

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R S.1062-4

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

(Вопрос МСЭ-R 75-3/4)

(1994-1995-1999-2005-2007)

Сфера применения

Фиксированная спутниковая служба (ФСС) играет важную роль в обеспечении надежной международной цифровой связи. Вследствие интегрирования с наземными средствами связи спутниковая сеть должна быть разработана таким образом, чтобы соответствовать требованиям, которые совместимы с требованиями наземных систем. В Рекомендации МСЭ-T G.826 указываются нормы качества для спутникового скачка в международной части гипотетического эталонного цифрового тракта (HRDP). В настоящей Рекомендации приводятся составленные в связи с этими нормами руководящие указания по проектным маскам для вероятности ошибок по битам (ВОБ) или коэффициента ошибок по битам (КОБ), которые могут полностью соответствовать требованиям, содержащимся в Рекомендации МСЭ-T G.826.

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 спутниковой линии, которые соответствуют нормам, указанным в Рекомендации МСЭ-T G.821;
- e) что показатели качества по ошибкам для гипотетических эталонных цифровых трактов (HRDP) и гипотетических эталонных соединений (HRX) 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 частоты 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 чтобы будущие и, по возможности, существующие спутниковые линии в ФСС разрабатывались так, чтобы они по крайней мере удовлетворяли техническим характеристикам для спутникового скачка в международной части тракта, указанным в Рекомендации МСЭ-Т G.826. В Примечании 1 дается пример набора проектных масок, полученных на основе параметров, которые приводятся в Рекомендации МСЭ-Т G.826;

2 чтобы методика, описанная в Приложении 1, использовалась 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-Т 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 HRDP, входящего в международную часть соединения или тракта, в течение всего времени (включая наихудший месяц) не должно превышать проектные маски, определяемые 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-Т 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 HRDP, 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. – HRDP, 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 было бы 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 доступности 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 требованиям, содержащимся 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 (FEC), 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 использовались бы схемы обнаружения ошибок в блоке, которые связаны с размером самого блока и структурой системы передачи. FEC, 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 HRDP на международном участке линии связи (например, на участке от одной коммутируемой оконечной международной станции до другой). Возможны и другие варианты использования HRDP в пределах линии связи (например, от одной оконечной станции до другой), и нормы показателей качества по ошибкам можно соответствующим образом изменить.

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 выполняться для требуемой скорости передачи, и не обязательно 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 следует применять 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. Определение 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 FEC. 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 систем. К указанным двум типам систем относятся:

- плездохронная цифровая иерархия (PDH) от 64 кбит/с до первичной скорости; и
- синхронная цифровая иерархия (SDH) от первичной скорости до 3500 Мбит/с.

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

В терминологии SDH сквозная схема называется ТРАКТ.

В терминологии PDH сквозная схема называется СОЕДИНЕНИЕ.

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

Блок SDH, 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

– *Блок с ошибкой (EB)*

Блок, в котором один или несколько битов содержат ошибки.

– *Секунда с ошибкой (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 ошибка по блокам (BBE)*

EB не является частью SES.

1.1.2 Показатели качества по ошибкам для соединений

– *Секунда с ошибкой (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 следует оценивать, только когда тракт или соединения находятся в состоянии доступности. Для определения критериев входа/выхода для состояния недоступности см. Примечание 7 и Приложение А Рекомендации МСЭ-T G.826.

– *Коэффициент секунд с ошибками (ESR)*

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

– *Коэффициент секунд, пораженных ошибками (SESR)*

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

– *Коэффициент фоновых ошибок по блокам (BBER)*

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

1.3 Контроль 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-T G.826, для удобства воспроизводятся 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 HRDP или HRX длиной 27 500 км из Рекомендации МСЭ-T G.826

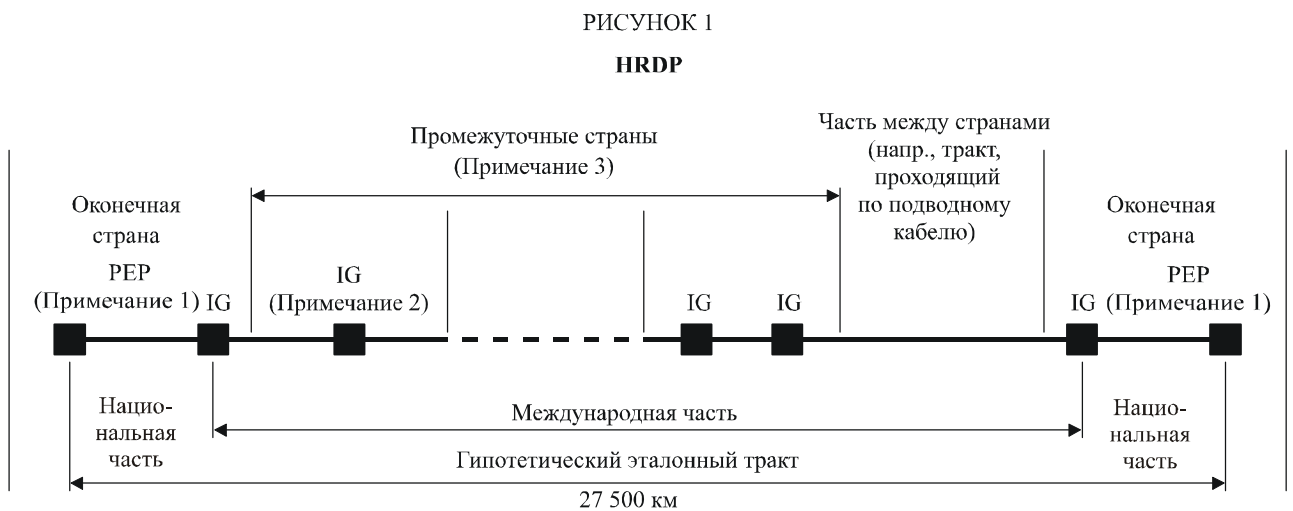
Скорость (Мбит/с)	64 кбит/с до первичной скорости ⁽¹⁾	1,5 до 5	>5 до 15	>15 до 55	>55 до 160	>160 до 3 500
Бит/блок	Не применяется	800–5 000	2 000–8 000	4 000–20 000	6 000–20 000	15 000–30 000 ⁽²⁾
ESR	0,04	0,04	0,05	0,075	0,16	⁽³⁾
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
BBER	Не применяется	$2 \times 10^{-4(4)}$	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 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 HRDP с применением принципов распределения, которые подробно излагаются в п. 6.2 Рекомендации МСЭ-T G.828 (см. рисунок 1).



