

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1062-3

Допустимые показатели качества по ошибкам для спутникового гипотетического эталонного цифрового тракта, работающего в полосах частот ниже 15 ГГц

(Вопрос МСЭ-R 75/4)

(1994-1995-1999-2005)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что спутники, работающие в фиксированной спутниковой службе (ФСС), играют важную роль в обеспечении надежной международной цифровой связи;
- b) что показатели качества спутниковой линии должны быть достаточными для обеспечения соответствия с общими сквозными нормами качества и нормами качества услуг, установленными конечными пользователями;
- c) что показатели качества спутниковой линии, как правило, не зависят от ее протяженности;
- d) что в Рекомендации МСЭ-R S.614 определены нормы качества, которые соответствуют нормам, указанным в Рекомендации МСЭ-T G.821;
- e) что показатели качества по ошибкам для гипотетических эталонных цифровых трактов (ГЭЦТ) и гипотетических эталонных соединений (ГЭС) указаны в Рекомендации МСЭ-T G.826;
- f) что при определении критериев показателей качества по ошибкам необходимо принимать во внимание все предвидимые механизмы возникновения ошибок, особенно меняющиеся во времени условия распространения и помехи,

отмечая,

- a) что в Рекомендации МСЭ-R S.1429 – Нормы по показателям качества по ошибкам, вызываемым межсетевыми помехами между системами ГСО и НГСО ФСС, для гипотетического эталонного цифрового тракта, работающего со скоростью, равной первичной скорости или превышающей ее, которые причиняются системами, использующими полосы частот ниже 15 ГГц – указывается допустимый уровень показателей качества по ошибкам, вызываемым помехами между различными спутниковыми системами, а также, что в Рекомендации МСЭ-R S.1323 – Максимально допустимые уровни помех в работе спутниковой сети (ГСО/ФСС; НГСО/ФСС; фидерным линиям НГСО/ПСС) в фиксированной спутниковой службе, создаваемых другими сетями ФСС одного направления, работающими в полосах частот ниже 30 ГГц, – указываются методы расчета допусков рабочего запаса как для замираний, так и для помех,

рекомендует,

1 что будущие и, по возможности, существующие спутниковые линии в ФСС следует разрабатывать так, чтобы они по крайней мере удовлетворяли техническим характеристикам для спутникового скачка в международной части тракта, указанным в Рекомендации МСЭ-T G.826. В Примечании 1 дается пример набора проектных масок, полученных на основе параметров, которые приводятся в Рекомендации МСЭ-T G.826;

2 что методика, описанная в Приложении 1, может использоваться для получения необходимых проектных масок вероятности ошибок по битам (ВОБ) (см. Примечание 4), указанных в Примечании 1. Такая же методика может использоваться при скорости 155 Мбит/с для получения маски, указанной в Примечании 2;

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для обеспечения полного соответствия с требованиями Рекомендации МСЭ-T G.826 значение ВОБ, поделенное на среднее число ошибок в пакете (ВОБ/ α , см. п. 3 Дополнения 1) на выходе (т. е. на любом конце двустороннего соединения) спутникового ГЭЦТ, входящего в международную часть соединения или тракта, в течение всего времени (включая наихудший месяц) не должно превышать проектную маску, определяемую с помощью величин, приведенных в таблице 1, а также масок ВОБ, показанных на рисунке 4;

3 что следующие Примечания следует рассматривать как часть настоящей Рекомендации:

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Хотя Примечание 1 обеспечивает полное соответствие с Рекомендацией МСЭ-T G.826, для определенных служб может быть желательно или необходимо иметь более строгую маску.

ТАБЛИЦА 1

Скорость (Мбит/с)	Процент от общего времени (наихудшего месяца)	ВОБ/ α
0,064	0,2	1.0×10^{-4}
	10,0	1.0×10^{-8}
1,5	0,2	7×10^{-7}
	2,0	3×10^{-8}
	10,0	5×10^{-9}
2,0	0,2	7×10^{-6}
	2,0	2×10^{-8}
	10,0	2×10^{-9}
6,0	0,2	8×10^{-7}
	2,0	1×10^{-8}
	10,0	1×10^{-9}
51,0	0,2	4×10^{-7}
	2,0	2×10^{-9}
	10,0	2×10^{-10}
155	0,2	1×10^{-7}
	2,0	1×10^{-9}
	10,0	1×10^{-10}

В этом случае ВОБ на выходе (т. е. на любом конце двустороннего соединения) спутникового ГЭЦТ, работающего на скорости до 155 Мбит/с, включительно, в течение всего времени (наихудшего месяца) не должна превышать проектной маски, определяемой значениями, которые приводятся в таблице 2:

ТАБЛИЦА 2

Процент от общего времени (наихудшего месяца)	ВОБ/ α	Для $\alpha = 10$ (ВОБ)
0,2	1×10^{-7}	1×10^{-6}
2	1×10^{-9}	1×10^{-8}
10	1×10^{-10}	1×10^{-9}

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – ГЭЦТ, о котором идет речь в настоящей Рекомендации, определен в Рекомендации МСЭ-R S.521.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Значения ВОБ, приведенные в Примечаниях 1 и 2, можно оценить при помощи измерений КОБ в течение достаточно длительного периода времени. Метод измерения КОБ как функции от процента времени описан в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R S.614.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Для облегчения применения настоящей Рекомендации нормативные значения, приведенные в Примечаниях 1 и 2, показаны в единицах общего времени и представляют собой пределы показателей качества модели ВОБ, в которой используется метод, изложенный в Приложении 1. При принятии норм, установленных в Примечаниях 1 и 2, ошибки, возникающие во время недоступности, были исключены из расчетов норм. Разъяснение взаимосвязи между временем доступности и общим временем приводится в Примечании 7. Нормы для ВОБ, приведенные в Примечании 1, не единственные нормы, удовлетворяющие требованиям Рекомендации МСЭ-T G.826. При необходимости проектировщик может использовать другие маски ВОБ, при условии что они удовлетворяют требованиям Рекомендации МСЭ-T G.826.

ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Настоящая Рекомендация найдет свое применение в основном в спутниковых системах, работающих в полосах частот ниже 15 ГГц. Распространение требований к показателям качества, приведенных в настоящей Рекомендации, на системы, работающие на более высоких частотах, является предметом дальнейшего изучения.

ПРИМЕЧАНИЕ 7. – Период времени недоступности начинается в начале десяти последовательных секунд, пораженных ошибками (SES). Эти 10 секунд считаются частью времени недоступности. Новый период времени недоступности начинается в начале десяти последовательных секунд, не пораженных ошибками. Эти 10 секунд считаются частью времени доступности. Значения порога недоступности для ВОБ можно определить таким образом, при котором состояние недоступности достигается с вероятностью = 0,5, как это показано на рисунке 3.

ПРИМЕЧАНИЕ 8. – Приведенные в Примечаниях 1 и 2 нормы указаны в процентах времени наихудшего месяца. Эти проценты времени месяца соответствуют следующим процентам времени года:

- 10% наихудшего месяца 4,0% года;
- 2% наихудшего месяца 0,6% года;
- 0,2% наихудшего месяца 0,04% года.

ПРИМЕЧАНИЕ 9. – Чтобы обеспечить соответствие с требованиями, содержащимися в Примечаниях 1 и 2, в полосах частот выше 10 ГГц может быть предпочтительно применять меры, направленные против замираний, в том числе адаптивное кодирование с прямым исправлением ошибок (ПИО), регулирование мощности или пространственное разнесение. Информация о работе в режиме пространственного разнесения приводится в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R S.522.

ПРИМЕЧАНИЕ 10. – Предпочтительным методом проверки качества цифровых спутниковых систем является метод, основанный на измерениях в процессе эксплуатации. В этих измерениях можно использовать схемы обнаружения ошибок в блоке, которые связаны с размером самого блока и структурой системы передачи. ПИО, скремблирование и дифференциальное кодирование воздействуют на толкование результатов измерений (см. Приложение 1, п. 3).

ПРИМЕЧАНИЕ 11. – Показатели качества по ошибкам, описанные в Примечаниях 1 и 2, были разработаны на основе использования ГЭЦТ на международном участке линии связи (например, на участке от одной коммутируемой оконечной международной станции до другой). Возможны и другие варианты использования ГЭЦТ в пределах линии связи (например, от одной оконечной станции до другой), и нормы показателей качества по ошибкам будут соответствующим образом изменены.

ПРИМЕЧАНИЕ 12. – Описанные в настоящей Рекомендации методы могут использоваться при разработке спутниковых линий в частных сетях. Нормы по показателям качества, как правило, согласовываются между оператором сети и пользователем сети в рамках соглашения об уровне обслуживания (СУО), о чем говорится в Рекомендации МСЭ-T E.800.

ПРИМЕЧАНИЕ 13. – Нормы по показателям качества должны удовлетворяться для требуемой скорости передачи, а не для более высоких скоростей, обеспечивающих поддержку мультимплексирования или исправления ошибок. Например, если скорость передачи по спутниковой линии составляет 6 Мбит/с, а указанная в СУО скорость передачи составляет 2 Мбит/с, то должны применяться нормы для скорости передачи 2 Мбит/с.

Приложение 1

1 Общие вопросы, история вопроса, определения, параметры и нормы, относящиеся к Рекомендации МСЭ-T G.826

Содержащиеся в Рекомендации МСЭ-T G.826 требования приводятся в показателях блоков с ошибками, а не отдельных ошибок по битам.

Целью этой спецификации является обеспечение возможности проверки соблюдения требований по показателям качества, изложенным в Рекомендации МСЭ-T G.826, в процессе эксплуатации. Спецификации для показателей качества по блокам с ошибками, а не по ошибкам по битам, имеет важные последствия для систем, где ошибки имеют тенденцию к группированию, например для систем, использующих скремблирование и ПИО. Понятие блока, используемое в Рекомендации МСЭ-T G.826, определено как группа последовательных битов, которые, как правило, образуют внутренний контролируемый блок или кадр используемой системы передачи.

В Рекомендации МСЭ-T G.826 – Сквозные показатели качества по ошибкам и нормы для международных цифровых трактов и соединений, работающих на постоянной скорости передачи, подробно рассматриваются два типа транспортных систем, и, при необходимости, она может быть распространена и на другие типы. К указанным двум типам систем относятся:

- плезиохронная цифровая иерархия (ПЦИ) от 64 кбит/с до первичной скорости; и
- синхронная цифровая иерархия (СЦИ) от первичной скорости до 3500 Мбит/с.

В 2002 году для содействия разработкам на этих скоростях была добавлена скорость ниже первичной. Вместе с тем, для поддержания стабильности очень крупных установленных систем ПЦИ было решено не изменять эту действующую долгое время Рекомендацию МСЭ-T G.821, которая применяется к этим системам.

В терминологии СЦИ сквозная схема называется ТРАКТ.

В терминологии ПЦИ сквозная схема называется СОЕДИНЕНИЕ.

Показатели качества транспортной системы указываются в параметрах секунд с ошибками (ES) и секунд, пораженных ошибками (SES), как для ПЦИ, так и для СЦИ, при этом СЦИ имеет дополнительный параметр, называемый ошибки в блоках, с тем чтобы обеспечить большее разрешение для более высоких скоростей передачи. Такие блоки сохраняются в течение срока, который намного меньше секунды.

