

ЭВОЛЮЦИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ОШИБОК ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ И ТРАКТОВ

Мельникова Н.Ф., ведущий научный сотрудник ЦНИИС

Введение

Показатели ошибок на физическом уровне аппаратуры цифровых трактов передачи являются основным фактором в определении качества передачи информации. Измерения показателей ошибок составляют основу работы большой группы современных средств измерений, носящими разные названия (анализаторы, тестеры и пр.).

Так как показатели ошибок являются критическим компонентом качества передачи в цифровых сетях, в МСЭ-Т в течение последних десяти лет разрабатывались рекомендации, в которых были установлены параметры показателей ошибок и нормы на них. Важнейшими являются рекомендации G.821, G.826, G.828, G.829, G.8201, I.356 и рекомендации серии M.21xx. По мере изучения вопроса ряд из них выдержал несколько редакций. В этой статье описывается смысл этих рекомендаций при использовании G.821/G.826, с одной стороны, и M.2100, с другой. В ней также рассматривается взаимосвязь между рекомендациями G.826, G.828 и другими упомянутыми рекомендациями серии M. Дается краткая справка по рекомендации G.829 и новой рекомендации G.8201 по оптическим транспортным сетям.

Следует знать, что отечественные нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральных и внутризоновых первичных сетей ВСС России (приказ Минсвязи России №92 от 10.08.96 г.) и временные нормы на тракты СЦИ, входящие в состав "Инструкции по паспортизации ВОСП" (1997 г.) ОАО "Ростелеком", отличаются от приведенных в последней редакции рекомендаций M.2100 и M.2101. Эти нормы разрабатывались на основе предыдущих редакций этих рекомендаций и подлежат переработке.

Используемые обозначения

AIS (СИАС)	Alarm Indication Signal	Сигнал индикации аварийного состояния
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Асинхронный режим передачи
AU	Administrative Unit	Административный блок
BBE	Background Block Error	Фоновая ошибка блока
BBER	Background Block Error Ratio	Коэффициент фоновых ошибок по блокам
BIP	Bit Interleaved Parity	Чередующаяся четность бит
BIS	Bringing-Into-Service	Ввод в эксплуатацию
CRC	Cyclic Redundancy Check	Циклическая проверка по избыточности
DSL	Digital Subscriber Line	Цифровая абонентская линия
EB	Errored Block	Блок с ошибками
EDC	Error Detection Code	Код обнаружения ошибки
ES	Errored Second	Секунда с ошибками
ESR	Errored Second Ratio	Коэффициент ошибок по секундам
FEC	Forward Error Correction	Прямая коррекция ошибок
HP	Higher Order Path	Тракт высшего порядка
HRP	Hypothetical Reference Optical Path	Гипотетический эталонный тракт
HROP	Hypothetical Reference Optical Path	Гипотетический эталонный оптический тракт
HRX	Hypothetical Reference Connection	Гипотетическое эталонное соединение
IG	International Gateway	Международный шлюзовый пункт
ISDN (ЦСИУ)	Integrated Service Digital Network	Цифровая сеть с интеграцией услуг
ISM	In-Service Monitoring	Контроль без прекращения связи
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication	Международный союз электросвязи – сектор телекоммуникаций
LOF	Loss of Frame Alignment	Пропадания цикловой синхронизации
LOM	Loss of Multiframe Alignment	Пропадания сверхцикловой синхронизации
LOP	Loss of Pointer	Пропадание указателя
LOS	Loss of Signal	Пропадание сигнала
LP	Lower Order Path	Тракт низшего порядка

MS	Multiplex Section	Мультиплексная секция
NTE	Network Terminal Equipment	Сетевое оконечное оборудование
OAM	Operation and Maintenance	Работа и техническое обслуживание
ODUk	Optical Channel Data Unit-k	k-тый блок данных оптического канала
OOS	Out-of-Service	С прекращением связи
OTN	Optical Transport Network	Оптическая транспортная сеть
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	Плезихронная цифровая иерархия
PEP	Path End Point	Точка окончания тракта
PLM	Payload Label Mismatch	Несоответствие этикетки загрузки
RDI	Remote Defect Indication	Индикация дефекта дальнего конца
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Синхронная цифровая иерархия
SEP	Severely Error Period	Период, пораженный ошибками
SEPI	Severely Error Period Intensity	Интенсивность периодов, пораженных ошибками
SES	Severely Error Second	Секунда, пораженная ошибками
SESR	Severely Error Second Ratio	Коэффициент ошибок по секундам, пораженным ошибками
STM	Synchronous Transport Module	Синхронный транспортный модуль
TE	Terminal Equipment	Оконечное оборудование
TIM	Trace Identifier Mismatch	Несоответствие идентификатора трассы
TMN	Telecommunication Management Network	Сеть управления электросвязью
TU	Tributary Unit	Компонентный блок
UAS	Unavailable Second	Секунда неготовности
UNEQ	Unequipped (defect)	Не укомплектован (дефект)
VC	Virtual Container	Виртуальный контейнер

Предыстория

Первая версия рекомендации G.821 была принята в еще 1980 году. В ней были определены показатели ошибок международных соединений ISDN со скоростью передачи 64 кбит/с [5]. К 1996 году появилась уже четвертая ее версия. Техническое содержание было оставлено неизменным, а диапазон скоростей передачи был расширен до $N \times 64$ кбит/с. N выбирается таким, чтобы скорость передачи была меньше первичной скорости PDH. Приложение D было удалено и вместе с ним все упоминания о более высоких скоростях. Кроме того, был изъят параметр показателей ошибок – минута низкого качества (Degraded Minute - DM).

В течение долгого времени рекомендация G.821 была стандартом, применяемым при проектировании, установке и эксплуатации цифровых сетей. Эта рекомендация также повлияла на разработку используемой в этих сетях аппаратуры передачи и средств измерений ошибок. Спустя годы, однако, стали видны сложности практического использования рекомендации G.821. Было обнаружено две основные проблемы:

а) Требования к показателям ошибок в рекомендации G.821 были основаны исключительно на соединениях 64 кбит/с. Контроль (мониторинг) ошибок в реальном времени обычно выполняется на аппаратуре передачи, работающей на значительно более высоких скоростях. Результаты "приводились" к каналу 64 кбит/с (были "нормализованы"). В приложении D к рекомендации G.821 для этого устанавливался соответствующий метод. Однако этот метод оспаривался с самого начала, и приложение D теперь удалено. Во всяком случае, с введением новых широкополосных услуг, стало мало смысла в приведении результатов к 64 кбит/с.

ПРИМЕЧАНИЕ: В приложении D к рекомендации G.821 оговаривался пропорциональный пересчет количества ошибок, измеренных на более высокой скорости передачи, и их распределения к каналу 64 кбит/с. Например, при измерении на скорости 2048 кбит/с, чтобы получить количество ошибок на скорости 64 кбит/с, производится деление на коэффициент $2048 : 64 = 32$. Этот метод больше не рекомендуется. Однако некоторые измерительные приборы все еще позволяют пользователям применять этот метод для исследования старых объектов измерения.

б) Определения параметров показателей ошибок в G.821 основано на измерении ошибочных бит и соответственно на измерении коэффициента ошибок по битам. Однако ошибочные биты можно четко распознать, только если контролируемая последовательность бит известна. Это очень усложняет измерения во время работы системы ("измерения без прекращения связи").

Рекомендация G.826

Как только эти проблемы стали видны, в конце концов, была предпринята работа над новой Рекомендацией, которая позже стала известна как G.826 [6]. После большой предварительной работы рекомендация G.826 была одобрена в июле 1983, (последняя в 2002 году), дополняя таким образом рекомендацию G.821, выпущенную в 1980 г.

Эта рекомендация характеризуется следующим:

- подходит для более высоких скоростей (>1,5 Мбит/с) без "приведения" ("нормализации")
- обеспечивает измерения параметров показателей ошибок без прекращения связи
- не зависит от среды передачи
- не зависит от системы передачи (поддерживает PDH, SDH, системы на основе ячеек)
- обеспечивает более требовательные объекты, чем рекомендация G.821, с точки зрения появления новейших систем передачи

Область применения Рекомендации G.826

Рекомендация была задумана для международных цифровых трактов с постоянной скоростью передачи на первичной (1544 или 2048 кбит/с) или более высокой скорости передачи. Термин "цифровой тракт" определен в рекомендации МСЭ-Т М.60 [14]. Аппаратура передачи, на основе которой образован тракт, присоединяется между цифровыми стойками распределения или окончечным оборудованием. Точки окончания тракта могут, таким образом, находиться в помещениях окончечных пользователей, если там доступна информация заголовков (служебная информация). В этом случае, рекомендация G.826 может также охватывать абонентский доступ. Цифровые тракты, соответствующие рекомендации G.826, могут транспортироваться по системам передачи любого типа: плездохронной, синхронной иерархии или на основе ячеек. Влияние уровня АТМ не принимается во внимание (АТМ = Асинхронный режим передачи). Для АТМ применяется рекомендация I.356 [11].

Новая редакция рекомендации G.826 от 2002 года расширяет ее назначение до всех цифровых трактов/соединений и ниже первичной скорости передачи. Назначение рекомендации G.821 ограничивается теперь соединениями, основанными на аппаратуре, разработанной до 2002 года.

Нормы рекомендации G.826 предназначены для гипотетического эталонного тракта (HRP) между окончечными пунктами, имеющего длину 27500 км. Не предъявляется особых условий по среде передачи (например, системы передачи по оптическому волокну, цифровым радиорелейным линиям, металлическому кабелю и посредством спутников).

