



Международный союз электросвязи

**МСЭ-Т**

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

**G.984.2**

(03/2003)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,  
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Цифровые участки и система цифровых линий –  
Системы оптических линий для местных сетей  
и сетей доступа

---

**Пассивные волоконно-оптические сети  
с поддержкой гигабитных скоростей  
передачи (GPON): Спецификация  
зависимого от физической среды  
(PMD) уровня**

Рекомендация МСЭ-Т G.984.2

---

## РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G

## СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ПРОВОДАМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.500–G.599
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.600–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
Общие положения	G.900–G.909
Параметры волоконно-оптических кабельных систем	G.910–G.919
Цифровые участки с иерархическими скоростями на основе скорости 2048 кбит/с	G.920–G.929
Системы цифровых линий для передачи по кабелю с неиерархическими скоростями	G.930–G.939
Системы цифровых линий, создаваемые транспортными передачами FDM	G.940–G.949
Системы цифровых линий	G.950–G.959
Цифровые участки и цифровые системы передачи для абонентского доступа к ЦСИС	G.960–G.969
Волоконно-оптические подводные кабельные системы	G.970–G.979
<b>Системы оптических линий для местных сетей и сетей доступа</b>	<b>G.980–G.989</b>
Сети доступа	G.990–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.7000–G.7999
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.8000–G.8999

Для получения более подробной информации просьба обращаться к Перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

## **Рекомендация МСЭ-Т G.984.2**

### **Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой гигабитных скоростей передачи (GPON): Спецификация зависимого от физической среды (PMD) уровня**

#### **Резюме**

В данной Рекомендации описывается волоконно-оптическая сеть гибкого доступа, в которой могут поддерживаться требования деловых и частных услуг к диапазону полосы частот, и рассматриваются системы с номинальными линейными скоростями 1244,160 Мбит/с и 2488,320 Мбит/с в нисходящем направлении передачи и скоростями 155, 520 Мбит/с, 622,080 Мбит/с, 1244,160 Мбит/с и 2488,320 Мбит/с в восходящем направлении передачи. Приводятся описания симметричных и асимметричных (восходящее направление передачи/нисходящее направление передачи) систем пассивных волоконно-оптических сетей с поддержкой гигабитных скоростей передачи (GPON). В данной Рекомендации рассматриваются требования физического уровня к спецификации зависимого от физической среды (PMD) уровня. Уровень конвергенции передачи (ТС) и протокол выбора диапазона для систем GPON описаны в разных Рекомендациях МСЭ-Т.

В данной Рекомендации приводится описание системы, представляющей эволюционное развитие системы, описанной в Рекомендации МСЭ-Т G.983.1. В данной Рекомендации, насколько это максимально возможно, сохраняются требования Рекомендации МСЭ-Т G.983.1 по обеспечению максимальной преемственности с существующими системами и волоконно-оптической инфраструктурой.

#### **Источник**

Рекомендация МСЭ-Т G.984.2 была утверждена 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8, 16 марта 2003 года.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, разрабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

## ПРИМЕЧАНИЕ

В данной Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соответствие настоящей Рекомендации носит добровольный характер. Однако данная Рекомендация может содержать определенные обязательные положения (например, по обеспечению взаимодействия или применимости), и в таком случае соответствие Рекомендации достигается при соблюдении всех указанных обязательных положений. Слово "должен" и другие слова, обозначающие долженствование, а также их отрицательные эквиваленты используются для выражения требований. Употребление этих слов не означает, что любая сторона должна соблюдать настоящую Рекомендацию.

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на то, что практическое осуществление или реализация данной Рекомендации может включать в себя использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации данной Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© МСЭ 2004

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>Стр.</b>
1 Область применения .....	1
2 Ссылки .....	1
3 Определения .....	2
4 Сокращения.....	2
5 Архитектура волоконно-оптической сети доступа .....	3
6 Услуги .....	4
7 Интерфейс пользователь–сеть и интерфейс узла услуг.....	4
8 Требования к волоконно-оптической сети.....	4
8.1 Уровневая структура волоконно-оптической сети .....	4
8.2 Требования зависящего от физической среды уровня для сети GPON .....	4
8.3 Взаимодействие между PMD-уровнем сети GPON и уровнем конвергенции передачи (ТС) .....	23
Добавление I – Распределение времени дополнения физического уровня.....	25
Добавление II – Описание и примеры механизма выравнивания по мощности .....	27
II.1 Введение .....	27
II.2 Уровни блока ONU .....	27
II.3 Пороговые значения в окончании OLT .....	28
II.4 Обнаружение мощности.....	29



### Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой гигабитных скоростей передачи (GPON): Спецификация зависимого от физической среды (PMD) уровня

#### 1 Область применения

Данная Рекомендация предназначена для описания сетей гибкого доступа, использующих волоконно-оптическую технологию. В первую очередь обращается внимание на сеть, поддерживающую услуги с требованиями к диапазону полосы частот, начиная услугами телефонной связи и заканчивая услугами передачи данных со скоростью несколько гигабит в секунду. Рассматриваются также и распределительные услуги.

В данной Рекомендации описываются характеристики зависимого от физической среды (PMD) уровня волоконно-оптической сети доступа (OAN) с возможностью транспортировки различных услуг между интерфейсом пользователь–сеть и интерфейсом узла услуг.

Сеть OAN, рассматриваемая в данной Рекомендации, должна давать возможность оператору сети проводить гибкое наращивание системы, чтобы отвечать новым требованиям абонентов, в частности, в области волоконно-оптической распределительной сети (ODN). Рассматриваемая сеть ODN основывается на варианте древовидной схемы с ветвями, представляющей соединение одного абонента с несколькими.

В данной Рекомендации уделяется особое внимание вопросам оптического волокна: вопросы использования материалов из меди в гибридных системах описаны в других источниках информации, например, в Рекомендациях, касающихся линий xDSL (серия Рекомендаций G.99x).