Блок СЦИ, размер которого зависит от скорости передачи, представляет собой набор последовательных битов, которые могут не быть смежными, если блок, например, соединяет границы контейнера.

1.1 Определения из Рекомендации МСЭ-T G.826

1.1.1 Показатели качества по ошибкам для трактов

- *Ошибочный блок (EB)*

Блок, в котором один или несколько битов содержат ошибки.

- *Секунда с ошибками (ES)*

Односекундный период с одним или несколькими EB.

- *Секунда, пораженная ошибками (SES)*

Односекундный период, который содержит $\geq 30\%$ EB или по крайней мере один дефект (определение дефектов см. в Рекомендации МСЭ-T G.826).

Следует отметить, что SES – это часть ES.

- *Фоновая блочная ошибка (BBE)*

EB не является частью SES.

1.1.2 Показатели качества по ошибкам для соединений

– *Секунда с ошибками (ES)*

Односекундный период с одним или несколькими ошибочными битами или в ходе которого обнаружены потери сигнала или аварийный сигнал.

– *Секунда, пораженная ошибками (SES)*

Односекундный период с коэффициентом ошибок по битам ≥ 1 в степени 10^{-3} .

1.2 Параметры

Показатели качества по ошибкам должны оцениваться, когда тракт или соединения находятся в состоянии доступности. Для определения критериев входа/выхода для состояния недоступности см. Примечание 7 и Приложение А Рекомендации МСЭ-Т G.826.

– *Коэффициент секунд с ошибками (ESR)*

Отношение ES к общему числу секунд во время доступности в течение фиксированного измеряемого интервала.

– *Коэффициент секунд, пораженных ошибками (SESR)*

Отношение SES к общему числу секунд во время доступности в течение фиксированного измеряемого интервала.

– *Коэффициент фоновых блочных ошибок (BBER)*

Отношение EB к общему числу блоков в течение фиксированного измеряемого интервала, за исключением всех блоков во время SES и во время недоступности.

1.3 Измерение блоков

В таблице 3 показаны размер блоков и число блоков/с для различных скоростей передачи.

ТАБЛИЦА 3

Соотношение между скоростью, размером блоков и числом блоков/с

Скорость (Мбит/с)	Размер блоков (биты)	Число блоков/с
1,544	4 632	333
2,048	2 048	1 000
6,312	3 156	2 000
44,736	4 760	9 398
51,84	6 480	8 000
155,52	19 440	8 000

1.4 Нормы по показателям качества

Сквозные нормы, определенные в Рекомендации МСЭ-Т G.826, приводятся в таблице 4. Нормы по показателям качества даны в зависимости от скорости передачи в битах в системе. Указаны также диапазоны размеров блоков, используемых на этих скоростях передачи. Как отмечено выше, размер блоков будет связан со структурой кадра системы передачи. Эти нормы указаны для времени доступности.

ТАБЛИЦА 4

**Нормы по сквозным показателям качества для международного цифрового ГЭЦТ или ГЭС
длиной 27 500 км из Рекомендации МСЭ-T G.826**

Скорость (Мбит/с)	64 кбит/с до первичной скорости ⁽¹⁾	1,5 до 5	>5 до 15	>15 до 55	>55 до 160	>160 до 3 500
Бит/блок	н. п.	800–5 000	2 000–8 000	4 000–20 000	6 000–20 000	15 000–30 000 ⁽²⁾
ESR	0,04	0,04	0,05	0,075	0,16	⁽³⁾
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
BBER	н. п.	$2 \times 10^{-4(4)}$	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}

- ⁽¹⁾ Не требуется применять эти нормы к оборудованию, разработанному до 2003 года. Нормы по показателям качества для такого оборудования приводятся в Рекомендации МСЭ-T G.821.
- ⁽²⁾ Как определено в настоящее время, VC-4-4с (Рекомендации МСЭ-T G.707) представляет собой тракт со скоростью 601 Мбит/с с размером блоков 75 168 битов в блоке. Поскольку такой размер блоков превышает рекомендуемый диапазон скоростей трактов в 160–3500 Мбит/с, показатели качества для таких VC-4-4с трактов в данную таблицу не включаются. Норма BBER для VC-4-4с при использовании размера блока 75 168 битов составляет 4×10^{-4} .
- ⁽³⁾ Нормы ESR, как правило, теряют свое значение при высоких скоростях передачи в битах и поэтому не указываются для трактов, действующих со скоростью более 160 Мбит/с. Тем не менее, контроль ES следует ввести для целей обслуживания.
- ⁽⁴⁾ Для систем, разработанных до 1996 года, норма BBER составляет 3×10^{-4} .