Рисунки 1 и 2 иллюстрирует применение рекомендации G.826. Точки А и В на рисунке 1 представляют собой физические стыки, например, согласно рекомендации G.703 [1]. Из рисунка 2 ясно, что рекомендация G.826 применяется только к физическому уровню, а не к уровням АТМ.

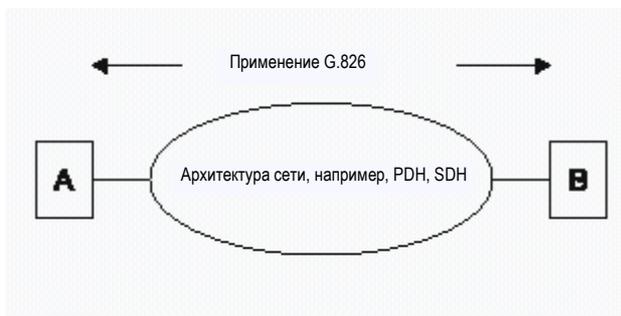


Рис. 1: Применение G.826 для трактов передачи между окончечными пунктами без АТМ

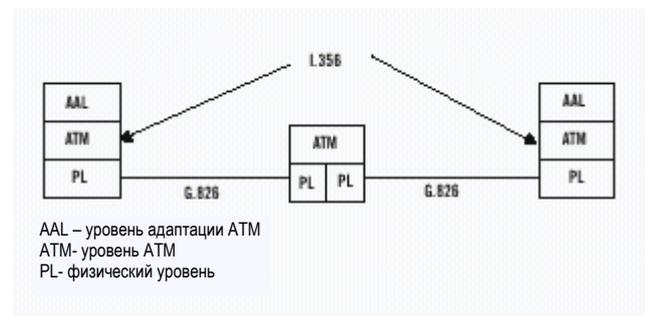


Рис. 2: Применение G.826 для сетей АТМ

Измерения ошибок по блокам

Во время работы над рекомендацией G.826 с самого начала было намерение облегчить оценку показателей ошибок без прекращения связи, сделав применимой встроенную в современные системы передачи аппаратуру контроля. Это потребовало отхода от принятого в рекомендации метода измерений ошибок по битам к методу измерений по блокам. Одним из методов встроенного контроля является метод циклической проверки по избыточности (CRC) и контроль четности бит. В G.826 указыва-

ется, что ошибки должны обнаруживаться с вероятностью 90%. Эти требования удовлетворяются в методах CRC-4 и ВІР-8, но не в ВІР-2 (ВІР = чередующаяся четность бит).

Определения для событий и параметров ошибок

Рекомендация G.826 основана на контроле четырех типов ошибок. Эти события определены для цифровых трактов в соответствии с принципом оценки ошибок по блокам, описанным выше. Определения этих событий приводятся ниже в отдельном разделе. Относительно параметров SEP/SEPI см. ниже раздел "*Новые события ошибок, новые параметры ошибок*".

Для цифровых соединений события ошибок ES и SES основаны на ошибках по битам вместо ошибок по блокам. Для упрощения проверки в определении секунды, пораженной ошибками (SES), включен дефект. Дефекты определены для различных цифровых трактов (PDH, SDH, на основе ячеек) – см. ниже раздел "*Критерии показателей ошибок, используемые на практике*". Следует напомнить, что есть структуры ошибок, которые не приводят к регистрации дефекта, но все же вызывают значительные нарушения передачи. Следует также отметить, что одно старое событие ошибки (минута пониженного качества) не было включено в рекомендацию G.826. Это событие было признано неудобным для практики и было удалено и из рекомендации G.821. Измерения событий ошибок заключаются в их подсчете. Для простоты реализации предпочитается делать это на основе коэффициента ошибок. В рекомендации G.826 используется три относительных параметра ("параметры ошибок"), приведенных ниже. В соответствии с определениями событий ошибок возникающие в пределах секунд, пораженных ошибками, блоки не учитываются при вычислении коэффициента фоновых ошибок по блокам (BBER). Следует иметь в виду, что при вычислении коэффициента ошибок учитывается только время, когда тракт передачи находится в состоянии готовности (см. раздел ниже).

Что такое блок?

Блок представляет собой совокупность последовательных бит, связанных с трактом. Каждый блок принадлежит одному и только одному тракту. Последовательные биты могут не быть смежными во времени.

События ошибок для трактов

Блок с ошибками, EB

Блок, в котором один или более бит ошибочный.

Секунда с ошибками, ES

Односекундный период с одним или более блоками с ошибками или, по меньшей мере, одним дефектом.

Секунда, пораженная ошибками, SES

Односекундный период, содержащий $\geq 30\%$ блоков с ошибками или, по меньшей мере, один дефект.

Фоновая ошибка блока, BBE

Блок с ошибками, не являющийся частью SES

Параметры ошибок

Коэффициент ошибок по секундам (ESR)

Отношение числа ES ко всему количеству секунд во время готовности в течение интервала измерения.

Коэффициент ошибок по секундам, пораженным ошибками (SESR)

Отношение числа SES ко всему количеству секунд во время готовности в течение интервала измерения.

Коэффициент фоновых ошибок по блокам (BBER)

Отношение числа фоновых ошибок блока (BBE) ко всему количеству блоков во время готовности в течение интервала измерения.

Интенсивность периода, пораженного ошибками (SEP)

Число событий SEP во время готовности, разделенное на суммарное время готовности в секундах.

Готовность тракта передачи

Показатели ошибок подсчитываются, только когда тракт находится в состоянии готовности. В рекомендации G.826 определено, что состояние готовности заканчивается в начале периода времени, содержащего, по крайней мере, десять последовательных секунд, пораженных ошибками, в одном направлении передачи. Тракт снова станет находиться в состоянии готовности в начале периода времени, содержащего, по крайней мере, десять последовательных секунд, не являющихся секундами, пораженными ошибками. На рисунке 3 показан пример, как определить состояние готовности.

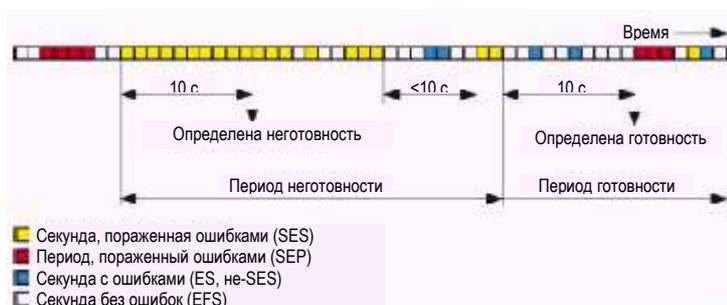


Рис. 3: Пример определения неготовности

Нормы на показатели ошибок

Наиболее важной частью рекомендации G.826 является определение необходимых норм на показатели ошибок между оконечными пунктами для эталонного тракта на 27500 км. Цифровой тракт должен одновременно удовлетворять все нормы, приведенные в таблице, для его скорости передачи. Предполагаемым периодом наблюдения является один месяц. В таблице 1 приводится ряд оценок. Для сцепленных контейнеров VC-4-4с в тракте на 601 Мбит/с длина блока равна 75168 бит/блок. Это находится за пределами этой таблицы. Соответствующая цифра для BBER составляет 4×10^{-4} . Отмечается также, что нормы на ESR не являются реально применимыми на высоких скоростях передачи, так как даже если коэффициент ошибок является низким, велика вероятность появления блоков с ошибками и, следовательно, секунд с ошибками. Поэтому не предъявляется требований к коэффициенту ошибок для скоростей передачи от 160 до 3500 Мбит/с (на скорости передачи 160 Мбит/с коэффициент ошибок, равный 10^{-8} , приведет к 1,6 ошибкам в секунду, если ошибки равномерно распределены во времени. При этих условиях будут сплошные секунды с ошибками).

Таблица 1 Нормы на показатели ошибок между оконечными пунктами цифровых HRP и HRX на 27500 км

Скорость передачи Мбит/с	от 64 кбит/с до первичной скорости	от 1,5 до 5	от >5 до 15	от >15 до 55	от >55 до 160	от >160 до 3500
Бит/блок	не применяется	от 800 до 3500	от 2000 до 8000	от 4000 до 20000	от 6000 до 20000	от 15000 до 30000
ESR	0,04	0,04	0,05	0,075	0,16	не устан.
SESR	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
BBER	не применяется	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	10^{-4}

Одним недостатком при пользовании нормами является переменная длина блоков для различных скоростей передачи. Ниже в этот вопрос вносится ясность с точки зрения выполнения измерений. Оба направления передачи в тракте контролируются независимо друг от друга и должны удовлетворять нормам **одновременно**. Если это не так, рекомендация не выполняется.

Распределение норм на ошибки для эталонного тракта и соединения

Нормы на ошибки из таблицы 1 в рекомендации G.826 распределяются по отдельным частям соединения эталонного тракта. Соединение эталонного тракта разделяется на две национальные части по концам соединения тракта и международную часть (рисунок 4).

На каждую национальную часть распределяется 17,5% от допустимых норм между оконечными пунктами. На каждую национальную часть приходится норма в 0,2% на 100 км. Если в национальной части используется спутниковый скачок, на нее приходится до 42% допустимых ошибок. Эти 42% берутся вместо нормы на основе расстояния. На международную часть распределяется часть от допустимых норм в 2% на каждую промежуточную страну и 1% на оконечную страну. Допускается максимум четыре промежуточные страны. Кроме того, допуск для международной части основан на расстоянии и составляет 0,2% на 100 км длины тракта. Здесь тоже на спутниковый скачок приходится

35% от общих допустимых ошибок. При подсчете длины трактов используется действительная длина маршрута. Если она не известна, используется длина по прямой, которая умножается на коэффициент 1,25 или 1,5 соответственно. Полученные таким образом значения округляются до следующего целого числа, кратного 500 км. Если вычисление для международной части дает допуск < 6% от общей нормы, допуск берется равным 6 %.