В настоящей Рекомендации обращается внимание на дополнения и модификации ранних Рекомендаций серии Q.983.x, которые описывают архитектуру, базирующуюся на передаче ячеек в режиме АТМ по пассивной волоконно-оптической сети. Назначение этих дополнений и модификаций заключается в поддержке более высоких скоростей передачи данных, особенно для транспортировки услуг передачи данных.

В данной Рекомендации формируются требования физического уровня и спецификации зависимого от физической среды (PMD) уровня пассивной волоконно-оптической сети с поддержкой гигабитных скоростей передачи (GPON). Спецификации уровня конвергенции передачи (ТС) и протокола выбора диапазона для систем сетей GPON описаны в разных Рекомендациях.

#### 2 Ссылки

Положения настоящей Рекомендации опираются на положения приведенных ниже Рекомендаций МСЭ-Т и других источников, на которые имеются ссылки. Ко времени публикации настоящей Рекомендации все указанные ниже источники информации имели силу. Однако все Рекомендации и прочие цитируемые источники подлежат пересмотру. Поэтому всем пользователям настоящей Рекомендации желательно рассмотреть возможность использования наиболее поздних версий перечисленных ниже Рекомендаций и других источников. Перечень действующих на текущий момент Рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на какой-либо документ в настоящей Рекомендации не дает ему как самостоятельному документу статус Рекомендации.

- [1] Рекомендация МСЭ-Т G.652 (2003), *Характеристики одномодового волоконно-оптического кабеля.*
- [2] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (1999), *Волоконно-оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [3] Рекомендация МСЭ-Т G.982 (1996), *Волоконно-оптические сети доступа, поддерживающие услуги со скоростями передачи, включая первичную скорость сети ЦСИС или эквивалентные скорости передачи битов.*
- [4] Рекомендация МСЭ-Т G.983.1 (1998), *Широкополосные волоконно-оптические системы доступа, опирающиеся на пассивные волоконно-оптические сети (PON).*
- [5] Рекомендация МСЭ-Т G.983.3 (2001), *Широкополосная волоконно-оптическая система доступа с улучшенной возможностью обслуживания путем распределения длин волн.*

- [6] Рекомендация МСЭ-Т G.984.1 (2003), *Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой гигабитных скоростей передачи (GPON): Общие характеристики.*

### 3 Определения

В данной Рекомендации часто используются определенные термины из Рекомендаций МСЭ-Т G.983.1 и G.983.3. В целях удобства в данном разделе приводятся основные определения, относящиеся к PMD-уровню сети GPON.

**3.1 Волоконно-оптическая сеть доступа (OAN):** Множество звеньев доступа, совместно используемых интерфейсами сетевой стороны и поддерживаемых волоконно-оптическими системами передачи доступа. Сеть OAN может включать ряд сетей ODN, подключенных к одному и тому же окончанию OLT.

**3.2 Волоконно-оптическая распределительная сеть (ODN):** Сеть ODN предоставляет волоконно-оптические средства передачи от окончания OLT к пользователям и наоборот. Она использует пассивные волоконно-оптические компоненты.

**3.3 Волоконно-оптическое линейное окончание (OLT):** Окончание OLT предоставляет интерфейс сетевой стороны сети OAN; оно соединено с одной или несколькими сетями ODN.

**3.4 Волоконно-оптическое сетевое окончание (ONT):** Блок ONU, используемый для оптического волокна FTTH и содержащий функцию порта пользователя.

**3.5 Волоконно-оптический сетевой блок (ONU):** Блок ONU предоставляет (непосредственно или дистанционно) интерфейс стороны пользователя сети OAN; он соединен с сетью ODN.

**3.6 Множественный доступ с временным уплотнением каналов (TDMA):** Средства передачи, включающие уплотнение нескольких временных интервалов в одну и ту же полезную временную нагрузку.

**3.7 Мультиплексирование с разделением по длинам волн (WDM):** Двухнаправленное мультиплексирование, использующее разные длины волн в волоконно-оптической линии для сигналов в восходящем и нисходящем направлениях передачи.

### 4 Сокращения

В данной Рекомендации используются следующие сокращения:

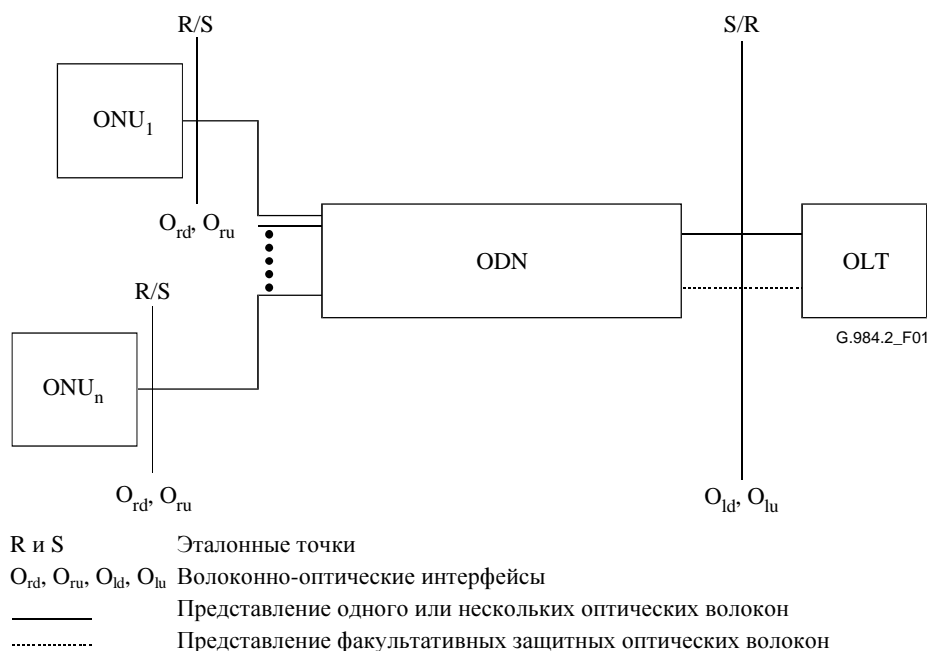
APD	Лавинный фотодиод
ATM	Режим асинхронного переноса
BER	Коэффициент ошибок по битам
B-ISDN	Широкополосная цифровая сеть с интеграцией служб (Ш-ЦСИС)
CID	Последовательная идентичная цифра
DFB	Лазер с распределенной обратной связью
DSL	Цифровая абонентская линия
Е/О	Электрический/оптический
FEC	Упреждающая коррекция ошибок
FTTH	“Волокно до квартиры”
GPON	Пассивная волоконно-оптическая сеть с поддержкой гигабитных скоростей передачи
ISDN	Цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС)
MLM	Мультипродольная мода
MPN	Шум разбиения моды
NRZ	Без возвращения к нулю



