поляризацией. Замирания в дожде на линиях, работающих на частоте ниже 10 ГГц, редко превышают несколько дБ и обычно учитываются в энергетическом запасе линии связи.

Для спутниковых линий, работающих на частоте выше 10 ГГц, статистика длительности замираний и частоты возникновения замираний может быть рассчитана с использованием модели, описанной в Рекомендации МСЭ-R P.1623, в зависимости от рабочей частоты, угла места и порога замирания. Если местные данные об общих замираниях для какой-либо линии отсутствуют, общее время замираний может быть рассчитано с использованием Рекомендации МСЭ-R P.618. Эта Рекомендация требует использования дополнительных параметров, включая широту и долготу земной станции и интенсивность дождевых осадков в локальной точке для 0,01% времени.

В следующих примерах предполагались рабочие частоты 11 и 14 ГГц. Углы места спутникового тракта и местоположения земных станций показаны в таблице 3. Климатические параметры, связанные с этими местоположениями, были определены на основе различных файлов, содержащихся в базе данных 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи. Эти параметры требуются для применения метода, описанного в Рекомендации МСЭ-R P.618, который использовался для определения общего времени нарушений связи из-за осадков.

ТАБЛИЦА 3

Предполагаемые местоположения земных станций и углы места тракта

Широта земной станции	Долгота земной станции	Угол места тракта (градусы)	Интенсивность дождевых осадков для 0,01% времени (мм/ч)
25,5° с. ш.	279° в. д.	24	94
40,5° с. ш.	286,5° в. д.	23	42
46,5° с. ш.	6° в. д.	30	33

Длительность замираний

Оценка вероятности длительности замирания для заданного порога глубины замирания может быть выполнена с использованием метода, приведенного в Рекомендации МСЭ-R P.1623.

Например, на частоте 11 ГГц для земной станции с координатами 46,5° с. ш. и 6° в. д. вероятность того, что имеющее место в данный момент времени замирание на 3 дБ будет длиться не менее 1 мин., составляет приблизительно 0,25.

Частота возникновения замираний

Частоту возникновения замираний определенной глубины можно рассчитать, взяв число замираний такой глубины и поделив его на число секунд в году, то есть на 31 536 000 с.

Учитывая, что неготовность имеет место после периодов с ухудшенными показателями качества работы, ниже порога готовности, которые равны или превышают 10 с, длительность замираний в 10 с или менее не принимается в расчет.

Число замираний на 3 дБ, длящихся 10 с или более, показано в таблице 4 для местоположений земных станций при работе на частоте 11 ГГц и 14 ГГц. Частота возникновения замираний указана в виде числа замираний в сутки.

ТАБЛИЦА 4

**Частота возникновения замираний в зависимости от частоты на тракте
и местоположения земных станций**

Местоположение земной станции	46° с. ш., 6° в. д.		25,5° с. ш., 279° в. д.		40,5° с. ш., 286.5° в. д.	
	11	14	11	14	11	14
Частота на тракте (ГГц)	11	14	11	14	11	14
Число замираний на 3 дБ	76	222	980	2 250	222	539
Частота возникновения замираний (число замираний в сутки)	0,208	0,608	2,68	6,16	0,608	1,48

При многих событиях ухудшения качества несколько замираний, превышающих заданный порог, могут происходить через относительно короткие интервалы времени, таким образом вычисленные интервалы замираний являются строго статистическими средними значениями.