В рекомендации G.826 как для национальных, так и в международных частях используется метод смешанного распределения на основе расстояния и фиксированного значения. Практический опыт показал, что это более эффективно, чем простой покилометровый допуск. Следовательно, показатели ошибок тракта передачи определяются не только по его длине, но также по сложности (например, по массе мультиплексного оборудования). Это распределение дает величины, приведенные в таблице 2.



Таблица 2 Распределение норм на тракт

Национальные части (фиксированные)	35%
Оконечные страны (фиксированные)	2%
Международные части	8%
Распределение на основе расстояния	55%
Всего	100%

Рисунок 4: Нормы на показатели ошибок между окончными пунктами для цифрового HRP длиной 27500 км

Критерии показателей ошибок, используемые на практике

Нормы на показатели ошибок, приведенные в таблице 1, даны в общем виде и напрямую не применимы к конкретным реализациям трактов. Для практических применений в рекомендации G.826 имеется три приложения с более точными требованиями систем PDH, SDH и систем на основе ячеек. Для этих трех семейств установлены критерии ошибок, которые учитывают их уникальные свойства и позволяют более практичное использование на практике. Сделано различие между дефектами и аномалиями, что вызывает различные события ошибок.

Критерии для трактов PDH

Аномалии и дефекты для трактов PDH определены в перечне, приведенном ниже.

Аномалии

- a₁ Цикловый синхросигнал с ошибками
- a₂ Блок с ошибками, определенный с помощью EDC

Дефекты

- d₁ Пропадание сигнала
- d₂ Обнаружение сигнала индикации аварийного состояния
- d₃ Пропадание циклового синхросигнала

Критерии качественных показателей PDH

Критерии для трактов SDH

В аппаратуре SDH обычно используется оборудование контроля ошибок на основе анализа цикла (VIP-n = чередующаяся четность бит в "n" битах). Очевидным выбором было приравнять циклы SDH к блокам, приведенным в рекомендации G.826. При теоретическом расчете коэффициента пересчета числа нарушений VIP в число ошибок блока всегда допускаются погрешности определенных моделей, что может привести к тому, что этот коэффициент не будет равен единице. Так как модели фиксированных ошибок не применимы в реальной жизни, тем не менее, в рекомендации G.826 для простоты коэффициент пересчета был выбран равным единице.

Поэтому обнаруженное нарушение VIP напрямую считается блоком с ошибками (и, следовательно, секундой с ошибками, ES). Когда оно приводит к секундам, пораженным ошибками, рекомендация G.826 является очень точной. При указанных выше условиях, выбранные пороги соответствуют 30% блоков с ошибками, как установлено в определении SES. В трактах SDH интервал времени, в котором случается дефект, также считается секундой, пораженной ошибками. Критериями для дефектов являются дефекты на уровне трактов, определенные в рекомендации МСЭ-Т G.707 и G.783 [2, 4]. Есть различия между дефектами на ближнем и дальнем конце, а также между трактами низшего и высшего порядка (см. таблицы ниже).

Типы трактов	Порог для SES
VC-11	600
VC-12	600
VC-2	600
VC-3	2400
VC-4	2400
VC-4-4c	2400

Пороги в виде числа VIP для SES в SDH

Дефекты на ближнем конце	Тип тракта
LP UNEQ	Тракты низшего порядка
LP TIM	
LP LOP	
LP AIS	
LP LOM	
LP PLM	
HP UNEQ	
HP TIM	
HP LOP	
HP AIS	
Дефекты на дальнем конце	Тип тракта
LP RDI	Тракты низшего порядка
HP RDI	Тракты высшего порядка

Дефекты SDH, приводящие к SES

Критерии для трактов на основе ячеек

В аппаратуре на основе ячеек последние передаются в виде чистого потока ячеек без какого-либо циклообразования (например, цикла SDH). В рекомендациях I.432.1- I.432.5 [12] описываются интерфейсы для таких систем. Для трактов на основе ячеек также определены аномалии и дефекты. Здесь блок представляет собой последовательность ячеек между двумя ячейками OAM.

ПРИМЕЧАНИЕ: Ячейки управления и эксплуатации (OAM) используются для контроля показателей ошибок в системах ATM. По ячейкам F3 контролируется цифровой тракт.

Появление, по крайней мере, одной аномалии или дефекта приводит к блоку с ошибками. Секунды, пораженные ошибками, подсчитываются, если насчитано 30% блоков с ошибками или один дефект.

Аномалии	
a ₁	Ячейки АТМ с ошибками (обнаруженные EDC в ячейке F3 OAM)
a ₂	Заголовок ячейки с ошибками или коррекцией
a ₃	Заголовок ячейки F3 с коррекцией
a ₄	Потеря одной ячейки F3
Дефекты	
d ₁	Потеря двух последовательных ячеек OAM
d ₂	Обнаружение сигнала аварийного состояния тракта передачи (TP-AIS)
d ₃	Потеря границ ячейки
d ₄	Пропадание сигнала

Аномалии и дефекты для систем на основе ячеек

Алгоритм

Принимая во внимание определения аномалий, дефектов и готовности, был получен (упрощенный) алгоритм, приведенный на рисунке 5. При контроле ошибок обнаруживаются аномалии (например, из-за ошибок по битам) и дефекты. Аномалии и дефекты приводят к блокам с ошибками или сегментам времени, пораженным ошибками. Принимая во внимание границы состояний, определение которых приведено ранее, получают число секунд с ошибками и секунд, пораженных ошибками (ES и SES). Количество cES, cSES и cBBE является результатом счета ES, SES и BBE. Счетчики сбрасываются в начале каждого измерения. % EB - это отношение блоков в пределах секунды к общему числу блоков в секунде. Если в секунде сосчитано 30% блоков с ошибками, начинается отсчет SES. В конце периода P можно следующим образом вычислить параметры рекомендации G.826, принимая во внимание количество секунд в состоянии готовности (UAS):

$$ESR = \frac{cES}{P - UAS}$$

$$SESR = \frac{cSES}{P - UAS}$$

$$BBER = \frac{cBBE}{(P - UAS - cSES) \times \text{блоков/в секунду}}$$

В упрощенном алгоритме не отражен надлежащим образом переход между состояниями готовности и неготовности. Все, что показано в алгоритме, это то, что события ошибок подсчитываются, только если тракт находится в состоянии готовности.

Рекомендация G.828

Хотя рекомендация G.826 получила широкое распространение при установлении требований к трактам PDH, очень скоро она стала применяться, главным образом, для трактов SDH. Стало очевидным, что нормируемые в G.826 значения, которые были в значительной степени установлены за счет влияний технологии PDH и старой среды связи, не согласуются с возможностями современной аппаратуры SDH, основанной на волоконно-оптической технологии. Сомнению подверглось также то, достаточны ли значения, установленные в G.826, чтобы была уверенность в адекватной передаче ячеек АТМ по трактам SDH. В результате в 1997 году с целью установления более жестких норм на показатели ошибок, применимых к современной аппаратуре SDH, была начата разработка новой рекомендации G.828.

Как показывает заглавие ("*Параметры показателей ошибок и нормы для международных синхронных цифровых трактов с постоянной скоростью передачи*"), в рекомендации G.828 тоже описываются показатели ошибок для цифровых трактов, но они ограничиваются только SDH. В основном, рекомендация G.828 имеет ту же структуру, что и G.826. Большое внимание здесь также уделено возможности делать измерения без прекращения связи с использованием принципа измерений по блокам. Кроме более жестких допустимых пределов на показатели ошибок, при сравнении с G.826 можно выделить следующие позиции:

Точные определения тракта

Во время работы над рекомендацией G.828 было обнаружено, что в литературе МСЭ нет точных определений тракта SDH и эталонного тракта. Поэтому они были определены в G.828 следующим образом:

Гипотетический эталонный тракт (HPR)

HPR определяется, как целое средство цифровой передачи цифрового сигнала установленной скорости передачи, включая заголовок тракта, между оборудованием, в котором сигнал образуется и где оканчивается. Сквозной (между оконечными пунктами) гипотетический эталонный тракт перекрывает расстояние 27500 км.

Цифровой тракт SDH

Цифровой тракт SDH представляет собой трассу, переносящую нагрузку SDH и соответствующий ей заголовок по многоуровневой транспортной сети между оконечным оборудованием тракта. Цифровой тракт может быть двунаправленным или однонаправленным и может содержать как участки, принадлежащие потребителю, так и участки оператора сети.

Новые события ошибок, новые параметры ошибок

Предложение ввести новое событие ошибок и новый параметр ошибок вызвало длинные и трудные дискуссии. Предложение включить в G.828 событие ошибки "Период, пораженный ошибками (SEP)", основано на результатах практических измерений. SEP определяется как период времени, в течение которого возникает, по крайней мере, три, но не более девяти последовательных SES. Период последовательных SES оказывает такое же влияние, как микроперерыв, и может привести к серьезному нарушению услуги, поддерживаемой трактом SDH. Соответствующий параметр SEP называется "Интенсивностью периодов, пораженных ошибками (SEPI)" и имеет размерность количество/время. Хотя для этого параметра была предложена весьма консервативная норма 0,0002/с (при этом разрешается иметь около 518 микроперерывов в месяц), невозможным оказалось закрепить эту норму в G.828. Некоторые сетевые операторы на основании своих измерений почувствовали, что не нужно подвергать контролю этот новый параметр. Другие операторы отстаивали контроль SEPI так решительно, как могли. Поэтому рекомендация G.828 включает только определения SEP и SEPI в отдельном пункте, называя их дополнительными требованиями и оставляя их использование для дальнейшего изучения.