O/E	Оптический/электрический
OAN	Волоконно-оптическая сеть доступа
ODF	Волоконно-оптический распределительный щит переключений
ODN	Волоконно-оптическая распределительная сеть
OLT	Волоконно-оптическое линейное окончание
ONT	Волоконно-оптическое сетевое окончание
ONU	Волоконно-оптический сетевой блок
ORL	Затухание отражения в оптоволокне
PIN	Фотодиод без внутреннего лавинного процесса
PON	Пассивная волоконно-оптическая сеть
PRBS	Псевдослучайная битовая последовательность
RMS	Среднеквадратический
SDH	Синхронная цифровая иерархия
SML	Однопродольная мода
SNI	Интерфейс узла услуг
SOA	Полупроводниковый волоконно-оптический усилитель
TC	Конвергенция передачи
TDM	Временное уплотнение
TDMA	Множественный доступ с временным уплотнением каналов
UI	Единичный интервал
UNI	Интерфейс пользователь–сеть
WDM	Мультиплексирование с разделением по длинам волн

## **5 Архитектура волоконно-оптической сети доступа**

См. Рекомендацию МСЭ-Т G.983.1. В целях удобства рисунок 5/G.983.1 воспроизведен ниже.



**Рисунок 1/G.984.2 – Базовая физическая конфигурация волоконно-оптической распределительной сети (воспроизведена по рисунку 5/G.983.1)**

Два направления для оптической передачи в сети ODN определяются следующим образом:

- нисходящее направление передачи для сигналов, идущих от окончания OLT к блоку (блокам) ONU;
- нисходящее направление передачи для сигналов, идущих от блока (блоков) ONU к окончанию OLT.

Передача в нисходящем и восходящем направлениях может происходить по одному и тому же оптическому волокну и одним и тем же компонентам (дуплексная/диплексная работа) или по отдельным оптическим волокнам и отдельным компонентам (симплексная работа).

## 6 Услуги

См. Рекомендацию МСЭ-Т G.984.1.

## 7 Интерфейс пользователь-сеть и интерфейс узла услуг

См. Рекомендацию МСЭ-Т G.984.1.

## 8 Требования к волоконно-оптической сети

### 8.1 Уровневая структура волоконно-оптической сети

См. Рекомендации МСЭ-Т G.983.1 и G.983.3.

### 8.2 Требования зависимо от физической среды уровня для сети GPON

#### 8.2.1 Номинальная скорость передачи битов цифрового сигнала

Скорость линии передачи должна быть кратной частоте 8 кГц. Целевая стандартизированная система будет обладать следующими номинальными линейными скоростями передачи (в нисходящем/восходящем направлениях передачи):

- 1244,16 Мбит/с/155,52 Мбит/с,
- 1244,16 Мбит/с/622,08 Мбит/с,
- 1244,16 Мбит/с/1244,16 Мбит/с,
- 2488,32 Мбит/с/155,52 Мбит/с,

- 2488,32 Мбит/с/622,08 Мбит/с,
- 2488,32 Мбит/с/1244,16 Мбит/с,
- 2488,32 Мбит/с/2488,32 Мбит/с.

Определяемые параметры классифицируются по нисходящему и восходящему направлениям передачи, а номинальная скорость передачи битов будет такой, как представлена в таблице 1.

**Таблица 1/G.984.2 – Отношение между категориями параметров и таблицами**

Направление передачи	Номинальная скорость передачи битов	Таблица
Нисходящее направление	1244,16 Мбит/с	Таблица 2b (нисходящее направление, 1244 Мбит/с)
	2488,32 Мбит/с	Таблица 2c (нисходящее направление, 2488 Мбит/с)
Восходящее направление	155,52 Мбит/с	Таблица 2d (восходящее направление, 155 Мбит/с)
	622,08 Мбит/с	Таблица 2e (восходящее направление, 622 Мбит/с)
	1244,16 Мбит/с	Таблица 2f-1 (восходящее направление, 1244 Мбит/с)
		Таблица 2f-2 (восходящее направление, 1244 Мбит/с)
2488,32 Мбит/с	Таблица 2g-1 (восходящее направление, 2488 Мбит/с) Таблица 2g-2 (восходящее направление, 2488 Мбит/с)	

Все параметры определяются ниже и будут соответствовать таблице 2a (сеть ODN) и таблицам от 2b до 2g-2. В данной Рекомендации все эти таблицы сведены в одну таблицу 2. Для каждой комбинации скорости передачи битов в восходящем направлении, скорости передачи битов в нисходящем направлении и класса потерь в волоконно-оптическом тракте (класс А, В или С согласно определениям в Рекомендации МСЭ-Т G.982) существует отдельный тип блока ONU.

Все заданные значения параметров являются значениями для наихудшего случая в предположении, что они должны соответствовать диапазону стандартных рабочих условий (то есть диапазонам температур и влажности) с учетом эффектов старения. Параметры задаются относительно коэффициента ошибок по битам (BER) не хуже, чем  $1 \times 10^{-10}$  для предельного случая затухания в волоконно-оптическом тракте и режима дисперсии при проектировании волоконно-оптических участков.