IG: Оконечная международная станция

РЕР: 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 (входа или выхода).

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 HRDP или HRX 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	Не применяется
SESR	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007
BBER	Не применяется	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$

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	Не применяется
SESR	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084	0,00084
BBER	Не применяется	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,84 \times 10^{-4}$	$0,42 \times 10^{-4}$

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

2 Расчет маски вероятности ошибок по битам (ВОБ)

Набор параметров и норм, определенных 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 нормам данной Рекомендации. Однако это преобразование не приводит к получению особой 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 FEC. 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:

$$P(k) = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\frac{ВОБ \cdot N}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{j^k}{j!} \left(\frac{ВОБ \cdot N}{\alpha} \right)^j e^{-j\alpha}, \quad (1)$$

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 нуля ошибок в блоке равна:

$$P(0) = e^{-\frac{BOB \cdot N_B}{\alpha}} \sum_{j=0}^{\infty} \left[\left(\frac{BOB \cdot N_B}{\alpha} \right)^j / j! \right] e^{-j\alpha} \cong e^{-\frac{BOB \cdot N_B}{\alpha}} \text{ для всех практических значений } \alpha. \quad (2)$$

Тогда вероятность появления EB, P_{EB} , вычисляется следующим образом:

$$P_{EB} = 1 - P(0) = 1 - e^{-\frac{BOB \cdot N_B}{\alpha}} = 1 - e^{-N_B \cdot BOB_{цпш}}, \quad (3)$$

где $BOB_{цпш} = BOB/\alpha$. Вероятность ES, P_{ES} , можно выразить как:

$$P_{ES} = 1 - e^{-n \cdot P_{EB}}, \quad (4)$$

где n – число блоков/с.

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

$$P_{n,k} = \frac{n!}{(n-k)! k!} (1 - P_{EB})^{n-k} P_{EB}^k, \quad (5)$$

тогда вероятность SES, P_{SES} , равна:

$$P_{SES} = \sum_{k=0,3n}^n P_{n,k} = 1 - \sum_{k=0}^{0,3n-1} P_{n,k} = 1 - \sum_{k=0}^{0,3n-1} \frac{n!}{(n-k)! k!} (1 - P_{EB})^{n-k} P_{EB}^k. \quad (6)$$

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:

$$ESR = \frac{N_{ES}}{N}, \quad (7)$$

$$SESR = \frac{N_{SES}}{N}, \quad (8)$$

$$BBER = \frac{N_{EB}}{N_B}, \quad (9)$$

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 относительную частоту аппроксимации вероятностей, с тем чтобы получить:

$$ESR \cong P_{ES}, \quad (10)$$

$$SESR \cong P_{SEs}, \quad (11)$$

$$BBER \cong P_{EB}. \quad (12)$$

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:

$$ESR = \frac{\int_{T_a} P_{ES}(t) dt}{T_a} \quad (13)$$

$$SESR = \frac{\int_{T_a} P_{SEs}(t) dt}{T_a}. \quad (14)$$

Для учета случая исключения SES BBER вычисляется как:

$$BBER = \frac{\int_{T_a} P_{EB}(t) \frac{1 - P_{SEs}(t)}{1 - SESR} dt}{T_a}, \quad (15)$$

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:

$$\frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{ES}(t) dt = \int_0^{ВОБ_{нор}/\alpha} P_{ES}(x) dF(x), \quad (16)$$