Это изучение должно также должно также принять во внимание абонентский доступ к сети связи ("последняя миля"). Так как допустимые пределы показателей ошибок, оговоренные в G.828, являются независимыми от среды передачи, тракт в сегменте абонентского доступа может быть, например, образован в радиорелейной линии или линии xDSL. В таких случаях можно не достичь благоприятных результатов измерений, необходимых для этих альтернативных применений.

Контроль тандемного соединения

В новой рекомендации G.828 учтен также "Контроль тандемного соединения", функцию современных систем SDH, которые были не известны, когда разрабатывалась рекомендация G.826. Перечни дефектов, приводящих к возникновению секунд, пораженных ошибками (SES), в результате много длиннее. Они приведены ниже в таблице.

Таблица 3 Дефекты ближнего конца, приводящие к SES

Дефекты на ближнем конце (Примечания 5, 6, 7)			Тип тракта	
Окончание тракта	Контроль без вмешательства	Тандемное соединение		
LP UNEQ (Примечание 3)	LP UNEQ (Примеч. 3,4)	LPTC UNEQ (Примеч.3)	Применимо к трактам и тандемным соединениям низшего порядка	
LP TIM	LP TIM	LPTC TIM		
-	-	LPTC LTC		
-	LP VC AIS (Примеч. 2)	-		
TU LOP	TU LOP	TU LOP		
TU AIS	TU AIS	TU AIS		
HP LOM (Примечание 1)	HP LOM (Примечание 1)	HP LOM (Примеч.1)		
HP PLM	HP PLM	HP PLM		
HP UNEQ (Примечание 3)	HP UNEQ (Примеч. 3)	HP UNEQ (Примеч. 3)		Применимо к трактам и тандемным соединениям высшего порядка
HP TIM	HP TIM	HP TIM		
-	-	HP TC LTC		
-	HP VC AIS (Примеч.2)	-		
AU LOP	AU LOP	AU LOP		
AU AIS	AU AIS	AU AIS		

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Данный дефект не относится к VC-3.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Дефект AIS для VC применяется при контроле тракта на промежуточном пункте средствами встроенного контроля без вмешательства в трафик.

ПРИМЕЧАНИЕ 3: Тракты, в действительности не заполненные, например, во время настройки, будут содержать сигнал неукомплектованности VC-п.

ПРИМЕЧАНИЕ 4: В Рекомендации G.783 определены два типа функций контроля без вмешательства. Первоначально (версия 1) дефекты состояния UNEQ определялись, как тип 1, когда принимается сигнал неукомплектованности VC или сигнала контроля неукомплектованного VC. После усовершенствования (версия 2) состояние UNEQ определяются, как тип 1, но при подтверждении этого состояния средствами проверки содержимого идентификатора трассы; прием сигнала контроля неукомплектованного VC не приводит к индикации дефекта UNEQ. Также как при приеме сигнала контроля неукомплектованного VC состояние UNEQ не включается в показатели качества контроля; если прием сигнала контроля неукомплектованного VC является неожиданным, вместо этого в показатели качества контроля включается дефект TIM.

ПРИМЕЧАНИЕ 5: Указанные выше дефекты являются дефектами только трактов. Дефекты секций, такие как MS-AIS, RS TIM, STM LOF и STM LOS вызывают дефект AIS на уровне трактов.

ПРИМЕЧАНИЕ 6: Когда на ближнем конце появляется SES, вызываемая дефектом ближнего конца согласно описанному выше, счетчики событий качественных показателей на дальнем конце не осуществляют отсчета, то есть предполагается, что это период без ошибок. Когда на ближнем конце появляется SES, вызываемая $\geq 30\%$ блоков с ошибками, оценка качественных показателей на дальнем конце продолжается, пока длится SES на ближнем конце. Этот подход не позволяет дать достоверную оценку данных на дальнем конце, если SES на ближнем конце вызваны дефектом. Особо следует отметить, что оценка событий на дальнем конце (таких как SES или неготовность) может быть неточной в случае, когда SES'ы на дальнем конце совпадают с SES'ами на ближнем конце, вызываемыми дефектами. Этих несоответствий нельзя избежать, но на практике ими можно пренебречь из-за низкой вероятности такого явления.

ПРИМЕЧАНИЕ 7: Обратитесь к Рекомендации G.783 [4] относительно включения дефектов в показатели качества контроля в каждой функции ввода окончания трассы.

Таблица 4 Дефекты дальнего конца, приводящие к SES

Дефекты на дальнем конце			Тип тракта
Окончание тракта	Контроль без вмешательства	Тандемное соединение	
LP RDI	LP RDI	LPTC RDI	Применимо к трактам и тандемным соединениям низшего порядка
HP RDI	HP RDI	HPTC RDI	Применимо к трактам и тандемным соединениям высшего порядка

Сравнение норм на допустимые значения показателей ошибок в рекомендациях G.826 и G.828

Кроме определения новых требований к SEP и SEPI и учета "Контроля тандемного соединения", в новой рекомендации G.828 даются более жесткие нормируемые значения для показателей ошибок. Это особенно затрагивает параметры "Коэффициент ошибок по секундам (ESR)" и "Коэффициент ошибок по секундам, пораженным ошибками (SESR)". В таблице 5 приведена таблица 1/G.828 вместе с нормируемыми значениями. В скобках для сравнения показаны соответствующие значения для ESR и SESR из G.826. Интересно ПРИМЕЧАНИЕ 2 относительно BBER: оно означает, что при увеличении размера блока значение BBER не может быть оставлено постоянным или даже улучшенным (относится также к следующему разделу).

Проблемы при обнаружении ошибок с увеличенным размером блока

При определении нормируемых значений одну неопределенность создает недостаточно точная информация о величине оцениваемых блоков. Этот недостаток скорректирован в G.828, где была определена точная длина блока на всех скоростях передачи, как показано в таблице 5. В таблице 6 показано, что число блоков, контролируемых в секунду, для скоростей передачи от VC-3 до VC-4-64c остается постоянным и равным 8000. Это означает, что размер блока увеличивается с увеличением скорости передачи. В то же время для определения ошибок остается VIP-8. Этот увеличивающийся размер блока приводит к постоянному уменьшению эффективности контроля ошибок, так как скорость увеличивается. Таким способом не могут быть точно определены более высокие значения коэффициента ошибок. В результате более глубокого теоретического рассмотрения было предложено, что число подлежащих контролю блоков в секунду следует увеличивать со скоростью передачи, чтобы обеспечивался постоянный размер блока. Каждый виртуальный контейнер VC-4 следует оценивать отдельно, что означает оценку 4×8000 , 16×8000 или 64×8000 блоков в секунду для VC-4-4c, VC-4-16c и VC-4-64c соответственно. Это означает, что размер блока для трактов выше VC-4 должен оставаться постоянным и равным 18792 бит.

Несмотря на правильность теории, находящейся за пределами этих рассуждений, невозможно было применить ее в рекомендации, так как это может означать изменение соответствующих рекомендаций по аппаратным средствам, которые находятся уже на поздней стадии развития. Эти рассуждения отражены, однако в рекомендации G.829.

Таблица 5 Нормы на показатели ошибок для международного синхронного цифрового тракта SDH-HRP между оконечными пунктами длиной 27500 км

Скорость передачи, кбит/с	Тип тракта	Число блоков/с	ESR	SESR	BBER	SEPI (Примеч. 3)
1664	VC-11, TC-11	2000	0,01 (0,04)	0,002	5×10^{-5} (2×10^{-4})	-
2240	VC-12, TC-12	2000	0,01 (0,04)	0,002	5×10^{-5} (2×10^{-4})	-
6848	VC-2, TC-2	2000	0,01 (0,05)	0,002	5×10^{-5} (2×10^{-4})	-
48960	VC-3, TC-3	8000	0,02 (0,075)	0,002	5×10^{-5} (2×10^{-4})	-
150336	VC-4, TC-4	8000	0,04 (0,16)	0,002	1×10^{-4} (1×10^{-4})	-
601344	VC-4-4c, TC-4-4c	8000	(Примеч. 1)	0,002	1×10^{-4} (1×10^{-4})	-
2405376	VC-4-16c, TC-4-16c	8000	(Примеч. 1)	0,002	1×10^{-4} (1×10^{-4})	-
9621504	VC-4-64c, TC-4-64c	8000	(Примеч. 1)	0,002	1×10^{-3} (Примеч. 2)	-

ПРИМЕЧАНИЕ 1: Нормы на ESR имеют тенденцию потерять значимость при применении для высоких скоростей передачи и поэтому не устанавливаются для трактов, работающих на скоростях выше 160 Мбит/с. Тем не менее обнаружено, что определяемые качественные показатели синхронных цифровых трактов являются безошибочными в течение длительных периодов времени даже для скоростей передачи в Гбит/с, и что значительный ESR показывает тракт передачи с ухудшенным качеством. Поэтому для целей технического обслуживания контроль ES должен выполняться любым измерителем показателей ошибок, работающим на этих скоростях.

ПРИМЕЧАНИЕ 2: Норма на BBER соответствует эквивалентному коэффициенту ошибок по битам, равным $8,3 \cdot 10^{-10}$ или улучшенному значению коэффициента ошибок по битам, равному $5,3 \cdot 10^{-9}$ для скоростей передачи VC-4. Эквивалентный коэффициент ошибок по битам является полезным, как независимая от скорости передачи величина показателей ошибок, так как нормы на BBER не могут оставаться постоянными при увеличении величины блоков.

ПРИМЕЧАНИЕ 3: Нормы на SEPI требуют дальнейшего изучения.