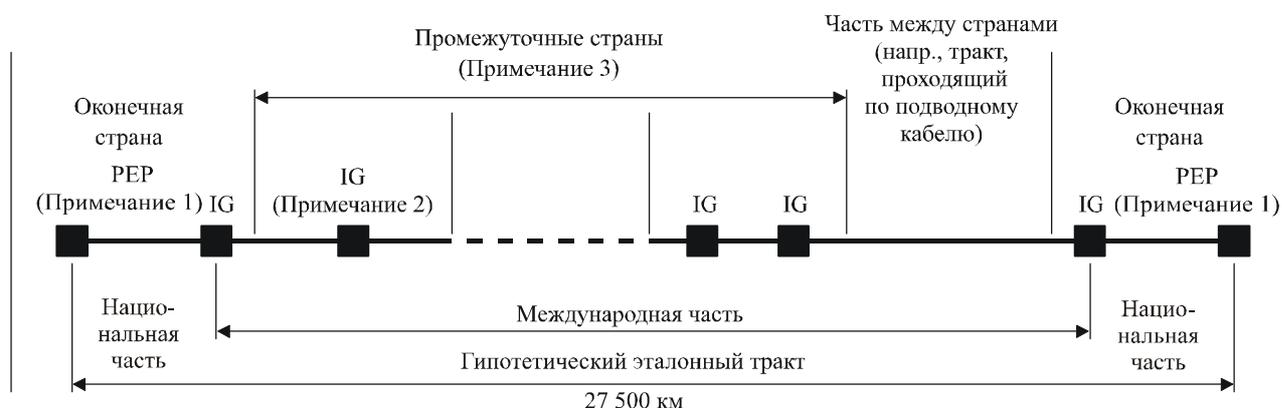
Цифровые тракты и соединения, действующие при скоростях передачи, охватываемых настоящей Рекомендацией, могут передаваться системами передачи, действующими на более высоких скоростях. Такие системы должны быть разработаны и введены в отношении норм, которые будут поддерживать сквозные нормы их подчиненных систем, как действующих, так и планируемых. Если исходить из случайного распределения ошибок, выполнение указанных в таблице 1/G.826 норм обеспечит, чтобы все подчиненные системы также соответствовали своим нормам.

1.5 Распределение сквозных норм на части тракта

Сквозные нормы по показателям качества распределяются между международной и национальной частями ГЭЦТ с применением принципов распределения, которые подробно излагаются в п. 6.2 Рекомендации МСЭ-T G.828 (см. рисунок 1).

РИСУНОК 1

ГЭЦТ



IG: Оконечная международная станция

PEP: Оконечные пункты тракта

Примечание 1. – Если тракт заканчивается в IG, используется только международная часть распределения.

Примечание 2. – В промежуточной стране может быть один или два IG.

Примечание 3. – Предполагается, что для наземной части имеются четыре "промежуточные страны", и в настоящей Рекомендации предполагается один спутниковый скачок.

1062-01

1.6 Распределения для спутников

В транспортных системах связи, действующих на любой скорости, которая охватывается Рекомендацией МСЭ-T G.826, либо на скоростях выше или ниже первичной скорости, независимо от фактически перекрываемого расстояния, на спутниковый скачок в международной части отводится 35% распределений всех сквозных норм.

Если спутниковая линия обеспечивает национальную часть, то на нее отводится 42% распределений всех сквозных норм.

Это не соответствует распределениям в Рекомендации МСЭ-T G.821, когда распределения различны для ES и SES. Спутникам отводится только 20% распределений для ES в международной части, но сквозной допуск для ES на 0,04 единицы выше, так что показатели качества, требуемые для спутниковой линии, весьма близки по значению. Для SES спутниковое распределение составляет только 15% от $0,002 = 0,0003$.

В таблицах 5 и 6 приводятся нормы по показателям качества для спутников, обеспечивающих части тракта ГЭЦТ или ГЭС длиной 27 500 км.

ТАБЛИЦА 5

Нормы по показателям качества для спутников для международной части тракта

Скорость (Мбит/с)	0,064 до 1,5	1,5 до 5	>5 до 15	>15 до 55	>55 до 160	>160 до 3 500
ESR	0,014	0,014	0,0175	0,0262	0,056	н. п.
SESR	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
BBER	н. п.	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$

ТАБЛИЦА 6

Нормы по показателям качества для спутников для национальной части тракта

Скорость (Мбит/с)	0,064 до 1,5	1,5 до 5	>5 до 15	>15 до 55	>55 до 160	>160 до 3 500
ESR	0,0168	0,0168	0,021	0,0315	0,0672	н. п.
SESR	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084
BBER	н. п.	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,42 \times 10^{-4}$

Если спутник обеспечивает полный сквозной тракт или соединение, то применяются норы, указанные в таблице 4.

2 Расчет маски вероятности ошибок в бите (ВОБ)

Набор параметров и норм, определенный в Рекомендации МСЭ-T G.826, не подходит для разработки спутниковой системы. Он должен быть преобразован в зависимость ВОБ от распределения процентов времени, называемую также маской ВОБ, таким образом, чтобы любая спутниковая система, разработанная с учетом соответствия этой маске, отвечала также целям данной Рекомендации. Однако это преобразование не приводит к получению уникальной маски.

2.1 Вероятность основных событий

Хорошо известно, что ошибки передачи по спутниковым линиям происходят в пакетах, когда среднее количество ошибок на пакет зависит, среди других факторов, от кода скремблера и ПИО. Следовательно, для успешного моделирования цифрового качества передачи по спутниковым линиям необходимо учитывать такой пакетный характер ошибок. Одной из статистических моделей, которая позволяет адекватным образом представить случайное возникновение пакетов, является непрерывное распределение Неймана типа А, когда вероятность появления k ошибок в N битах, $P(k)$, равна:

$$P(k) = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\frac{ВОБ \cdot N}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{j^k}{j!} \left(\frac{ВОБ \cdot N}{\alpha} \right)^j e^{-j\alpha},$$

где:

α : среднее количество битов с ошибками в пакете ошибок,

ВОБ: вероятность ошибок в бите.