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

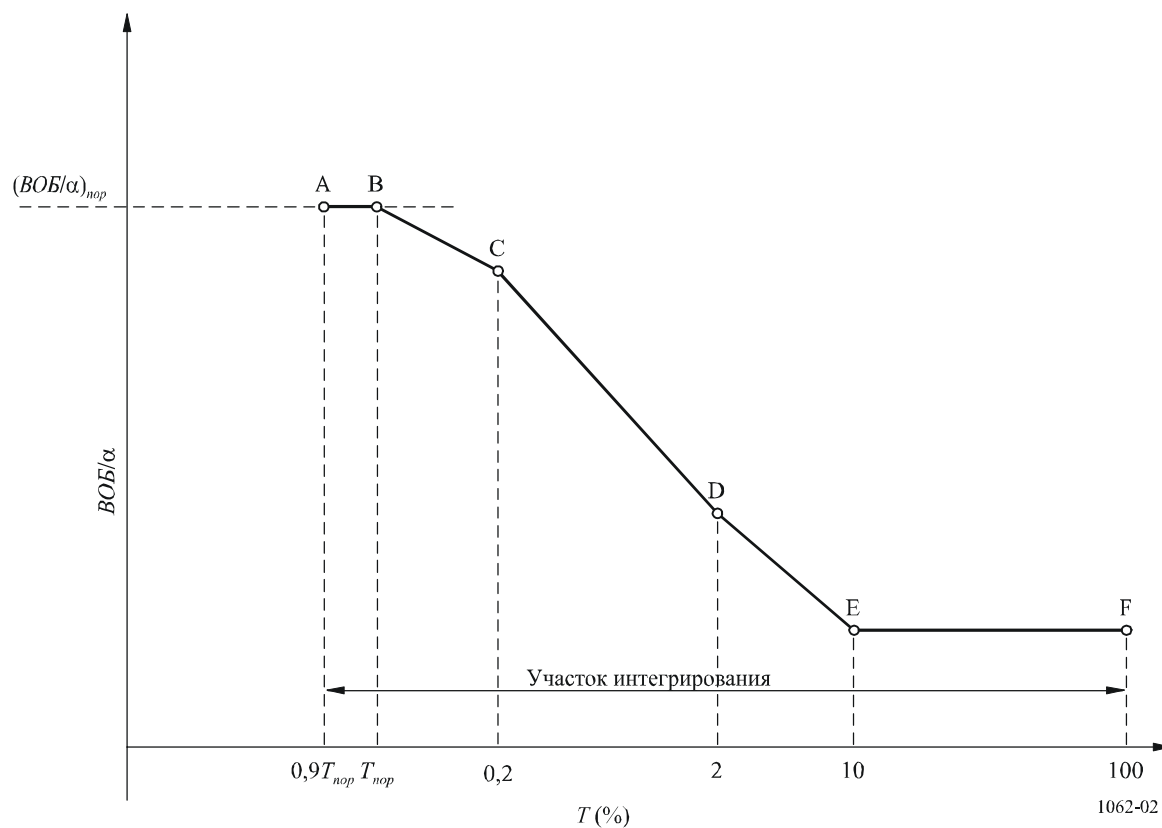
Для цифровых расчетов может применяться следующая дискретная аппроксимация:

$$\frac{1}{T_a} \int_{T_a} P_{ES}(t) dt \cong \sum_i P_{ES}(x_i) [F(x_{i+1}) - F(x_i)], \quad (17)$$

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

Можно найти неограниченное число интегральных распределений $F(x)$ для $ВОБ/\alpha$, с тем чтобы обеспечить соблюдение норм по показателям качества, представленных в Рекомендации МСЭ-Т G.826. Следовательно, считается, что маска для $F(x)$ имеет форму, которая представлена на рисунке 2. Отметим, 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 значений, приведенных на горизонтальной оси, как это представлено на рисунке 2.

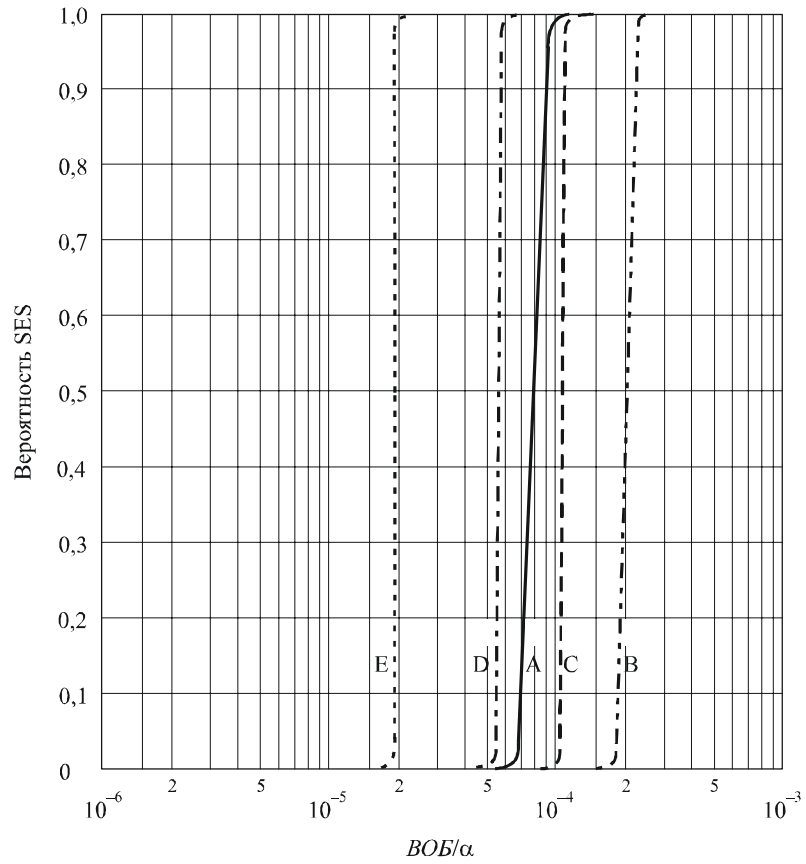
РИСУНОК 2
Общая форма маски



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 передачи данных 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 в модемах происходит потеря 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 С график имеет вид прямой линии.