Различия между рекомендациями G.821, G.826 и G.828

Различия в основной концепции

В разделе "*Предыстория*" уже указывалось на несколько отличий между этими тремя рекомендациями. Главными являются следующие:

- G.821 имеет дело с соединениями, работающими на скоростях ниже первичной;
- G.821 основана на измерении ошибок по битам;
- так как на этих скоростях не имеется заголовков, измерения без прекращения связи или очень затруднительны, или не возможны;
- G.821 применима только к соединениям, в которых используется аппаратура, разработанная до одобрения измененной рекомендации G.826 (2002);
- G.826 имеет дело с соединениями, работающими на скоростях ниже первичной с помощью аппаратуры, разработанной после одобрения измененной рекомендации G.826 (2002), и трактов, работающих на скоростях выше первичной;
- G.826 основана на измерении ошибок по битам для соединений и ошибок по блокам для трактов;
- G.828 имеет дело исключительно с трактами SDH;
- G.828 основана на измерении ошибок по блокам;
- с помощью схем встроенного контроля (ISM) возможны измерения без прекращения связи

Особенно благодаря потенциалу измерений без прекращения связи старая рекомендация G.821 была замещена рекомендацией G.826. В рекомендациях G.826 и G.828 сказано, что "в настоящее время они являются единственными рекомендациями, необходимыми для расчета показателей ошибок при проектировании цифровых трактов на первичной и более высоких скоростях". Теперь, когда одобрена рекомендация G.828, она станет важнейшей при модернизации аппаратуры SDH и сама выживет рекомендацию G.826 и тем более G.821.

Сравнение требований на показатели ошибок

Согласно рекомендации G.826 одной из целей при подготовке G.826, а затем и G.828 было поддержать нормы на показатели ошибок, сравнимые со старой рекомендацией G.821. Простое сравнение не возможно из-за разницы в определении событий ошибок. Чтобы сравнение было возможно, нужно знать, как коэффициент ошибок по битам связан с блоком с ошибками. Эта взаимосвязь представляет собой функцию распределения ошибок во времени. Например, если ошибки возникают пачками, по рекомендации G.821 отсчитывается число ошибок по битам, в то время как по рекомендации G.826/G.828 можно подсчитать только один блок с ошибками. С другой стороны, если ошибки равномерно распределены во времени, тогда каждая ошибка по битам вызовет блок с ошибками. Однако можно проверить, что в зависимости от модели ошибок требования рекомендаций G.826 и G.828 могут быть много жестче, чем в G.821. Следует также заметить, что с точки зрения определения допустимых норм на ошибки рекомендации G.821 и G.826 полностью не совместимы. В приложении к G.826 даны преимущества и недостатки ошибок по битам в сравнении с ошибками по блокам.

Таблица 6 Нормы на показатели ошибок для международного синхронного цифрового тракта SDH-HRP между окочечными пунктами длиной 27500 км

Скорость передачи, кбит/с	Тип тракта	Число блоков/с	Величина блока для SDH по G.828	EDC
1664	VC-11, TC-11	2000	832 бита	BIP-2
2240	VC-12, TC-12	2000	1120 бит	BIP-2
6848	VC-2, TC-2	2000	3424 бита	BIP-2
48960	VC-3, TC-3	8000	6120 бит	BIP-8
150336	VC-4, TC-4	8000	18792 бита	BIP-8
601344	VC-4-4с, TC-4-4с	8000	75168 бит	BIP-8
2405376	VC-4-16с, TC-4-16с	8000	300672 бита	BIP-8
9621504	VC-4-64с, TC-4-64с	8000	1202688 бит	BIP-8

Рекомендация G.829

Вместе с рекомендацией G.828 была одобрена в марте 2000 года и изменена в декабре 2002 года новая рекомендация G.829 "События показателей ошибок для мультиплексных и регенераторных секций SDH". В противоположность уже упоминавшимся рекомендациям серии G, в ней не определяются никакие нормы. В ней только описываются события ошибок для мультиплексных и регенераторных секций SDH. Одной причиной, по которой нормы отсутствуют, является скептицизм, высказанный несколькими операторами, относительно принятия правил, управляющих компонентами сети, которые часто находятся в ответственности национальных властей. Независимо от этого, определение событий ошибок является очень важным для соединения с вводимыми в эксплуатацию и поддерживаемыми их секциями из-за того, что результаты измерений будут сравнимы только, если используются такие же определения событий.

Рекомендация G.829 тоже основана на принципе контроля ошибок по блокам, причем допускается, чтобы измерения были сделаны без прекращения связи. Поэтому в рекомендации определяется величина блока, число блоков в цикле SDH, число передаваемых в секунду блоков и код обнаружения ошибки (EDC), подлежащий использованию на различных скоростях передачи SDH вплоть до STM-64. Определение порогов для SES, то есть число блоков с ошибками, при котором регистрируется SES, является основной частью рекомендации G.829. Этот порог в обеих рекомендациях G.826 и G.828 устанавливается одинаковым и равным 30% блоков с ошибками. Этот порог, однако, можно не использовать для мультиплексных и регенераторных секций. Из-за того, что механизмы обнаружения ошибок в тракте и секции различны, идентичные пороги могли бы означать, что не может быть совместимости между этими двумя уровнями. Это привело бы к тому, что на уровне секции SES будет регистрироваться при определенном числе блоков с ошибками без соответствующей регистрации SES на уровне тракта. Может случиться и противоположная ситуация. Пороги были зафиксированы после всесторонних теоретических исследований, чтобы дать наиболее возможную совместимость между двумя уровнями.

Ниже в таблице приводятся значения порогов, которые были определены для мультиплексных секций SDH для скоростей передачи от STM-0 до STM-64. Аббревиатура EB соответствует блоку с ошибками. Как уже говорилось, рекомендация G.829 охватывает мультиплексные и регенераторные секции. Определение для регенераторных секций ограничивается, однако, только радиорелейными и спутниковыми системами. Принцип фиксированной длины блока применяется в случае регенераторных секций. Так как эти правила зависят от среды передачи, стало возможным достичь необходимого определения с точки зрения фиксированной длины блока. Это показано в таблице 8.

Таблица 7 Пороги SES для мультиплексных секций SDH согласно рекомендации G.829

Скорость передачи	STM-0	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
Порог SES	15% EB	15% EB	25% EB	30% EB	30% EB

Таблица 8 Величина блоков, число блоков в секунду и вид EDC для регенераторных секций

STM-N	Величина блока	Число блоков на цикл	Число блоков в секунду	EDC
STM-0	6480 бит	1	8000	ВР-8
STM-1	19440 бит	1	8000	ВР-8
STM-4	19440 бит	4	4 × 8000	4 × ВР-8
STM-16	19440 бит	16	16 × 8000	16 × ВР-8

Применимость рекомендаций по показателям ошибок G.821, G.826, G.828 и G.829

Обзор предыстории и применимости рекомендаций МСЭ-Т по показателям ошибок на физическом уровне показан в таблице 9. Для трактов на основе новой аппаратуры после одобрения измененной версии рекомендации G.826 в 2002 году совокупность рекомендаций G.826, G.828 и G.829 охватывает весь диапазон скоростей передачи.

Таблица 9 Применимость рекомендаций по показателям ошибок

Применение		Цифровые тракты, функционирующие на первичной скорости и выше (PDH)	Цифровые тракты, функционирующие на первичной скорости и выше (PDH, на основе ячеек)	Цифровые тракты, функционирующие на первичной скорости и выше (PDH, на основе ячеек)	Цифровые тракты, функционирующие на первичной скорости и выше (SDH)	Цифровые секции SDH
Период действия		<1544 или 2048 кбит/с	≤1544 или 2048 кбит/с		≥1664 или 2240 кбит/с	Суб-STM-0, STM-0 и STM-N
1980-1988		G.821				
1988-1993	G.821	G.821+ Прил.D				
1993-2000			G.826			
2000-2002		См. примеч.				
с 2002	G.826			G.826	G.828	G.829

ПРИМЕЧАНИЕ: Несмотря на то, что в G.821 нормы определены для соединений на 64 кбит/с, они признаны применимыми на более высоких скоростях, так как рекомендаций по качественным показателям, устанавливающих требования на качественным показателям на этих скоростях передачи, было недостаточно.

Новая рекомендация G.8201 для оптических транспортных сетей

В 2003 году была одобрена рекомендация G.8201 [9] "Параметры показателей ошибок и нормы между оконечными пунктами для международных трактов многих операторов в оптической транспортной сети многих операторов". В ней определяются параметры и нормы для трактов ODUk, транспортируемых сетью OTN, как описано в рекомендации G.709 [3].

Структура рекомендации G.8201 очень похожа на структуру рекомендаций серии G.82x. Она также основана на концепции измерения ошибок по блокам при помощи кода обнаружения ошибки (EDC), соответствующего испытываемому тракту, и поэтому пригодна для измерений без прекращения связи. Соответственно определяются события, параметры и нормы. Кроме оценки качественных показателей трактов, охватывается также контроль тандемных соединений. Порог для регистрации SES установлен в размере 15% блоков с ошибками в секунду, что приводит к значениям порогов, приведенных ниже в таблице. Нормы на показатели ошибок соединений между оконечными пунктами предусматриваются только для SESR и BBER. Из-за высоких скоростей теряется важность норм на ESR, поэтому они и не определяются. В таблице 11 приведена таблица 8/G.8201 с нормируемыми значениями качественных показателей. С учетом недостатка опыта по системам OTN нормируемые значения являются предварительными и подлежат изменению, когда это будет необходимо. Следует отметить, что данные нормы допускают использование схемы прямой коррекции ошибок (FEC), как это определено в рекомендации G.709.