Если $N = N_B$ принимается равным количеству битов в блоке данных, то вероятность ноля ошибок в блоке равна:

$$P(0) = e^{-\frac{ВОБ \cdot N_B}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \left[\left(\frac{ВОБ \cdot N_B}{\alpha} \right)^j / j! \right] e^{-j\alpha} \cong e^{-\frac{ВОБ \cdot N_B}{\alpha}} \text{ для всех практических значений } \alpha.$$

Вероятность появления блока с ошибками (ЕВ), P_{EB} , вычисляется следующим образом:

$$P_{EB} = 1 - P(0) = 1 - e^{-\frac{ВОВ \cdot N_B}{\alpha}} = 1 - e^{-N_B \cdot ВОБ_{цши}},$$

где $ВОБ_{цши} = ВОБ/\alpha$. Вероятность ЕС, P_{ES} , можно выразить как:

$$P_{ES} = 1 - e^{-n \cdot P_{EB}},$$

где n – число блоков.

Отсюда вероятность появления k блоков с ошибками в общем числе n блоков, $P_{n,k}$, вычисляется как:

$$P_{n,k} = \frac{n!}{(n-k)!k!} (1 - P_{EB})^{n-k} P_{EB}^k,$$

тогда вероятность SES, P_{SES} , равна:

$$P_{SES} = \sum_{k=0,3n}^n P_{n,k} = 1 - \sum_{k=0}^{0,3n-1} P_{n,k} = 1 - \sum_{k=0}^{0,3n-1} \frac{n!}{(n-k)!k!} (1 - P_{EB})^{n-k} P_{EB}^k.$$

2.2 Расчет параметров по Рекомендации МСЭ-T G.826 для определенной маски совокупного распределения ВОБ

На основе исходного определения параметров в Рекомендации МСЭ-T G.826 можно представить ESR, SESR и BBER следующим образом:

$$ESR = \frac{N_{ES}}{N},$$

$$SESR = \frac{N_{SES}}{N},$$

$$BBER = \frac{N_{EB}}{N_B},$$

где:

N_{ES} : количество секунд с ошибками во времени доступности;

N_{SES} : количество секунд, пораженных ошибками, во времени доступности;

N_{EB} : количество блоков с ошибками во времени доступности, за исключением секунд, пораженных ошибками;

N_B : количество блоков во времени доступности, за исключением секунд, пораженных ошибками;

N : общее количество секунд во времени доступности.

К приведенным выше формулам можно применить обычную частоту аппроксимации вероятности, с тем чтобы получить:

$$ESR \cong P_{ES},$$

$$SESR \cong P_{SES},$$

$$BBER \cong P_{EB}.$$

Приведенные выше вероятности можно толковать как средние вероятности в соответствующих наблюдаемых интервалах. На практике такое среднее значение должно быть обеспечено во времени. Таким образом, если предположить, что каждую секунду наблюдается случайная ВОБ, можно определить временную вероятность для основных событий и затем рассчитать их значения с применением следующих формул:

$$ESR = \frac{\int_{T_a} P_{ES}(t) dt}{T_a}$$

$$SESR = \frac{\int_{T_a} P_{SEES}(t) dt}{T_a} .$$

Для учета случая исключения SES BBER вычисляется как:

$$BBER = \frac{\int_{T_a} P_{EB}(t) \frac{1 - P_{SEES}(t)}{1 - SESR} dt}{T_a},$$

где T_a – время доступности.

Средние значения времени можно рассчитать с применением эквивалентных формул при пересчете на интегральные функции распределения для $ВОБ/\alpha$, определяемые как $F(x)$. Ниже представлен метод расчета SES:

$$\frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{ES}(t) dt = \int_0^{ВОБ_{nop}/\alpha} P_{ES}(x) dF(x),$$

где $ВОБ_{nop}/\alpha$ – пороговое значение, выше которого система считается недоступной. Аналогичные уравнения применяются и к другим параметрам.

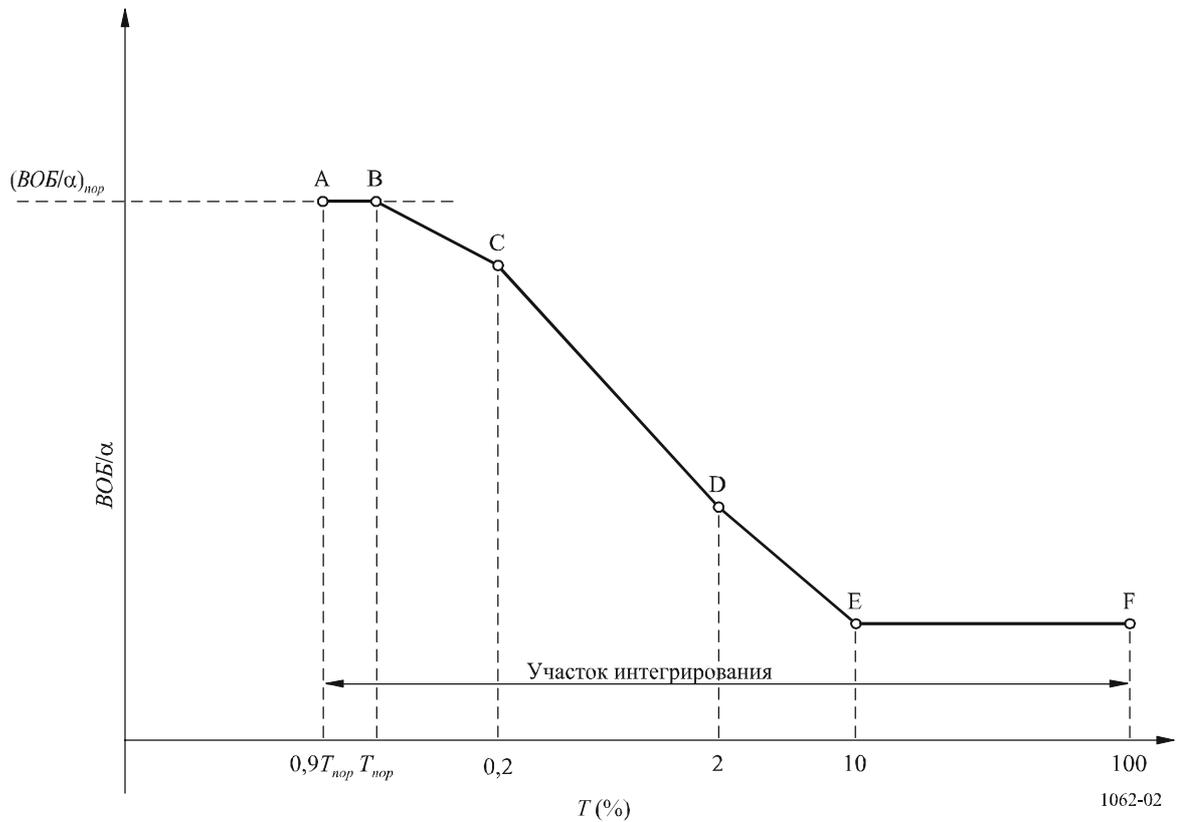
Для цифровых расчетов может применяться следующее дискретное приближение:

$$\frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{ES}(t) dt \cong \sum_i P_{ES}(x_i) [F(x_{i+1}) - F(x_i)],$$

где суммирование производится для значений x_i $ВОБ/\alpha$ ниже $ВОБ_{nop}/\alpha$.

Можно найти неограниченное число интегральных распределений $F(x)$ для $ВОБ/\alpha$, с тем чтобы обеспечить соблюдение норм по показателям качества по Рекомендации МСЭ-T G.826. Следовательно, считается, что маска для $F(x)$ имеет форму, которая представлена на рисунке 2. Следует отметить, что $F(x)$ может быть выражен как процент времени, в течение которого $ВОБ/\alpha$ не превышает x , и, таким образом, $F(x)$ следует понимать как дополнительный элемент величины горизонтальной оси, как это представлено на рисунке 2.

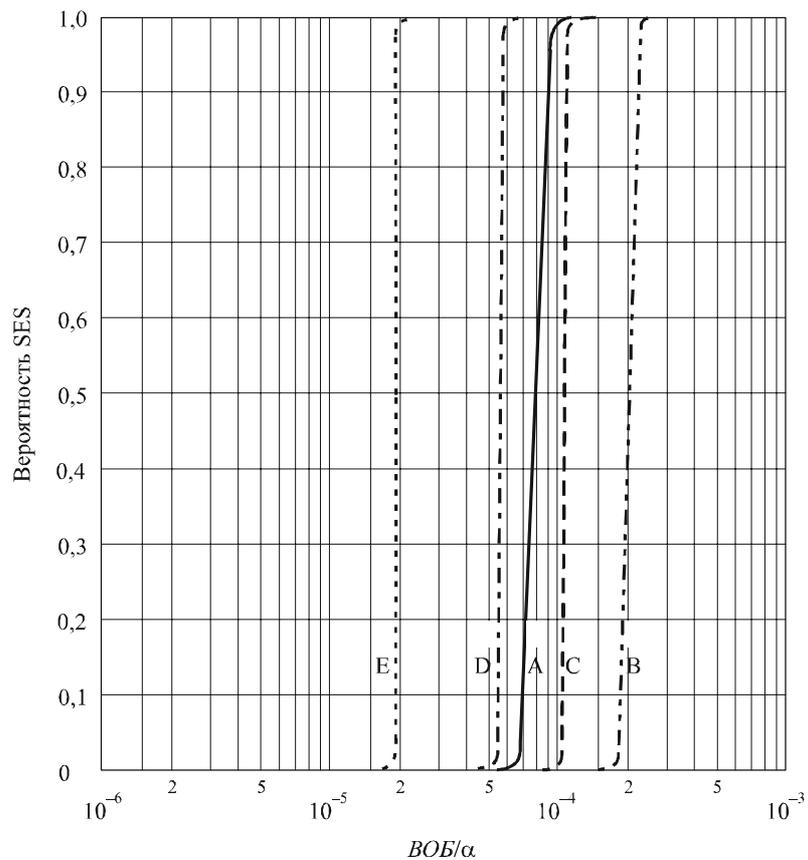
РИСУНОК 2
Общая форма маски



Порог недоступности, $T_{пор}$, определяется величиной $P_{SES} = 0,933$. Это значение соответствует вероятности появления десяти последовательных SES, равной 0,5.

Соответствующие значения $ВОб_{пор}/\alpha$ при различных скоростях цифрового потока показаны на рисунке 3 и также перечислены в таблице 7.

РИСУНОК 3

 P_{SES} в зависимости от VOB/α 

A: 1,5 Мбит/с
 B: 2 Мбит/с
 C: 6 Мбит/с
 D: 51 Мбит/с
 E: 155 Мбит/с

1062-03
 (180153)

ТАБЛИЦА 7

Скорость (Мбит/с)	$VOB_{пор}/\alpha$
0,064	3×10^{-3}
1,544	$9,00 \times 10^{-5}$
2,048	$1,90 \times 10^{-4}$
6,432	$1,17 \times 10^{-4}$
51,84	$5,68 \times 10^{-5}$
155,52	$1,89 \times 10^{-5}$

Однако при выборе величины $VOB_{нор}/\alpha$ для создания масок следует уделять внимание тому факту, что при определенном пороговом значении ВОБ модемы испытывают потерю синхронизации, и этот порог обозначается здесь как $VOB_{мод}$. На основе рассмотренного выше величина $VOB_{нор}/\alpha$, которую следует использовать, вычисляется по формуле:

$$VOB_{нор}/\alpha = \min (VOB_{нор}/\alpha \text{ из таблицы 7; } VOB_{мод}/\alpha).$$

Для большинства работающих в настоящее время модемов $VOB_{мод}$ хорошо аппроксимируется значением 1×10^{-3} .