Этап 5 – Рассчитать ESR, SESR и BBER 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 BBER для любого времени $T_{нор} < 0,2\%$.

Если приведенные в таблицах 5 или 6 нормы для ESR, SESR и BBER 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.

С использованием изложенной выше процедуры с дополнительными предположениями, что:

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

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

При расчете этих масок делалось предположение, что $VOB_{мод} = 1 \times 10^{-3}$. На рисунке 5 второе предположение было изменено, с тем чтобы получить гладкий график маски. Например, в маске для 1,5 Мбит/с соотношение между величинами VOB/α , соответствующими точкам E и D, было изменено с 10 до 3.

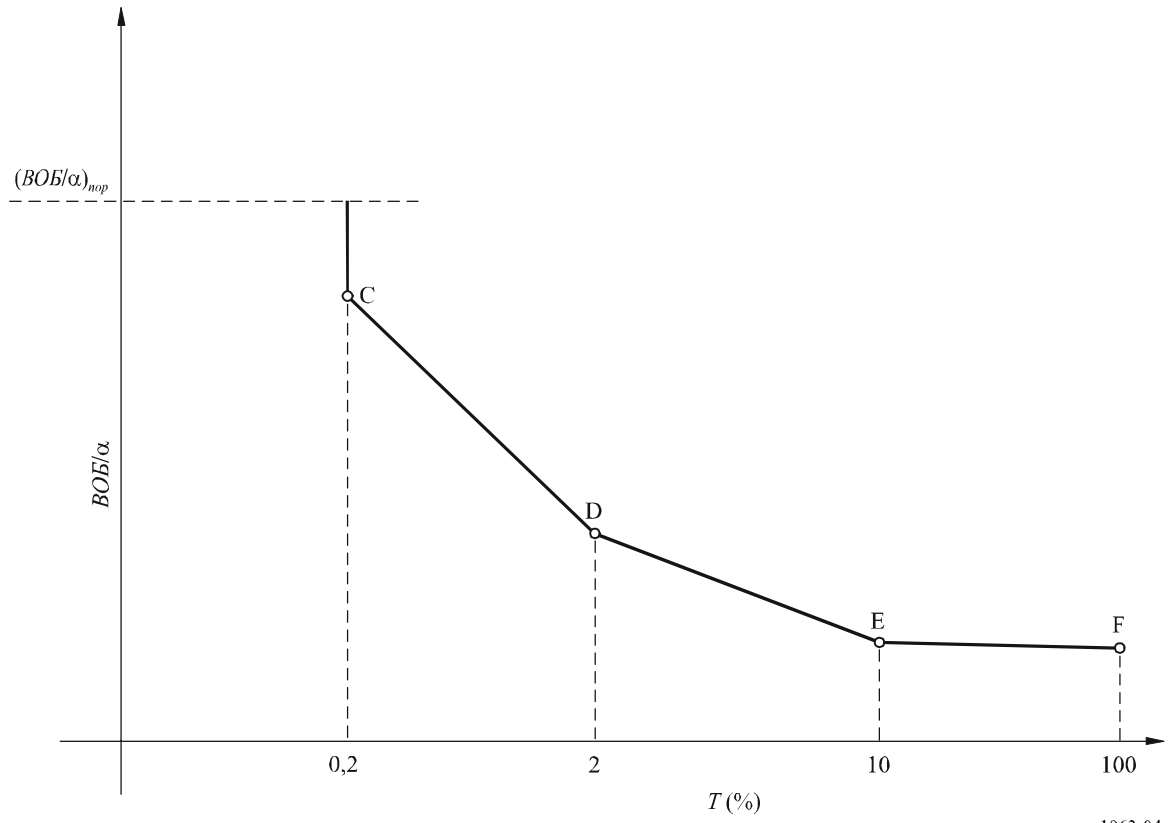
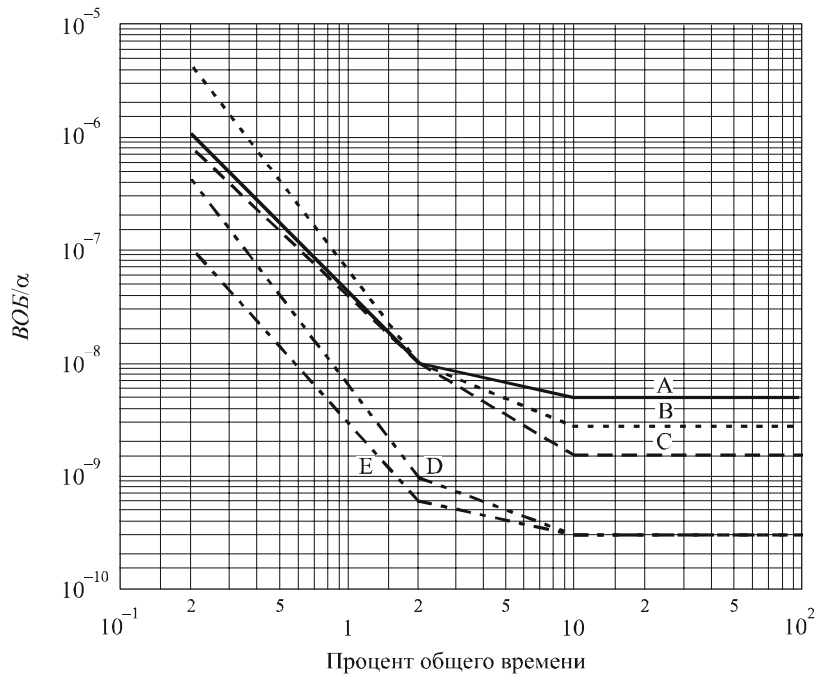
РИСУНОК 4
Упрощенная маска1062-04
(180153)