Таблица 10 Пороги для SES для трактов ODUk

Тип тракта	Скорость передачи, кбит/с	Порог для SES
ODU1	2489775	3046 EB
ODU2	10037273	12304 EB
ODU3	40319218	49424 EB

Таблица 11 Нормы на показатели ошибок для трактов ODUk HROP между оконечными пунктами

Номинальная скорость передачи, кбит/с	Тип тракта ^(1,2)	Число блоков в секунду ⁽³⁾	SESR	BBER
239/238 × 2488320	ODU1	20431	0,002	4×10^{-5}
239/237 × 9953280	ODU2	82026	0,002	10^{-5}
239/236 × 39813120	ODU3	329492	0,002	$2,5 \times 10^{-6}$

Все значения являются предварительными и ни должны удовлетворяться в сетях, пока не будут изменены (вверх или вниз) на основе реального опыта эксплуатации.

1) Величина блока для ODUk при k=1, 2, 3, означающем величину цикла ODUk, которая равна $4 \times 3824 = 122368$ бит.

2) EDC – это VIP-8, вычисляется по всей нагрузке ODUk ($4 \times 3808 \times 8$ бит) плюс заголовков ODUk ($4 \times 2 \times 8$ бит), что вместе равно ($4 \times 3810 \times 8 = 121920$ бит). Используется EDC: $1 \times \text{VIP-8}$.

3) Эти значения округляются до ближайшего большего значения.

Гипотетический эталонный оптический тракт длиной 27500 км (HROP) использует скорее идею о зонах операторов, чем национальные и международные участки. Идентифицировано три вида зон, зона местного оператора (LOD), зона регионального оператора (ROD) и зона базового оператора (BOD). Границы между зонами называется шлюзом оператора (OG). Для определения соответствия с рекомендациями G.826 и G.828 LOD и ROD ассоциируются с национальной частью, а BOD с международной частью. Для дальнейшего согласования с G.826 и G.828 для всех восьми зон оператора используются четыре BOD (по одной зоне в каждой стране транзита) и две пары LOD-ROD. HROP поэтому начинается и заканчивается в зоне местного оператора; он пересекает зоны региональных операторов и базовых операторов. Принципы распределения могут применяться также при расчете показателей ошибок национальных и частных трактов ODUk. Гипотетический эталонный оптический тракт показан на рисунке 7.

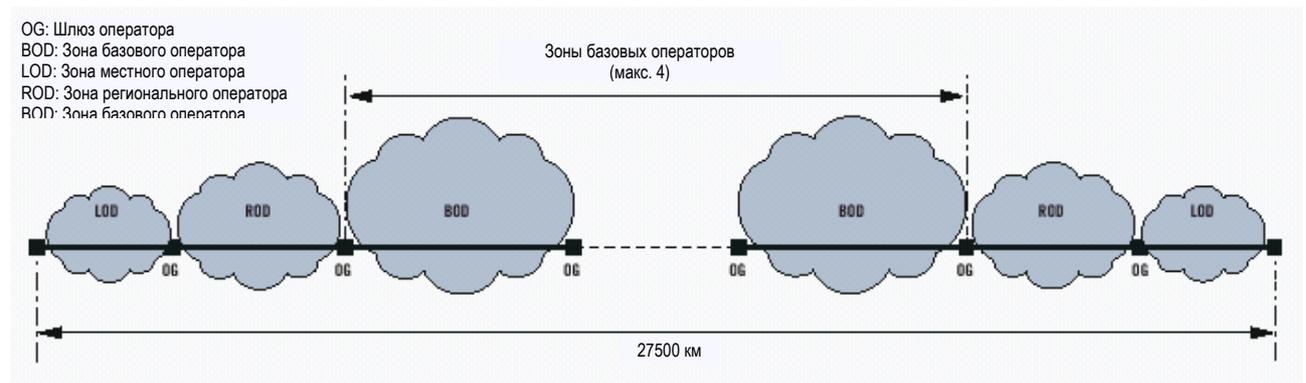


Рисунок 7 Гипотетический эталонный оптический тракт (HROP)

Рекомендации серии M.21xx

Различие назначения рекомендаций серий G и M

Различие назначения рекомендаций G.821, G.826 и G.828 и рекомендаций серии M.21xx начинается с их происхождения: рекомендации серии G исходят от Исследовательской комиссии 13 МСЭ-Т (мультипротокольные сети и сети на основе IP и их взаимодействие), в то время как рекомендации серии M

исходят от Исследовательской комиссии 4 МСЭ-Т (управление электросвязью, включая TMN). Основные различия в назначении этих двух серий заключаются в следующем:

- в G.821, G.826 и G.828 определяются долговременные нормы на качественные показатели, которые должны удовлетворяться;
- для оценки на соответствие G.821, G.826 и G.828 требуются более длительные интервалы времени (один месяц);
- рекомендации серии M.21xx особенно полезны при вводе в эксплуатацию новой аппаратуры передачи. Они предназначены для того, чтобы была уверенность, что в каждом случае удовлетворяются требования рекомендаций серии G (например, с учетом старения компонентов);
- как правило, требования рекомендаций серии M.21xx жестче требований рассмотренных здесь рекомендаций серии G;
- с целью практического использования в рекомендациях серии M.21xx разрешаются короткие интервалы испытаний.

Рекомендация M.2100

Рекомендация M.2100 ("Допустимые пределы качественных показателей при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных трактов и соединений PDH многих операторов") [15] в своей измененной версии от 2003 года вводит новую, более эффективную процедуру ввода в эксплуатацию, принимая во внимание измененные рекомендации G.826, M.2110 и M.2120. В ней описывается, как вводить в эксплуатацию тракты PDH и их компоненты, и какие нормы должны удовлетворяться при этом процессе. Здесь с точки зрения показателей ошибок основными являются рекомендации G.821 и G.826, а с точки зрения качественных показателей тактового сигнала (синхронизации, дрожания и дрейфа фазы) рекомендации G.822 и G.823/G.824.

Сравнение норм на ошибки в рекомендации M.2100 и G.826

Эталонные нормы на качественные показатели (RPO) являются важным параметром рекомендации M.2100. Значения выбираются так, чтобы была уверенность в удовлетворении долговременным нормам рекомендации G.826. Это делается установкой базовых значений рекомендации M.2100 только 50% от допустимых пределов рекомендации G.826. По таблице 12 можно сравнить эти значения. В таблице приводятся значения для гипотетического эталонного тракта длиной 27500 км. Для первичной и более высоких скоростей передачи в рекомендации M.2100 принимаются во внимание только международную часть тракта. Поэтому для этой части можно использовать только 63% от норм таблицы 12, как оговорено в рекомендации G.826 для международной части.

Примечание: 63% представляют собой разность между полным допуском в 100% для гипотетического эталонного тракта длиной 27500 км минус 37% для национальной части. Для национальной части в G.826 определен допуск на блоки $2 \times 17,5\%$ и зависящий от расстояния допуск в 2%, соответствующий минимальной допустимой длине 2×500 км. Результатом являются установленные 37%. См. также таблицу 2.

Таблица 12 Нормы на качественные показатели в рекомендации G.826 и M.2100

Уровень тракта	Первичный		Вторичный		Третичный		Четверичный	
	G.826	M.2100	G.826	M.2100	G.826	M.2100	G.826	M.2100
Рекомендация								
ESR	0,04	0,02	0,05	0,025	0,075	0,0375	0,16	0,08
SESR	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001

Рекомендация M.2100 в реальном мире

Рекомендация M.2100 предназначена для того, чтобы была возможность учесть длину участков трактов передачи (согласно термину M.2100 - базового элемента тракта, PCE), так чтобы удовлетворялись все требования из таблицы 12. Сейчас будет рассмотрено практическое применение этого для параметра "Секунды с ошибками" (ES) на примере ввода системы в эксплуатацию. Как правило, тракты состояются из субэлементов различной длины. Эталонные нормы на качественные показатели (RPO) должны быть назначены для каждого из них. В качестве помощи, в рекомендацию M.2100 включены таблицы, показывающие допустимые доли распределения RPO. В таблице 13 приведены выдержки из одной из этих таблиц, где устанавливаются нормы, зависящие от расстояния, для промежуточных стран и для стран на конце тракта. Подобные таблицы есть для подводных кабелей и

спутников. Цифры в процентах во второй колонке таблицы относятся к нормам из М.2100, приведенным в таблице 12. Например, чтобы определить норму для ES для участка тракта, работающего на первичной скорости передачи и имеющего длину 4000 км, надо взять 6% от 0,02. Эта норма теперь будет стартовой точкой для измерений при вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации аппаратуры передачи.

Таблица 13 Распределение норм на показатели ошибок в базовых элементах тракта

Базовый элемент тракта	Доля распределения (%) от нормы между окончательными пунктами
Расстояние 500 км	2,0%
500 км < расстояние ≤ 1000 км	3,0%
1000 км < расстояние ≤ 2500 км	4,0%
2500 км < расстояние ≤ 5000 км	6,0%
5000 км < расстояние ≤ 7500 км	8,0%
Расстояние > 7500 км	10,0%

В отличие от рекомендации G.826 (нормы которой требуют долговременных измерений в течение одного месяца), реальный мир не смотрит благосклонно на измерения при вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации при вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации, которые требуют длительных периодов времени. Поэтому, М.2100 допускает более короткие интервалы испытаний, например, 15 минут. Конечно, при более коротких испытаниях неопределенность испытаний увеличивается, которую следует принимать во внимание при интерпретации результатов.

В рекомендации М.2100 описывается, как получить допустимый предел на показатели ошибок S для ввода в эксплуатацию. Если показатели ошибок лучше допуска S, объект можно принять в эксплуатацию с большой уверенностью. Если показатели ошибок хуже допуска S, как показано на рисунке 8, требуются корректирующие действия.