Описанный выше метод приведет к получению бесконечного множества масок, соответствующих нормам по показателям качества, приведенным в Рекомендации МСЭ-T G.826. Следовательно, для уточнения маски и определения точек С, D, E и F маски используется следующая процедура (см. рисунок 2).

Этап 1 – Установить значения маски для 100%, 10%, 2% и 0,2% времени (точки С, D, E и F).

Этап 2 – Определить значение $VOB_{нор}/\alpha$.

Этап 3 – Выбрать значение времени порога недоступности $T_{нор}$ ($T_{нор} < 0,2\%$).

Этап 4 – Предположить, что между точками В и А график имеет вид прямой линии.

Этап 5 – Рассчитать ESR, SESR и VBER путем интегрирования по участку между $0,9 T_{нор}$ и 100% (см. Примечание 1).

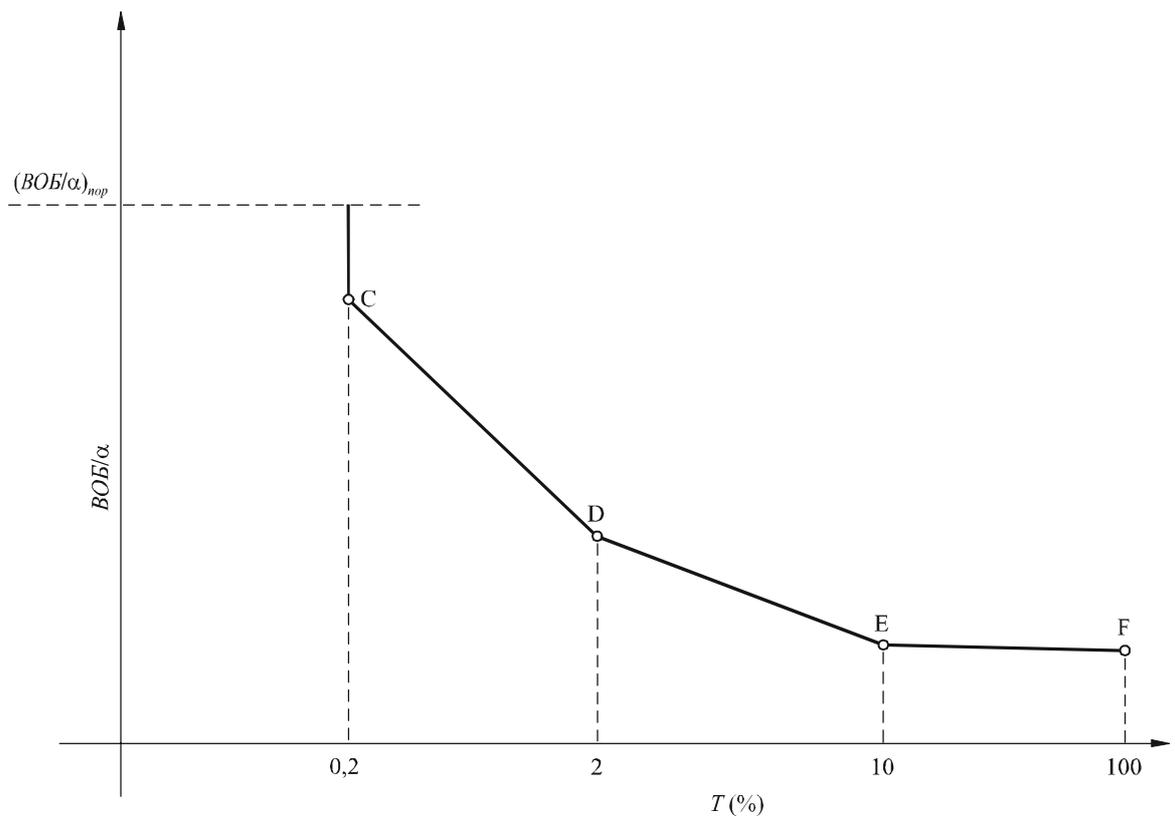
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – На основе результатов, указанных в Рекомендации МСЭ-R S.579, которые показывают случаи ослабления при распространении, не приводящие к появлению времени недоступности, для получения этих масок использовался "коэффициент доступности по условиям распространения", равный 10%. Следовательно, для учета случаев, когда ВОБ хуже, чем $VOB_{нор}$, но восстанавливается менее чем за 10 секунд, во время доступности было включено значение 10% от $T_{нор}$.

Этап 6 – Выбрать новое значение $T_{нор}$ и повторять Этапы 4 и 5 до тех пор, пока не будут найдены максимальные значения ESR, SESR и VBER для любого времени $T_{нор} < 0,2\%$.

Если приведенные в таблицах 5 или 6 нормы для ESR, SESR и VBER выполняются для всех $T_{нор} < 0,2\%$, то считается, что маска, определенная точками С, D, E и F, удовлетворяет требованиям данной Рекомендации. Более того, изложенная выше процедура гарантирует, что недоступность линии сводится до менее 0,2% всего времени.

Вследствие процедуры итерации на Этапах 4, 5 и 6 любая прямая линия между точками В и С, когда В может располагаться в любом месте между 0% и 0,2% времени, соответствует определенным в этой Рекомендации нормам и нормам на недоступность, приведенным в Рекомендации МСЭ-R S.579. Следовательно, общая форма маски может быть в дальнейшем упрощена за счет распространения маски по вертикали от точки С, как это указано на рисунке 4.