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)

3 Взаимосвязь между КОБ и коэффициентом событий с ошибками

Хорошо известно, что ошибки в спутниковых линиях, использующих схемы FEC и скремблирования, имеют тенденцию к группированию. Появление групп, которые можно также назвать событиями с ошибками, является случайным, и они распределяются по закону Пуассона. Получаемый в результате коэффициент ошибок по блокам будет таким же, как если бы он был получен за счет возникающих случайно (распределяемых по закону Пуассона) ошибок по битам с коэффициентом ошибок по битам $КОБ/\alpha$, где α (использованное в п. 2.1 для расчета степени пакетирования ошибок) – это среднее количество битов с ошибками в пределах одной группы, а также представляет собой соотношение между КОБ и коэффициентом событий с ошибками. Например, в случайном канале с двоичной ошибкой при отсутствии FEC и скремблирования считается, что α равно единице. Однако при схемах модуляции более высокого порядка α может быть больше единицы.

В той или иной конкретной схеме FEC теоретические значения α могут оцениваться с использованием распределения весовых коэффициентов, применяемого в данной схеме FEC. В пункте 3.1 объясняется, как выводится теоретическая величина. Статистические свойства групп ошибок зависят от используемой схемы FEC/скремблера. Для определения коэффициента α использовались компьютерное моделирование и измерения для различных схем FEC (без скремблера или дифференциального кодирования). При моделировании исходят из наличия аддитивного белого Гауссова канала. Полученные результаты приводятся в пунктах 3.2–3.6.

3.1 Выведение среднего количества битов с ошибками в группе

Если дан последовательный (n, k) блочный код C , то его широко известной весовой функцией для подсчета (WEF) является:

$$B^C(H) \triangleq \sum_{i=0}^n B_i H^i, \quad (18)$$

где:

B_i : (целое) число кодовых слов с весовым коэффициентом Хемминга (количество единиц) i

H : фиктивная переменная.

WEF кода может использоваться для расчета точного выражения для вероятности необнаруженных ошибок и верхней границы вероятности ошибок на слово.

Вводимая дополнительная весовая функция вычисления (IRWEF) кода может определяться как:

$$A^C(W, Z) \triangleq \sum_{w,j} A_{w,j} W^w Z^j, \quad (19)$$

где $A_{w,j}$ означает (целое) число кодовых слов, образованных вводимым информационным словом весового коэффициента Хемминга w , контрольный разряд четности которого имеет весовой коэффициент Хемминга j , так что общий весовой коэффициент Хемминга составляет $w + j$. IRWEF показывает отдельные вклады информации и контрольного разряда четности в общий весовой коэффициент Хемминга для кодовых слов и, таким образом, обеспечивает дополнительную информацию о профиле весового коэффициента (Хемминга) данного кода.

Используя приведенное выше выражение, можно установить верхние границы ВОБ, P_b , с помощью уравнения:

$$P_b \leq \sum_{m=d_{min}}^{\infty} D_m P(R_m'' | C_0), \quad (20)$$

где d_{min} – минимальная длина кода, $P(R_m'' | C_0)$ – вероятность выбора декодером кодового слова с весовым коэффициентом m , при условии что переданное кодовое слово содержит только нули, и

$$D_m = \sum_{j+w=m} \frac{w}{k} A_{w,j}. \quad (21)$$

Таким образом, среднее число битов в группе α будет средним значением w , что дает:

$$\bar{w} = \sum_{m=d_{min}}^{\infty} \sum_{m=w+j} w A_{w,j} P_m, \quad (22)$$

где P_m – вероятность событий с ошибками, содержащих m ошибок во всех событиях с ошибками. Поскольку P_m быстро уменьшается с уменьшением m , особенно при невысоких значениях ВОБ, \bar{w} можно приближенно выразить уравнением:

$$\bar{w} \approx \sum_{d_{min}=w+j} w A_{w,j} P_{d_{min}}. \quad (23)$$

3.2 Факторы для двоичных кодов БЧХ

Используя уравнение (23), можно оценить значения α для систематических кодов БЧХ. В таблице 8 показано распределение весовых коэффициентов кода (7,4) БЧХ, и минимальная длина кода (7,4) равна 3. Следовательно, α для кода можно подсчитать следующим образом:

$$\bar{w}_{(7,4)} = \alpha_{(7,4)} \approx 1 \times \frac{3}{7} + 2 \times \frac{3}{7} + 3 \times \frac{1}{7} \cong 1,7. \quad (24)$$

ТАБЛИЦА 8

Распределение весовых коэффициентов кода (7,4) БЧХ

w	j	A_{wj}
0	0	1
1	2	3
1	3	1
2	1	3
2	2	3
3	0	1
3	1	3
4	3	1

В таблице 9 показаны вычисленные значения α для различных систематических кодов БЧХ, а в таблице 10 сравниваются результаты моделирования для кода (15,11) БЧХ с вычисленными результатами. По мере уменьшения КОБ вычисленное значение аппроксимируется до моделированного значения.