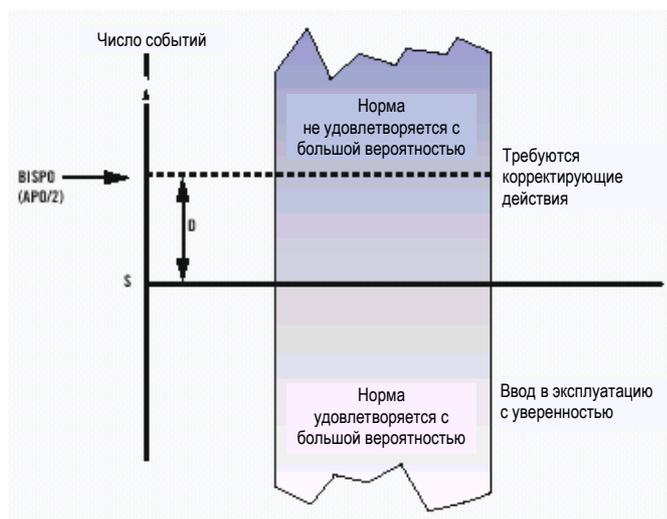


Рисунок 8 Допустимый предел при вводе в эксплуатацию (BIS)

Расчет делается по следующим шагам:

Шаг 1

Идентифицируйте нормы на показатели ошибок ES и SES для соответствующей скорости передачи.

Шаг 2

Определите долю распределения тракта A%.

Шаг 3

Чтобы рассчитать долю распределения от норм (RPO) определите необходимый период измерений (TR), выраженный в секундах и вычислите APO:

$$APO = A \times PO \times TR$$

Шаг 4

Вычислите норму на качественные показатели при вводе в эксплуатацию (BISPO):

$$BISPO = APO/2$$

Шаг 5

Определите значение порога S:

$$D = 2\sqrt{BISPO}$$

$$S = BISPO - D$$

Значения S округляются до ближайшего целого числа (≥ 0).

ПРИМЕЧАНИЕ: Здесь следует отметить, что в последней редакции рекомендации M.2100 вместо двух порогов S1 и S2, между которыми имела зона неопределенности, требовавшая дальнейшего наблюдения за трактами, вводимыми в эксплуатацию, теперь установлен один порог S, вследствие чего полностью изменились все таблицы с нормами на параметры ошибок. Это, несомненно, ставит задачу по пересмотру отечественных норм (приказ №92).

В качестве примера вычислим допуск для ES для тракта первичного уровня (скорость передачи 2048 кбит/с) при доле распределения 12% и интервале испытаний один день (86400 с).

$$APO_{ES} = 12\% \times 0,02 \times 86400 = 20736$$

$$BISPO_{ES} = 20736/2 = 10368$$

$$D_{ES} = 2 \times \sqrt{10368} = 2036$$

$$S_{ES} = 10368 - 2036 = 8332 \text{ (округляется до 83)}$$

Рекомендация M.2100 содержит таблицы для длительности испытаний 15 мин., 2 и 24 часа с численными значениями допуска S при доле распределения от 0,2 до 63% для секунд с ошибками (ES) и секунд, пораженных ошибками (SES). В таблице 14 приведены выдержки из этих таблиц. Ряд, соответствующий доле распределения 12%, содержит числа из приведенного выше примера. Эти таблицы избавляют тех, кто пользуется рекомендацией M.2100, от трудоемких вычислений. Как только становится известным процент доли распределения для элемента тракта, можно получить численные значения норм для ввода в эксплуатацию.

Таблица 14 Допуски при вводе в эксплуатацию для первичных систем

Доля распределения для тракта	15 минут		2 часа		24 часа	
	ES	SES	ES	SES	ES	SES
	S ₁₅	S ₁₅	S ₂	S ₂	S ₂₄	S ₂₄
0,2%	0	0	0	0	0	0
0,5%	0	0	0	0	0	0
1,0%	0	0	0	0	3	0
2,0%	0	0	0	0	9	0
3,0%	0	0	0	0	16	0
4,0%	0	0	0	0	23	0
5,0%	0	0	0	0	30	0
6,0%	0	0	0	0	37	0
7,0%	0	0	1	0	45	0
8,0%	0	0	1	0	52	0
9,0%	0	0	1	0	60	0
10,0%	0	0	2	0	68	0
11,0%	0	0	2	0	76	0
12,0%	0	0	3	0	83	1
13,0%	0	0	3	0	91	1
14,0%	0	0	4	0	99	1
63,0%	0	0	32	0	498	17

Рекомендация M.2101

Рекомендация M.2101 ("Допустимые пределы качественных показателей при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных трактов и мультимплексных секций SDH многих операторов" [16] очень близка к рекомендации M.2100 по назначению и построению, но имеет дело исключительно с трактами SDH. Рекомендация M.2101 включает полезные таблицы, описанные выше,

а методика вычисления для определения параметров, в основном, такая же. Эту рекомендацию для системам SDH можно поэтому рассматривать как эквивалент рекомендации M.2100 для систем PDH.

Сюда относится также примечание, приведенное выше для M.2100.

Применение рекомендаций серий G и M

Все рассмотренные здесь области применения этих рекомендаций сведены в таблицу 15. Она включает все четыре рекомендации серий G и соответствующие рекомендации серии M.

Таблица 15 Нормы на качественные показатели в рекомендации G.826 и M.2100

Рекомендация	G.821	G.826	G.828	G.829	G.8201	M.2100	M.2101
Применение	Долговременные показатели ошибок (OOS)	Долговременные показатели ошибок (ISM/OOS)	Долговременные показатели ошибок (ISM/OOS)	Определения событий ошибок	Долговременные показатели ошибок (ISM/OOS)	Допустимые пределы для BIS для PDH (ISM/OOS)	Допустимые пределы для BIS для SDH (ISM/OOS)
Контролируемый элемент	Соединения N × 64 кбит/с	Тракты PDH/SDH/на основе ячеек/соединения N × 64 кбит/с	Тракты SDH	Секции SDH	Тракты ODUk	Тракты, участки, системы PDH	Тракты, секции SDH
Мин. скорость передачи	64 кбит/с	64 кбит/с	VC-11	Суб-STM-0	ODU1	64 кбит/с	VC-11, STM-0
Макс. скорость передачи	31(24) × 64 кбит/с	3500 Мбит/с, VC-4-4с	VC-4-64с	STM-64	ODU3	140 Мбит/с	VC-4-64с, STM-64
Период оценки	30 дней	30 дней	30 дней	-	30 дней	24 ч., 2 ч., 15 мин.	24 ч., 2 ч., 15 мин.
Механизм обнаружения ошибок	Ошибки по битам	Ошибки по блокам	Ошибки по блокам	Ошибки по блокам	Ошибки по блокам	Ошибки по битам, ошибки по блокам	Ошибки по блокам
События ошибок	ES, SES	ES, SES ¹⁾ , BBE	ES, SES ¹⁾ , BBE	ES, SES ¹⁾ , BBE	SES ¹⁾ , BBE	как в G.821 и G.826	как в G.826, G.828 и G.829

¹⁾ Секунды, пораженные ошибками (SES) получают также при обнаружении дефектов

Другие рекомендации серии M

Кроме M.2100 и M.2101, есть еще ряд рекомендаций, которые важны для определения показателей ошибок в цифровой аппаратуре электросвязи.

Рекомендация M.2102

Рекомендация M.2102 "Эксплуатационные пороги и процедуры механизмов восстановления (резервирование и восстановление) международных трасс (трактов) VC SDH и мультиплексных секций" [17] имеет дело с резервными трактами для использования их при возникновения неисправностей, когда качественные показатели передачи ухудшаются или когда выполняется работа по техническому обслуживанию. В этой рекомендации определяются пороги для переключения на резервные тракты для VC-трактов SDH.

Рекомендация M.2110

Рекомендация M.2110 "Ввод в эксплуатацию международных цифровых трактов, секций и систем передачи многих операторов" [18] связана с рекомендациями M.2100 и M.2101, как это следует из ее названия. В M.2110 подробно рассматриваются процедуры, используемые при вводе в эксплуатацию аппаратуры передачи. Для измерений с прекращением связи эта рекомендация обращается к рекомендациям по измерительной аппаратуре (O.150 [20], O.151 [21] и O.181 [24]), выпускаемой многими фирмами. Первоначальные измерения во время ввода в эксплуатацию должны выполняться с помощью псевдослучайных последовательностей бит, генерируемых внешней измерительной аппаратурой.

При вводе тракта в эксплуатацию первым шагом является проверка целостности, выполняемая в течение 15-минутного интервала. Считается, что испытание прошло успешно, если окончательный пункт не принимает ошибок по битам. Если испытание не прошло, необходимо предпринять локализацию неисправности и ее устранение. Процедуру следует повторить, пока испытание не будет успешным.

Если первый шаг прошел успешно, тогда выполняется второй шаг в виде 24-часовых измерений каждого из показателей ошибок (ES, SES...). Считается, что испытание прошло успешно, если число возникших ошибок для всех событий качественных показателей меньше или равно допустимому пределу S_{24} . В этом случае тракт готов к эксплуатации (RFS). Считается, что испытание не прошло, если возникнет состояние неготовности или число возникших ошибок, по крайней мере, для одного события качественных показателей больше допустимого предела S_{24} . В этом случае необходимо предпринять локализацию неисправности и ее устранение (FL).

Процедура испытаний при вводе в эксплуатацию иллюстрируется алгоритмом на рисунке 9.