В частности, значения, приведенные в таблицах от 2b до 2g-2 данной Рекомендации, действительны для случаев без полосы усиления, как описано в Рекомендации МСЭ-Т G.983.3. Для сетей GPON с применениями полосы усиления должен быть определен новый набор параметров вместе с требованиями по развязке между различными полосами длин волн. Это может быть описано в отдельной Рекомендации, имеющей такое же отношение к данной Рекомендации, как Рекомендация МСЭ-Т G.983.3 к Рекомендации МСЭ-Т G.983.1. Чтобы постепенно ввести в использование в будущем полосы усиления, длина оптической волны, описанная в данной Рекомендации для нисходящего направления передачи, согласуется с положениями Рекомендации МСЭ-Т G.983.3.

## 8.2.2 Физическая среда и метод передачи

### 8.2.2.1 Среда передачи

В данной Рекомендации используются характеристики оптического волокна, описанного в Рекомендации МСЭ-Т G.652.

### 8.2.2.2 Направление передачи

Сигнал через среду передачи передается в восходящем и нисходящем направлениях.

### 8.2.2.3 Принцип передачи

Двунаправленная передача осуществляется путем использования либо способа мультиплексирования с разделением по длинам волн (WDM) по одному оптическому волокну, либо путем однонаправленной передачи по двум оптическим волокнам (см. подраздел 8.2.5).

## 8.2.3 Скорость передачи битов

В данном подразделе рассматриваются требования к скоростям передачи битов для сети GPON.

### 8.2.3.1 Нисходящее направление передачи

Номинальная скорость передачи битов сигнала от окончания OLT к блоку ONU составляет 1244,16 Мбит/с или 2488,32 Мбит/с. Когда окончание OLT и оконечная станция находятся в нормальном рабочем состоянии, эта скорость может отслеживаться тактовым генератором уровня 1 (с точностью  $1 \times 10^{-11}$ ). Когда оконечная станция находится в режиме автономной работы, то скорость передачи сигнала в нисходящем направлении может отслеживаться тактовым генератором уровня 3 (с точностью  $4,6 \times 10^{-6}$ ). Когда окончание OLT находится в своем режиме автономной работы, тогда точность сигнала в нисходящем направлении передачи является точностью тактового генератора уровня 4 ( $3,2 \times 10^{-5}$ ).

### 8.2.3.2 Восходящее направление передачи

Номинальная скорость передачи битов сигнала от блока ONU к окончанию OLT составляет 155,52 Мбит/с, 622,08 Мбит/с, 1244,16 Мбит/с или 2488,32 Мбит/с. Когда блок ONU находится в одном из его рабочих состояний и если выдано разрешение, он будет передавать свой сигнал с точностью, равной точности принимаемого сигнала в нисходящем направлении передачи. Блок ONU не будет передавать никакой сигнал, когда он не находится в одном из своих рабочих состояний или когда не выдано разрешение.

## 8.2.4 Линейный код

При передаче в нисходящем и восходящем направлениях применяется кодирование без возвращения к нулю (NRZ). На уровне PMD метод скремблирования не определен.

Условия, применяемые для оптического логического уровня, состоят в следующем:

- для двоичной единицы используется низкий уровень светового излучения;
- для двоичного нуля используется высокий уровень светового излучения.

## 8.2.5 Рабочая длина волны

### 8.2.5.1 Нисходящее направление передачи

Рабочим диапазоном длин волн для нисходящего направления передачи в системах с одним оптическим волокном будет диапазон 1480–1500 нм.

Рабочим диапазоном длин волн для нисходящего направления передачи в системах с двумя оптическими волокнами будет диапазон 1260–1360 нм.

### 8.2.5.2 Восходящее направление

Рабочим диапазоном длин волн для восходящего направления передачи будет диапазон 1260–1360 нм.

## 8.2.6 Передатчик при интерфейсах $O_{ld}$ и $O_{ru}$

Все параметры заданы ниже и будут соответствовать таблице 2.

### 8.2.6.1 Тип источника

См. подраздел 8.2.6.1/G.983.1.

### 8.2.6.2 Спектральные характеристики

См. подраздел 8.2.6.2/G.983.2.

### 8.2.6.3 Средняя возбуждаемая мощность

Средняя возбуждаемая мощность в интерфейсах  $O_{ld}$  и  $O_{ru}$  – это средняя мощность псевдослучайной последовательности данных, объединенной в оптическом волокне с помощью передатчика. Она задается в виде диапазона, чтобы учесть определенную оптимизацию по стоимости и охватить все допуски для работы в стандартных рабочих условиях, ухудшение параметров коннектора передатчика, допуски при измерениях и эффект старения.

При рабочем состоянии меньшее число означает минимальную мощность, которая будет обеспечена, а большее число – это более высокая мощность, которая никогда не будет превышена.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Измерение возбуждаемой мощности в волоконно-оптическом интерфейсе  $O_{ru}$  будет учитывать неравномерный характер трафика в восходящем направлении передачи, передаваемого блоками ONU.

### 8.2.6.3.1 Возбуждаемая оптическая мощность без ввода в передатчик

В восходящем направлении передачи передатчик блока ONU не должен возбуждать мощность в оптическом волокне во всех интервалах, которые не присвоены этому блоку ONU. Однако допустим уровень оптической мощности, который равен или меньше возбуждаемой мощности без ввода в передатчик, заданный в таблицах от 2d до 2g-1. Блок ONU будет также отвечать этому условию в течение защитного времени интервалов, которые ему присвоены, за исключением последних битов включения передатчика, которые могут быть использованы для предварительного смещения лазера, и битов отключения передатчика, которые непосредственно следуют за присвоенной ячейкой, в течение которых выходная мощность падает до нуля.

Максимальный уровень возбуждаемой мощности, допустимый во время предварительного смещения лазера, является нулевым уровнем, соответствующим коэффициенту ослабления, заданному в таблицах от 2d до 2g-1.

### 8.2.6.4 Минимальный коэффициент ослабления

Условия, принимаемые для оптического логического уровня, состоят в следующем:

- для логической единицы используется высокий уровень светового излучения;
- для логического нуля используется низкий уровень светового излучения.