Для несистематических кодов, когда декодирование не удается, ошибки будет содержать приблизительно половина информационных слов. В таком случае α может аппроксимироваться до $k/2$.

ТАБЛИЦА 9

Теоретические значения α , вычисленные для различных кодов БЧХ

(n,k) код БЧХ	α	(n,k) расширенный код	α	(n,k) суженный код	α
(15,11)	2,20	(16,11)	2,75	(15,10)	2,67
(31,26)	2,52	(32,26)	3,25	(31,25)	3,23
(31,21)	3,73	(32,21)	4,56	(31,20)	4,53
(63,57)	2,06	(64,57)	2,96	(63,56)	2,96
(63,51)	4,07	(64,51)	4,50		

ТАБЛИЦА 10

Сравнение теоретических и моделированных значений α для (15,11) кода БЧХ

КОБ	Моделированное значение α	Теоретическое значение α
$2,88 \times 10^{-2}$	2,60	2,2
$4,69 \times 10^{-3}$	2,37	
$5,57 \times 10^{-4}$	2,36	
$2,36 \times 10^{-5}$	2,33	

3.3 Факторы для сверточных кодов

Аналогичный подход может применяться к сверточным кодам. Для известных сверточных кодов в ходе различных исследований были определены распределение их весовых коэффициентов в переводе на a_d , число кодовых слов длиной d , и c_d – сумма ошибок по битам (весовой коэффициент информационной ошибки) для кодовых слов длиной d . При такой же аппроксимации до двоичных кодов БЧХ $\bar{w} (= \alpha)$ для сверточных кодов может быть аппроксимирована до $(c_{d_f})/(a_{d_f})$, где d_f – свободное значение длины кода.

В таблице 11 показано распределение весовых коэффициентов широко известных сверточных кодов, а в таблице 12 сравниваются теоретические расчетные величины α и моделированные величины. Как было подтверждено в случае двоичных кодов БЧХ, в низких диапазонах значений КОБ расчетные значения α примерно равны моделированным значениям.

ТАБЛИЦА 11

Распределение весовых коэффициентов сверточных кодов

Кодовая скорость R	Длина кодового ограничения K	Генератор (в восьмеричной системе)	d_f	$(a_d, d = d_f, d = d_f + 1, d = d_f + 2, \dots)$ $(c_d, d = d_f, d = d_f + 1, d = d_f + 2, \dots)$
1/2	7	133, 171	10	(11, 0, 38, 0, 193, 0, 1 331, 0, 7 275, ...) (36, 0, 211, 0, 1 404, 0, 11 633, ...)
	9	561, 753	12	(11, 0, 50, 0, 286, 0, 1 630, 0, 9 639, ...) (33, 0, 281, 0, 2 179, 0, 15 035, ...)
2/3*	7	133, 171	6	(1, 16, 48, 158, 642, 2 435, 9 174) (3, 70, 285, 1 276, 6 160, 27 128, ...)
7/8*	7	133, 171	3	(2, 42, 468, 4 939, 52 821) (14, 389, 6 792, 97 243, 1 317 944)

* Показанные точками коды взяты из кода R 1/2 с $K = 7$.

3.4 Факторы для каскадных кодов

Для каскадного кода с внешним кодом Рида-Соломона (РС) и сверточным внутренним кодом значение α непосредственно зависит от распределения весовых коэффициентов в коде РС, поскольку он является внешним кодом. Значение α для кодов РС можно определить с использованием того же правила, которое применялось в двузначном коде БЧХ, если используется декодирование по методу максимального правдоподобия. В таком случае следует найти распределение двузначных весовых коэффициентов кодов РС.

В таблице 13 показаны моделированные значения для кодов РС в схеме каскадного кодирования, приведенные в Рекомендациях МСЭ-R ВО.1724 и МСЭ-R S.1709. Используется код РС (204,188), длина которого меньше, чем у исходного кода РС (255,239). Укороченный код (71,55) используется также для различных размеров пакетов.

ТАБЛИЦА 12

Сравнение теоретических и моделированных значений α для сверточных кодов

Кодовая скорость R	Длина кодового ограничения K	Генератор (в восьмеричной системе)	d_f	α (расчетная величина)	КОБ	α (моделированная величина)
1/2	7	133, 171	10	3,27	$1,74 \times 10^{-2}$	7,21
					$1,91 \times 10^{-3}$	5,68
					$1,05 \times 10^{-4}$	3,74
					$5,05 \times 10^{-6}$	3,48
	9	561, 753	12	3,00	$1,07 \times 10^{-7}$	3,00
					$1,22 \times 10^{-2}$	13,00
					$1,77 \times 10^{-3}$	11,56
					$2,10 \times 10^{-5}$	4,38
2/3	7	133, 171	6	3,00	$4,20 \times 10^{-7}$	3,96
					$3,61 \times 10^{-2}$	8,00
					$7,86 \times 10^{-4}$	7,14
					$2,96 \times 10^{-6}$	5,32
7/8	7	133, 171	3	7,00	$2,14 \times 10^{-7}$	5,67
					$6,24 \times 10^{-2}$	9,08
					$2,68 \times 10^{-2}$	8,85
					$9,82 \times 10^{-3}$	7,77
					$1,77 \times 10^{-5}$	7,57
					$1,49 \times 10^{-6}$	7,29