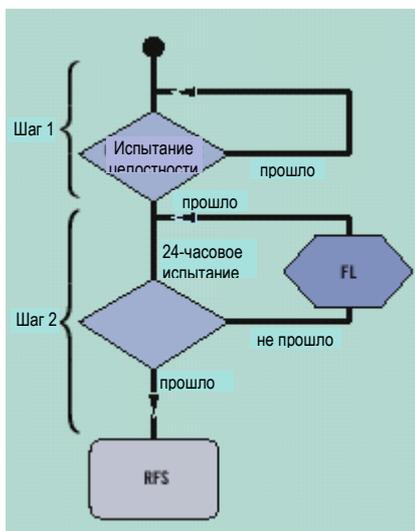


Рисунок 9 Процедура ввода в эксплуатацию для тракта

Для более чем одного тракта, вводимого одновременно по одному или разным маршрутам, описаны дальнейшие процедуры ввода в эксплуатацию.

Рекомендация М.2120

Рекомендация М.2120 озаглавлена "Процедуры обнаружения неисправностей и их локализации для международных цифровых трактов, секций и систем передачи многих операторов" [19]. Это четвертая из серии важнейших рекомендаций по вводу систем в эксплуатацию и их эксплуатации. В последней редакции этой рекомендации 2002 года предусматриваются процедуры по обнаружению и локализации неисправностей с контролем без прекращения связи и без него. Фильтрация информации о качественных показателях описывается для сообщений в сеть управления электросвязью (TMN). Рассматривается также возвращение в эксплуатацию и долговременный анализ тренда. В связи с использованием внешних измерительных приборов очень важен раздел 4.1/М.2120, посвященный измерениям с прекращением связи. Если в подлежащих испытаниям системах передачи трафик транспортируется целиком, рекомендуется использовать анализаторы цикла, описанные в рекомендациях О.161 [22] и О.162 [23]. Если трафик полностью прерван, тогда для поиска неисправностей предпочтительней использовать псевдослучайные последовательности бит (измерительные приборы по рекомендациям О.150, О.151 и О.181 [20, 21 и 24]. При этом предпочтительней сигналы в виде цикла ("framed"). На рисунках 10 и 11 схематично показано подключение приборов при измерении ошибок трактов SDH.

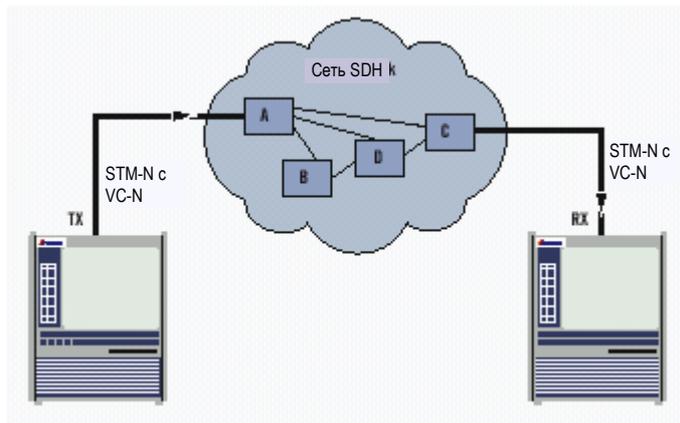


Рисунок 10 Измерения с прекращением связи от А к С

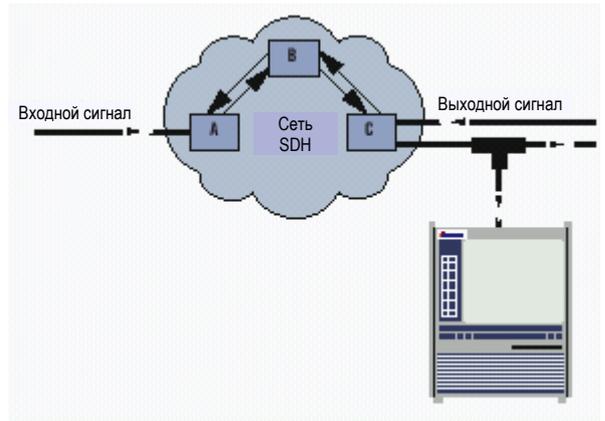


Рисунок 11 Измерения на дальнем конце без прекращения связи (от С к А) с оценкой REI (индикация ошибки на дальнем конце) и RDI (индикация дефекта на дальнем конце)

Дальнейшие рекомендации серии М

Также заслуживающей упоминания является рекомендация М.2201, которая охватывает аппаратуру асинхронного режима передачи (АТМ), и М.2301, которая посвящена сетям на основе IP.

Рекомендация М.2201 (03/01):

"Нормы на качественные показатели, их распределение и допустимые пределы для ввода в эксплуатацию международных постоянных и квазипостоянных виртуальных трактов и виртуальных соединений АТМ"

Рекомендация М.2301 (07/02):

"Нормы на качественные показатели и процедуры для подготовки к работе и для эксплуатации сетей на основе IP"

Рекомендация М.2401 (12/03):

"Нормы на качественные показатели и процедуры для подготовки к работе и для эксплуатации международных трактов и секций многих операторов в пределах оптической транспортной сети"

Рекомендации серии I

В связи с качественными показателями цифровых систем передачи следует также упомянуть две рекомендации серии I:

I.356 - Качественные показатели передачи В-ISDN ячейки АТМ [11]

I.610 - Принципы и функции эксплуатации и технического обслуживания В-ISDN [13].

Обе эти рекомендации относятся к уровню АТМ и поэтому выходят за рамки этой статьи, посвященной физическому уровню. Однако эти рекомендации важны для производителей измерительной аппаратуры, так как рекомендация О.191 [25] для средств измерений АТМ основана на рекомендациях I.356 и I.610.

I.351 - Взаимосвязь между рекомендациями на качественные показатели для уровней ISDN, Интернет-протокола и физического уровня [10]

Библиография

- [1] Рекомендация МСЭ-Т G.703 (11/01). Физические/электрические характеристики иерархических цифровых стыков
- [2] Рекомендация МСЭ-Т G.707/Y.1322 (03/01). Стык узла сети для синхронной цифровой иерархии
- [3] Рекомендация МСЭ-Т G.709/Y.1331 (03/03). Стыки для оптической транспортной сети
- [4] Рекомендация МСЭ-Т G.783 (10/00). Характеристики функциональных блоков аппаратуры синхронной цифровой иерархии

- [5] Рекомендация МСЭ-Т G.821 (12/02). Показатели ошибок международного цифрового соединения, работающего на скорости передачи ниже первичной и образующего часть сети с интеграцией услуг
- [6] Рекомендация МСЭ-Т G.826 (12/02). Параметры показателей ошибок и нормы между оконечными пунктами для международных цифровых трактов и соединений с постоянной скоростью передач
- [7] Рекомендация МСЭ-Т G.828 (03/00). Параметры показателей ошибок и нормы для международных синхронных цифровых трактов с постоянной скоростью передачи
- [8] Рекомендация МСЭ-Т G.829 (12/02). События показателей ошибок для мультиплексных и регенераторных секций SDH
- [9] Рекомендация МСЭ-Т G.8201 (09/03). Параметры показателей ошибок и нормы между оконечными пунктами для международных трактов многих операторов в оптической транспортной сети многих операторов
- [10] Рекомендация МСЭ-Т I.351 (10/00): Взаимосвязь между рекомендациями на качественные показатели для уровней ISDN, Интернет-протокола и физического уровня
- [11] Рекомендация МСЭ-Т I.356 (03/00): Качественные показатели передачи В-ISDN ячейки АТМ
- [12] Рекомендации МСЭ-Т I.432.1-I.432.5 (02/99): Стык пользователь-сеть В-ISDN. Технические требования к физическому уровню
- [13] Рекомендация МСЭ-Т I.610 (02/99) Принципы и функции эксплуатации и технического обслуживания В-ISDN
- [14] Рекомендация МСЭ-Т М.60 (03/93). Термины и определения, относящиеся к техническому обслуживанию
- [15] Рекомендация МСЭ-Т М.2100 (04/03). Допустимые пределы качественных показателей при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных трактов и соединений PDH многих операторов
- [16] Рекомендация МСЭ-Т М.2101 (06/03). Допустимые пределы качественных показателей при вводе в эксплуатацию и техническом обслуживании международных трактов и мультиплексных секций SDH многих операторов
- [17] Рекомендация МСЭ-Т М.2102 (02/00). Эксплуатационные пороги и процедуры механизмов восстановления (резервирование и восстановление) международных трасс (трактов) VC SDH и мультиплексных секций
- [18] Рекомендация МСЭ-Т М.2110 (07/02). Ввод в эксплуатацию международных цифровых трактов, секций и систем передачи многих операторов
- [19] Рекомендация МСЭ-Т М.2120 (07/02). Процедуры обнаружения неисправностей и их локализации для международных цифровых трактов, секций и систем передачи многих операторов
- [20] Рекомендация МСЭ-Т О.150 (05/96). Общие требования к аппаратуре для измерения качественных показателей в аппаратуре цифровой передачи
- [21] Рекомендация МСЭ-Т О.151 (10/92). Аппаратура для измерения показателей ошибок, работающая на первичной и более высоких скоростях
- [22] Рекомендация МСЭ-Т О.161 (11/88). Устройства контроля нарушения кода без прекращения связи в цифровых системах
- [23] Рекомендация МСЭ-Т О.162 (10/92). Аппаратура для проведения контроля без прекращения связи на сигналах со скоростями 2048, 8448, 34368 и 139264 кбит/с
- [24] Рекомендация МСЭ-Т О.181 (05/02). Аппаратура для оценки качественных показателей на стыках STM-N
- [25] Рекомендация МСЭ-Т О.191 (02/00). Аппаратура для оценки качественных показателей на уровне АТМ