РИСУНОК 4
Упрощенная маска



1062-04
(180153)

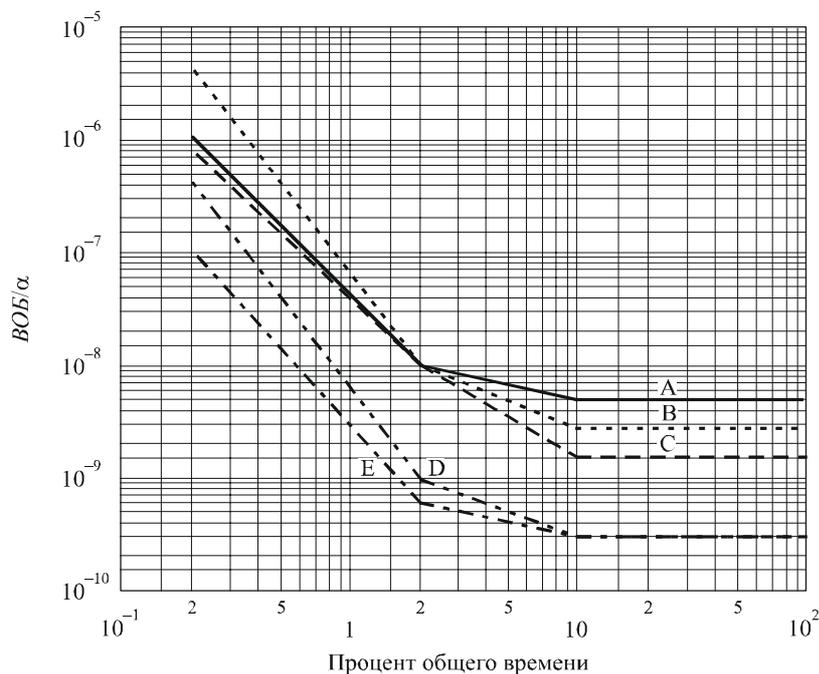
С использованием изложенной выше процедуры с дополнительными предположениями, что:

- BOB/α , соответствующие точкам E и F, одинаковы,
- BOB/α , соответствующие точкам E и D, отличаются на десяток,

был разработан примерный набор масок для различных скоростей передачи, который приводится на рисунке 5.

РИСУНОК 5

Маски, созданные для спутниковых скачков



- A: 1,5 Мбит/с
- B: 2 Мбит/с
- C: 6 Мбит/с
- D: 51 Мбит/с
- E: 155 Мбит/с

1062-05
(180153)

При расчете этих масок делалось предположение, что $ВОб_{\text{мод}} = 1 \times 10^{-3}$. Кроме того, в маске для 1,5 Мбит/с соотношение между величинами $ВОб/\alpha$, соответствующими точкам E и D, было изменено с 10 до 3, с тем чтобы получить гладкий график маски.

3 Взаимосвязь между КОБ и коэффициентом ошибочных событий

Хорошо известно, что ошибки в спутниковых линиях, использующих схемы ПИО и скремблирования, имеют тенденцию к группированию. Появление групп, которые можно также назвать ошибочными событиями, является случайным, и они распределены по закону Пуассона. Получаемый в результате коэффициент ошибок в блоках будет таким же, как если бы эти ошибки возникали случайно (распределялись по закону Пуассона) с коэффициентом ошибок по битам $КОБ/\alpha$, где α (использованное в п. 2.1 для расчета степени пакетирования ошибок) – это среднее число битов с ошибками в пределах одной группы, а также представляет собой соотношение между КОБ и коэффициентом ошибочных событий.

Статистические свойства групп ошибок зависят от используемой схемы ПИО/скремблера. Для определения коэффициента α использовались компьютерное моделирование и измерения для различных схем ПИО (без скремблера или дифференциального кодирования). Полученные результаты приводятся в таблице 8.

ТАБЛИЦА 8

Коэффициент для различных схем ПИО

Скорость (Мбит/с)	Без ПИО	С ПИО		
		1/2	3/4	7/8
1,544	1,0	2,7	5,1	6,6
2,048	1,0	3,4	6,8	8,2
6,312	1,0	2,6	5,1	7,0
51,84	1,0	2,8	5,4	7,2
155,52	1,0	2,8	4,9	7,2

В ходе лабораторных измерений цифровой передачи типа ИНТЕЛСАТ IDR (ПИО $R = 3/4$ плюс скремблер) получено значение $\alpha = 10$ в диапазоне КОБ 1×10^{-4} до 1×10^{-11} . В ходе аналогичных измерений цифровой передачи типа ИНТЕЛСАТ IBS было получено значение $\alpha = 5$ (ПИО $R = 1/2$ плюс скремблер).

Из таблицы 8 и результатов измерений следует, что значение α может быть в диапазоне от 1 до 10 для исследованных случаев. Необходимы дальнейшие исследования других типов схем ПИО/скремблеров. Воздействие параметра α на качественную модель можно оценить следующим образом.

Маски, представленные на рисунках 2 и 3, были получены с использованием значения $\alpha = 10$. Если бы, например, ПИО/скремблеры не использовались ($\alpha = 1$), то модели были бы сдвинуты на десяток и требования в отношении КОБ были бы более строгими (на десяток).

4 Выводы

Результаты исследований показали, что маски, необходимые для соблюдения норм, установленных в данной Рекомендации, и полученные на основе Рекомендации МСЭ-T G.826, зависят от скорости передачи. Проектные маски зависят также от распределения ошибок, на которые, в свою очередь, воздействует применяемая схема ПИО/скремблирования.

При создании проектных масок допуска на ошибки необходимо также учитывать требования, предъявляемые службой.