ТАБЛИЦА 13

Моделированные величины α для кодов РС в схеме каскадного кодирования

Код РС (N,K)	КОБ	α	Код РС (N,K)	КОБ	α
(204,188)	$7,74 \times 10^{-3}$	12,80	(71,55)	$6,17 \times 10^{-3}$	8,47
	$5,19 \times 10^{-4}$	9,14		$2,03 \times 10^{-4}$	7,74
	$1,02 \times 10^{-6}$	8,58		$2,02 \times 10^{-7}$	7,32

3.5 Факторы для турбокодов

Для турбокодов может использоваться подход, аналогичный подходу для сверточных кодов, поскольку они основаны на сверточных кодах. В таблице 14 показано распределение весовых коэффициентов турбокодов, приведенных в Рекомендациях МСЭ-R ВО.1724 и МСЭ-R S.1709, а в таблице 15 приведены соответствующие расчетные значения α . В таблице 16 показаны моделированные значения α для пакета размером 53 байта. Поскольку в турбокоде используется итерационный алгоритм декодирования, значения α и КОБ зависят от алгоритма декодирования и

количества итераций. При моделировании использовался алгоритм декодирования max-log MAP, а значения α рассчитывались при итерациях 6 и 15. Поскольку расчетные теоретические значения, приведенные в таблице 15, можно рассматривать как нижнюю границу, их размер меньше, чем у моделированных величин, приведенных в таблице 16.

ТАБЛИЦА 14

Распределение весовых коэффициентов турбокодов ($d_f/a_d/c_d$)

Размер пакета (байты)	$R = 1/3$	$R = 1/2$	$R = 2/3$	$R = 3/4$	$R = 6/7$
53	31/106/954	18/159/954	11/159/901	7/10/50	4/9/27
	32/265/1643	19/159/1431	12/265/1325	8/85/375	5/194/719
	33/106/901	20/530/3551	13/1802/11342	9/486/2335	6/1228/5371
188	33/3476/3384	19/376/3384	12/188/1316	9/27/171	6/199/826
	35/376/3760	20/376/3008	14/752/5264	10/148/1025	7/1578/7269
	36/752/6392	22/752/6768	15/1504/12220	11/1462/9674	8/9144/49558

ТАБЛИЦА 15

Теоретические аппроксимированные величины α для турбокодов

Размер пакета (байты)	$R = 1/3$	$R = 1/2$	$R = 2/3$	$R = 3/4$	$R = 6/7$
53	9,00	6,00	5,67	5,00	3,00
	6,20	9,00	5,00	4,41	3,70
	8,50	6,70	6,29	4,80	4,37
752	9,00	9,00	7,00	6,33	4,15
	10,00	8,00	7,00	6,93	4,60
	8,50	9,00	8,13	6,62	5,42

ТАБЛИЦА 16

Моделированные значения α для турбокодов

Номер итерации	$R = 1/3$ КОВ/ α	$R = 2/5$ КОВ/ α	$R = 1/2$ КОВ/ α	$R = 3/4$ КОВ/ α	$R = 6/7$ КОВ/ α
6	$5,58 \times 10^{-5}/16,8$	$3,79 \times 10^{-5}/16,6$	$1,39 \times 10^{-4}/21,5$	$9,53 \times 10^{-4}/15,9$	$3,44 \times 10^{-5}/6,8$
	$9,28 \times 10^{-6}/14,0$	$5,56 \times 10^{-6}/12,8$	$2,24 \times 10^{-5}/17,1$	$3,47 \times 10^{-5}/11,3$	$2,34 \times 10^{-6}/5,2$
	$1,42 \times 10^{-6}/10,6$	$9,68 \times 10^{-7}/10,6$	$5,69 \times 10^{-7}/9,0$	$9,89 \times 10^{-7}/7,8$	$2,53 \times 10^{-7}/4,1$
15	$2,25 \times 10^{-5}/23,7$	$1,57 \times 10^{-5}/20,8$	$6,36 \times 10^{-5}/26,6$	$6,46 \times 10^{-4}/18,3$	$2,67 \times 10^{-5}/7,0$
	$3,28 \times 10^{-6}/16,5$	$2,41 \times 10^{-6}/14,5$	$9,30 \times 10^{-6}/18,9$	$1,89 \times 10^{-5}/12,2$	$1,74 \times 10^{-6}/4,8$
	$5,62 \times 10^{-7}/11,6$	$4,25 \times 10^{-7}/10,8$	$3,02 \times 10^{-7}/8,9$	$6,02 \times 10^{-7}/7,9$	$1,78 \times 10^{-7}/4,3$

3.6 Факторы для блочных турбокодов

Блочные турбокоды (ВТС) – это произведение кодов, которые декодируются итерационно. Минимальная длина произведения кодов представляет собой произведение минимальных длин составляющих его кодов. Например, минимальная длина m -мерного произведения кодов с одним и тем же составляющим кодом с минимальной длиной d_{min} будет $(d_{min})^m$. Используя этот же принцип, значение α для ВТС $\alpha_{ВТС}$ можно представить следующим образом:

$$\alpha_{ВТС} = \alpha_{c_1} \cdot \alpha_{c_2} \cdots \alpha_{c_m}, \quad (25)$$

где α_{c_i} – значение α для i -го составляющего кода. Двухзначные систематические коды, приведенные в пункте 3.2, обычно используются как составляющие коды.