Коэффициент ослабления (EX) определяется следующим образом:

$$EX = 10 \log_{10} (A/B),$$

где A – это уровень средней оптической мощности в центре логической единицы (“1”), а B – уровень средней оптической мощности в центре логического нуля (“0”).

Коэффициент ослабления для сигнала пакетного режима в восходящем направлении передачи применяется к сигналу, начиная с первого бита преамбулы и кончая последним битом пакета включительно. Это не применяется к возможным процедурам, связанным с установкой мощности оптического излучения.

### 8.2.6.5 Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны передатчика

См. подраздел 8.2.6.5/G.983.1.

### 8.2.6.6 Маска глазковой диаграммы передатчика

См. подраздел 8.2.6.6/G.983.1.

#### 8.2.6.6.1 Передатчик окончания OLT

На рисунке 2 представлены параметры, определяющие маску глазковой диаграммы.

#### 8.2.6.6.2 Передатчик блока ONU

На рисунке 3 представлены параметры, определяющие маску глазковой диаграммы.

Маска глазковой диаграммы для сигнала пакетного режима в восходящем направлении передачи применяется к сигналу, начиная с первого бита преамбулы и кончая последним битом пакета включительно. Это не применяется к возможным процедурам, связанным с установлением оптической мощности.

### 8.2.6.7 Допуски на отраженную оптическую мощность

Описываемые показатели качества передатчика должны удовлетворяться в эталонной точке S при наличии уровня оптического отражения, описанного в таблице 2.

## 8.2.7 Волоконно-оптический тракт между интерфейсами O<sub>ld</sub>/O<sub>ru</sub> и O<sub>rd</sub>/O<sub>lu</sub>

### 8.2.7.1 Диапазон затухания

См. подраздел 8.2.7.1/G.983.1.

### **8.2.7.2 Минимальное затухание отражения оптического сигнала кабельного участка в точке R/S, включая все коннекторы**

См. подраздел 8.2.7.2/G.983.1.

### **8.2.7.3 Максимальная дискретная отражательная способность между точками S и R**

См. подраздел 8.2.7.3/G.983.1.

### **8.2.7.4 Дисперсия**

См. подраздел 8.2.7.4/G.983.1.

## **8.2.8 Приемник в интерфейсах $O_{rd}$ и $O_{lu}$**

Все параметры описаны ниже и будут соответствовать таблице 2.

### **8.2.8.1 Минимальная чувствительность**

См. подраздел 8.2.8.1/G.983.1.

### **8.2.8.2 Минимальная перегрузка**

См. подраздел 8.2.8.2/G.983.1.

### **8.2.8.3 Максимальные потери волоконно-оптического тракта**

Требуется, чтобы приемник допускал потери в волоконно-оптическом тракте, не превышающие 1 дБ, объясняемые суммарными ухудшениями из-за отражений, межсимвольной интерференцией, шумом деления моды и лазерным импульсом с линейной частотной модуляцией. В восходящем направлении передачи описываемые в таблице 2 типы лазеров демонстрируют потери в волоконно-оптическом тракте меньше, чем в 1 дБ на сети ODN. Как указано в примечании 5 таблиц 2e и 2f-1, возрастание потерь в волоконно-оптическом тракте восходящего направления передачи из-за дисперсии при скоростях передачи битов в 622 Мбит/с или выше является приемлемым при условии, что любое увеличение потерь в волоконно-оптическом тракте выше 1 дБ компенсируется возрастанием минимальной передаваемой мощности возбуждения или повышением минимальной чувствительности приемника.

### **8.2.8.4 Максимальная логическая дальность действия**

Максимальная логическая дальность действия определяется как максимальная длина, которая может быть достигнута для отдельной системы передачи независимо от наличия волоконно-оптических средств. Она измеряется в километрах и не ограничена параметрами, зависимыми от физической среды (PMD), а скорее уровнем конвергенции передачи (TC) и вопросами реализации.

### **8.2.8.6 Максимальная отражательная способность оборудования приемника, измеряемая на длине волны приемника**

См. подраздел 8.2.8.4/G.983.1.

### **8.2.8.7 Дифференциальные потери в волоконно-оптическом тракте**

См. подраздел 8.2.8.5/G.983.1.

### **8.2.8.8 Возможность выделения тактовой частоты**

См. подраздел 8.2.8.6/G.983.1.

### **8.2.8.9 Характеристики дрожания**

В данном разделе рассматриваются требования к дрожанию для волоконно-оптических интерфейсов в сети GPON.

### 8.2.8.9.1 Передача дрожания

Спецификация передачи дрожания относится только к блоку ONU.

Передаточная функция дрожания определяется следующим образом:

$$\text{передача дрожания} = 20 \log_{10} \left[ \frac{\text{UI дрожания сигнала в восходящем направлении}}{\text{UI дрожания сигнала в нисходящем направлении}} \times \frac{\text{скорость передачи битов в нисходящем направлении}}{\text{скорость передачи битов в восходящем направлении}} \right]$$

Передаточная функция дрожания для блока ONU будет подчиняться кривой, приведенной на рис. 4, когда вплоть до уровня маски на рисунке 5 вводится синусоидальное дрожание с параметрами, заданными этой кривой для каждой скорости передачи битов.

### 8.2.8.9.2 Допуски на дрожание

См. подраздел 8.2.8.7.2/G.983.1.

### 8.2.8.9.3 Образование дрожания

Спецификация образования дрожания относится только к блоку ONU.

Блок ONU не должен генерировать дрожание с удвоенной амплитудой более 0,2 UI при скоростях передачи битов 155,52 Мбит/с или 622,08 Мбит/с, и дрожание с удвоенной амплитудой не более 0,33 UI при скорости передачи битов 1244,16 Мбит/с при отсутствии дрожания на вводе сигнала в нисходящем направлении передачи с шириной полосы для измерений согласно таблицам от 2d до 2g-1.

Вопрос максимального дрожания с удвоенной амплитудой, допустимого при скорости 2488,32 Мбит/с, и соответствующего диапазона частот для измерений подлежит дальнейшему изучению.

### 8.2.8.10 Защищенность последовательных идентичных цифр (CID)

Как описано в ряде таблиц от 2b до 2g, окончание OLT и блок ONU будут обладать защищенностью цифр CID.

### 8.2.8.11 Допуски на отраженную мощность

См. подраздел 8.2.8.9/G.983.1.

### 8.2.8.12 Качество передачи и рабочие параметры при ошибках

См. подраздел 8.2.8.10/G.983.1.

**Таблица 2а/G.984.2 – Параметры зависящего от физической среды уровня сети ODN**

Параметры	Единица	Спецификация
Тип оптического волокна (примечание 1)	–	Рек. МСЭ-Т G.652
Диапазон затухания (Рек. МСЭ-Т G.982)	дБ	Класс А: 5–20 Класс В: 10–25 Класс С: 15–30
Дифференциальное затухание в волоконно-оптическом тракте	дБ	15
Максимальное ухудшение в волоконно-оптическом тракте	дБ	1 (см. примечание 5 в таблицах 2е и 2f-1)
Максимальная относительная дальность действия	км	60 (примечание 2)
Максимальная дифференциальная относительная дальность действия	км	20
Максимальное расстояние по оптическому волокну между точками S/R и R/S	км	20 (10 как вариант)
Минимальный поддерживаемый коэффициент деления	–	Ограничен потерями в тракте Сеть PON с пассивными делителями (деление на 16, 32 или 64)
Двунаправленная передача	–	По одному оптическому волокну с мультиплексированием WDM или по двум оптическим волокнам
Длина волны сопровождения	нм	подлежит определению
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для расширенной в будущем дальности действия (&gt; 20 км), вопрос использования различных типов оптического волокна подлежит дальнейшему изучению для PMD-спецификации в будущем.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Это максимальное расстояние с управлением со стороны верхних уровней системы (MAC, TC, выбор диапазона) ввиду будущей PMD-спецификации.</p>		

**Таблица 2b/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса нисходящего направления передачи со скоростью 1244 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
		А	В	С	А	В	С
<b>Передатчик в окончании OLT (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ld</sub>)</b>							
Номинальная скорость передачи битов	Мбит/с	1244,16			1244,16		
Рабочая длина волны	нм	1480–1500			1260–1360		
Линейный код	–	Скремблирование без возврата к нулю (NRZ)			Скремблирование без возврата к нулю (NRZ)		
Маска глазковой диаграммы передатчика	–	Рисунок 2			Рисунок 2		
Максимальная отражательная способность оборудования, измеренная на длине волны	дБ	Не применяется			Не применяется		
Минимальное затухание ORL сети ODN в интерфейсах O <sub>lu</sub> и O <sub>ld</sub> (примечания 1 и 2)	дБ	более 32			более 32		
Класс сети ODN		А	В	С	А	В	С
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	–4	+1	+5	–4	+1	+5
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	+1	+6	+9	+1	+6	+9
Возбуждаемая оптическая мощность без ввода в передатчик	дБм	Не применяется			Не применяется		
Коэффициент ослабления	дБ	более 10			более 10		
Допуски на мощность падающей световой волны передатчика	дБ	более –15			более –15		



**Таблица 2b/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса нисходящего направления передачи со скоростью 1244 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
Если лазер с модой MLM – максимальная среднеквадратическая ширина	нм	Не применяется			Не применяется		
Если лазер с модой SLM – максимальная ширина в –20 гВ (примечание 3)	нм	1			1		
Если лазер с модой SLM – минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30			30		
<b>Приемник блока ONU (волоконно-оптический интерфейс O<sub>rd</sub>)</b>							
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны передатчика	дБ	менее –20			менее –20		
Коэффициент ошибок по битам	–	менее 10 <sup>-10</sup>			менее 10 <sup>-10</sup>		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимальная чувствительность	дБм	–25	–25	–26	–25	–25	–25
Минимальная перегрузка	дБм	–4	–4	–4 (примечание 4)	–4	–4	–4
Защищенность последовательных идентичных цифр	бит	более 72			более 72		
Допуски на дрожание	–	Рисунок 5			Рисунок 5		
Допуски на отраженную оптическую мощность	дБ	менее 10			менее 10		
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках O<sub>ru</sub>, O<sub>rd</sub>, O<sub>lu</sub> и O<sub>ld</sub>” должно быть более 20 дБ в факультативных случаях, которые описаны в Добавлении I/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения по отражательной способности передатчика блока ONU для случая, когда значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках O<sub>ru</sub>, O<sub>rd</sub>, O<sub>lu</sub> и O<sub>ld</sub>” составляет 20 дБ, описаны в Добавлении II/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Значения максимальной ширины в –20 дБ и минимального коэффициента подавления боковой моды содержатся в Рекомендации МСЭ-Т G.957.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В то время как для поддержки сети ODN класса C требуется перегрузка в –6 дБм, здесь выбрано значение перегрузки –4 дБм в целях единообразия приемников блоков ONU при всех классах сети ODN.</p>							

**Таблица 2c/G.984.2 – Параметры волоконно-оптических интерфейсов в нисходящем направлении передачи со скоростью 2488 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
<b>Передатчик в окончании OLT (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ld</sub>)</b>							
Номинальная скорость передачи битов	Мбит/с	2488,32			2488,32		
Рабочая длина волны	нм	1480–1500			1260–1360		
Линейный код	–	Скремблирование без возврата к нулю (NRZ)			Скремблирование без возврата к нулю (NRZ)		
Маска глазковой диаграммы передатчика	–	Рисунок 2			Рисунок 2		
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны передатчика	дБ	Не применяется			Не применяется		
Минимальное затухание ORL сети ODN в интерфейсах O <sub>lu</sub> и O <sub>ld</sub> (примечания 1 и 2)	дБ	более 32			более 32		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	0	+5	+3 (примечание 4)	0	+5	+3 (примечание 4)