В таблице 17 приведены теоретические значения $\alpha_{ВТС}$, рассчитанные с использованием уравнения (25), в котором полагается, что ВТС включает те же составляющие коды, что и использовались ранее. Следовательно, значения α_c в таблице 17 – это те же значения, что и приведенные в таблице 9. В таблицах 18 и 19 сравниваются теоретические расчетные значения и моделированные значения для двумерных ВТС. Согласно утверждению, приведенному в пунктах 3.2 и 3.3, в нижних диапазонах значений КОБ расчетные значения приблизительно равны моделированным значениям.

ТАБЛИЦА 17

Теоретические аппроксимированные значения для блочных турбокодов

Расширенный код (n, k)	d_{min}	α_c	Двумерный $\alpha_{ВТС}$	Трехмерный $\alpha_{ВТС}$
(16,11)	4	2,75	7,56	20,80
(32,26)	4	3,25	10,56	34,33
(32,21)	6	4,56	20,79	94,82
(64,57)	4	2,96	8,76	25,93
(64,51)	6	4,50	20,25	91,13

ТАБЛИЦА 18

Сравнение теоретических и моделированных значений α для ВТС (16,11) × (16,11)

E_b/N_0 (дБ)	КОБ	$\alpha_{ВТС}$	Составляющий код	
			КОБ	α_c
1,0	$4,41 \times 10^{-2}$	14,50	$1,25 \times 10^{-1}$	2,82
2,0	$3,43 \times 10^{-3}$	10,35	$7,82 \times 10^{-2}$	2,88
2,5	$4,24 \times 10^{-4}$	7,46	$5,97 \times 10^{-2}$	2,52
3,0	$8,30 \times 10^{-5}$	7,25	$4,31 \times 10^{-2}$	2,82
3,5	$8,51 \times 10^{-6}$	7,31	$2,97 \times 10^{-2}$	2,99

ТАБЛИЦА 19

Сравнение теоретических и моделированных значений α для ВТС (32,26) \times (32,26)

E_b/N_0 (дБ)	КОБ	$\alpha_{ВТС}$	Составляющий код	
			КОБ	α_c
2,0	$4,19 \times 10^{-3}$	31,57	$5,96 \times 10^{-2}$	3,88
3,0	$7,80 \times 10^{-6}$	11,21	$3,10 \times 10^{-2}$	3,33
3,3	$2,10 \times 10^{-6}$	9,76	$2,35 \times 10^{-2}$	3,15

3.7 Результаты других измерений и их краткое изложение

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

Из результатов измерений следует, что α – это функция от распределения весовых коэффициентов схемы FEC и ВОБ. Воздействие параметра α на модель нормы качества можно было бы оценить следующим образом.

Маски, представленные на рисунках 2 и 3, были получены с использованием значения $\alpha = 10$. Если бы, например, FEC/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 FEC/скремблирования.

При разработке проектных масок допустимых ошибок необходимо также учитывать требования, предъявляемые к услугам.

5 Список сокращений и аббревиатур

BBE	Background block error	BBE	фоновая ошибка по блокам
BBER	Background block error ratio	BBER	коэффициент фоновых ошибок по блокам
BCH	Bose, Ray-Chaudhuri, Nocquenghem	БЧХ	Боуз, Рей-Чоудхури, Хоквенгем
BER	Bit error probability	ВОБ	вероятность ошибок по битам
BER	Bit-error rate	КОБ	коэффициент ошибок по битам
BTC	Block turbo code	BTC	блочный турбокод
EB	Errored block	EB	блок с ошибкой
ES	Errored second	ES	секунда с ошибкой
ESR	Errored second ratio	ESR	коэффициент секунд с ошибками
FEC	Forward error-correction	FEC	упреждающая коррекция ошибок

FSS	Fixed-satellite service	ФСС	фиксированная спутниковая служба
GSO	Geostationary orbit	ГО	геостационарная орбита
HRDP	Hypothetical reference digital path	HRDP	гипотетический эталонный цифровой тракт
HRX	Hypothetical reference connections	HRX	гипотетические эталонные соединения
IBS	INTELSAT business service	IBS	коммерческая служба ИНТЕЛСАТ
IDR	Intermediate data rate	IDR	промежуточная скорость данных
IG	International gateway	IG	международный шлюз
INTELSAT	International Telecommunication Satellite Organization	ИНТЕЛСАТ	Международная организация спутниковой электросвязи
IRWEF	Input-redundancy weight enumerating function	IRWEF	вводимая дополнительная весовая функция вычисления
MAP	Maximum <i>a posteriori</i>	MAP	максимальное апостериорное значение
MSS	Mobile-satellite service	ПСС	подвижная спутниковая служба
PDH	Plesiochronous digital hierarchy	PDH	плезиохронная цифровая иерархия
RS	Reed-Solomon	РС	Рид-Соломон
SDH	Synchronous digital hierarchy	SDH	синхронная цифровая иерархия
SES	Severely errored second	SES	секунда, пораженная ошибками
SLA	Service level agreement	SLA	соглашение об уровне обслуживания
SESR	Severely errored seconds ratio	SESR	коэффициент секунд, пораженных ошибками
VC	Virtual container	VC	виртуальный контейнер
WEF	Weight enumeration function	WEF	весовая функция подсчета