**Таблица 2с/G.984.2 – Параметры волоконно-оптических интерфейсов в нисходящем направлении передачи со скоростью 2488 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
		+4	+9	+7 (примечание 4)	+4	+9	+7 (примечание 4)
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	+4	+9	+7 (примечание 4)	+4	+9	+7 (примечание 4)
Возбуждаемая оптическая мощность без ввода в передатчик	дБм	Не применяется			Не применяется		
Коэффициент ослабления	дБ	более 10			более 10		
Допуски на мощность падающей световой волны передатчика	дБ	более –15			более –15		
Если лазер с модой MLM – максимальная среднеквадратичная ширина	нм	Не применяется			Не применяется		
Если лазер с модой SLM – максимальная ширина в –20 дБ (примечание 2)	нм	1			1		
Если лазер с модой SLM – минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30			30		
<b>Приемник блока ONU (волоконно-оптический интерфейс O<sub>rd</sub>)</b>							
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны приемника	дБ	менее –20			менее –20		
Коэффициент ошибок по битам	–	менее 10 <sup>-10</sup>			менее 10 <sup>-10</sup>		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимальная чувствительность	дБм	–21	–21	–28 (примечание 4)	–21	–21	–28 (примечание 4)
Минимальная перегрузка	дБм	–1	–1	–8 (примечание 4)	–1	–1	–8 (примечание 4)
Защищенность последовательных идентичных цифр	бит	более 72			более 72		
Допуски на дрожание	–	Рисунок 5			Рисунок 5		
Допуски на отраженную оптическую мощность	дБ	менее 10			менее 10		
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках O<sub>ru</sub>, O<sub>rd</sub>, O<sub>lu</sub> и O<sub>ld</sub>” должно быть больше 20 дБ в факультативных случаях, описанных в Добавлении I/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения по отражательной способности передатчика блока ONU для случая, когда значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках O<sub>ru</sub>, O<sub>rd</sub>, O<sub>lu</sub> и O<sub>ld</sub>” составляет 20 дБ, описаны в Добавлении II/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Значения максимальной ширины в –20 дБ и минимальный коэффициент подавления боковой моды содержатся в Рекомендации МСЭ-Т G.957.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Предполагается, что для этих значений используется высокоомощный лазер DFB для передатчика в окончании OLT и приемник с фотодиодом APD для блока ONU. Принимая во внимание будущие разработки техники усилителей SOA, в будущей альтернативной реализации передатчика в окончании OLT могут быть использованы лазер DFB + усилитель SOA или лазерный диод более высокой мощности, что позволит реализовать для блока ONU приемник на базе фотодиода PIN. Тогда предполагаемыми значениями будут (обусловленными правилами и техникой безопасности при наблюдении):  Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности для передатчика в окончании OLT: +12 дБм  Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности для передатчика в окончании OLT: +8 дБм  Минимальная чувствительность приемника блока ONU: –23 дБм  Минимальная перегрузка приемника блока ONU: –3 дБм</p>							

**Таблица 2d/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 155 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
<b>Передатчик блока ONU (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ru</sub>)</b>							
Номинальная скорость передачи битов	Мбит/с	155,52			155,52		
Рабочая длина волны	нм	1260–1360			1260–1360		
Линейный код	–	Скремблирование без возвращения к нулю (NRZ)			Скремблирование без возвращения к нулю (NRZ)		
Маска глазковой диаграммы передатчика	–	Рисунок 3			Рисунок 3		
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны передатчика	дБ	менее –6			менее –6		
Минимальное затухание ORL сети ODN в точках O <sub>ru</sub> и O <sub>rd</sub> (примечания 1 и 2)	дБ	более 32			более 32		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	–6	–4	–2	–6	–4	–2
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	–0	+2	+4	–1	+1	+3
Возбуждаемая оптическая мощность без ввода в передатчик	дБм	менее минимальной чувствительности –10			менее минимальной чувствительности –10		
Максимальное число битов включения передатчика (примечание 3)	биты	2			2		
Максимальное число битов отключения передатчика (примечание 3)	биты	2			2		
Коэффициент ослабления	дБ	более 10			более 10		
Допуски на мощность падающей световой волны передатчика	дБ	более –15			более –15		
Если лазер с модой MLM – максимальная среднеквадратическая ширина	нм	5,8			5,8		
Если лазер с модой SLM – максимальная ширина в –20 дБ (примечание 4)	нм	1			1		
Если лазер с модой SLM – минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30			30		
Передача дрожания	–	Рисунок 4			Рисунок 4		
Образование дрожания от 0,5 кГц до 1,3 МГц	UI при удвоенной амплитуде	0,2			0,2		
<b>Приемник в окончании OLT (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ru</sub>)</b>							
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны приемника	дБ	менее –20			менее –20		
Коэффициент ошибок по битам	–	менее 10 <sup>–10</sup>			менее 10 <sup>–10</sup>		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимальная чувствительность	дБм	–27	–30	–33	–27	–30	–33
Минимальная перегрузка	дБм	–5	–8	–11	–6	–9	–12

**Таблица 2d/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 155 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно	Двойное оптическое волокно
Защищенность последовательных идентичных цифр	бит	более 72	более 72
Допуски на дрожание	–	Не применяется	Не применяется
Допуски на отраженную оптическую мощность	дБ	менее 10	менее 10
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках <math>O_{ru}</math>, <math>O_{rd}</math>, <math>O_{lu}</math> и <math>O_{ld}</math>” должно быть более 20 дБ в факультативных случаях, которые описаны в Добавлении I/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения отражательной способности передатчика блока ONU для случая, когда значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках <math>O_{ru}</math>, <math>O_{rd}</math>, <math>O_{lu}</math> и <math>O_{ld}</math>” составляет 20 дБ, описаны в Добавлении II/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Согласно определениям в подразделе 8.2.6.3.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Значения максимальной ширины в –20 дБ и минимального коэффициента подавления боковой моды содержатся в Рекомендации МСЭ-Т G.957.</p>			

**Таблица 2e/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 622 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
<b>Передатчик блока ONU (волоконно-оптический интерфейс <math>O_{ru}</math>)</b>							
Номинальная скорость передачи битов	Мбит/с	622,08			622,08		
Рабочая длина волны (примечание 5)	нм	Тип 1 MLM или SLM: 1260~1360 Тип 2 MLM: 1280~1350 Тип 3 MLM: 1288~1338			Тип 1 MLM или SLM: 1260~1360 Тип 2 MLM: 1280~1350 Тип 3 MLM: 1288~1338		
Линейный код	–	Скремблирование без возврата к нулю (NRZ)			Скремблирование без возврата к нулю (NRZ)		
Маска глазковой диаграммы передатчика	–	Рисунок 3			Рисунок 3		
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны передатчика	дБ	менее –6			менее –6		
Минимальное затухание ORL сети ODN в интерфейсах $O_{ru}$ и $O_{rd}$ (примечания 1 и 2)	дБ	более 32			более 32		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	–6	–1	–1	–6	–1	–1
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	–1	+4	+4	–1	+4	+4
Возбуждаемая оптическая мощность без ввода в передатчик	дБм	менее минимальной чувствительности –10			менее минимальной чувствительности –10		
Максимальное число битов включения передатчика (примечание 3)	биты	8			8		
Максимальное число битов отключения передатчика (примечание 3)	биты	8			8		
Коэффициент ослабления	дБ	более 10			более 10		
Допуски на мощность падающей световой волны передатчика	дБ	более –15			более –15		
Лазер с модой MLM – максимальная среднеквадратическая ширина (примечание 5)	нм	Тип 1 MLM: 1,4 Тип 2 MLM: 2,1 Тип 3 MLM: 2,7			Тип 1 MLM: 1,4 Тип 2 MLM: 2,1 Тип 3 MLM: 2,7		

**Таблица 2е/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 622 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
		А	В	С	А	В	С
Лазер с модой SLM – максимальная ширина в –20 дБ (Примечание 4)	нм	1			1		
Если лазер с модой SLM – минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30			30		
Передача дрожания	–	Рисунок 4			Рисунок 4		
Получение дрожания от 2,0 кГц до 5,0 МГц	UI с удвоенной амплитудой	0,2			0,2		
<b>Приемник в окончании OLT (волоконно-оптический интерфейс O<sub>lu</sub>)</b>							
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны приемника	дБ	менее –20			менее –20		
Коэффициент ошибок по битам	–	менее 10 <sup>-10</sup>			менее 10 <sup>-10</sup>		
Класс сети ODN		А	В	С	А	В	С
Минимальная чувствительность	дБм	–27	–27	–32	–27	–27	–32
Минимальная перегрузка	дБм	–6	–6	–11	–6	–6	–11
Защищенность последовательных идентичных цифр	бит	более 72			более 72		
Допуски на дрожание	–	Не применяется			Не применяется		
Допуски на отраженную оптическую мощность	дБ	менее 10			менее 10		
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках O<sub>ru</sub>, O<sub>rd</sub>, O<sub>lu</sub> и O<sub>ld</sub>” должно быть более 20 дБ в факультативных случаях, которые описаны в Добавлении I/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения отражательной способности блока ONU для случая, когда значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках O<sub>ru</sub>, O<sub>rd</sub>, O<sub>lu</sub> и O<sub>ld</sub>” составляет 20 дБ, описаны в Добавлении II/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Согласно определениям в подразделе 8.2.6.3.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Значения максимальной ширины в –20 дБ и минимального коэффициента подавления боковой моды содержатся в Рекомендации МСЭ-Т G.957.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Для типов передатчиков, отвечающих спецификациям более узкой ширины спектра, допустимы более широкие диапазоны центральных длин волн. Заданные типы лазеров вырабатывают затухание в волоконно-оптическом тракте в сети ODN менее 1 дБ. Лазеры с разными оптическими параметрами могут быть заменены при условии, что: 1) суммарный диапазон длин волн не превышает 1260~1360 нм и 2) любое увеличение затухания в волоконно-оптическом тракте выше 1 дБ компенсируется возрастанием минимальной передаваемой мощности возбуждения или увеличением минимальной чувствительности приемника.</p>							

**Таблица 2f-1/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 1244 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
<b>Передатчик блока ONU (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ru</sub>)</b>							
Номинальная скорость передачи битов	Мбит/с	1244,16			1244,16		
Рабочая длина волны	нм	1260–1360			1260–1360		
Линейный код	–	Скремблирование без возврата к нулю (NRZ)			Скремблирование без возврата к нулю (NRZ)		
Маска глазковой диаграммы передатчика	–	Рисунок 3			Рисунок 3		
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны передатчика	дБ	менее –6			менее –6		
Минимальное затухание ORL сети ODN в интерфейсах O <sub>ru</sub> и O <sub>rd</sub> (примечания 1 и 2)	дБ	более 32			более 32		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	–3 (примечание 5)	–2	+2	–3 (примечание 5)	–2	+2
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	+2 (примечание 5)	+3	+7	+2 (примечание 5)	+3	+7
Возбуждаемая оптическая мощность без ввода в передатчик	дБм	менее минимальной чувствительности –10			менее минимальной чувствительности –10		
Максимальное число битов включения передатчика (примечание 3)	биты	16			16		
Максимальное число битов отключения передатчика (примечание 3)	биты	16			16		
Коэффициент ослабления	дБ	более 10			более 10		
Допуски на мощность падающей световой волны передатчика	дБ	более –15			более –15		
Лазер с модой MLM – максимальная среднеквадратическая ширина	нм	(примечание 5)			(примечание 5)		
Лазер с модой SLM – максимальная ширина в –20 дБ (примечание 4)	нм	1			1		
Если лазер с модой SLM – минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	30			30		
Передача дрожания	–	Рисунок 4			Рисунок 4		
Образование дрожания от 4,0 кГц до 10,0 МГц	UI с двойной амплитудой	0,33			0,33		
<b>Приемник в окончании OLT (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ru</sub>)</b>							
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны приемника	дБ	менее –20			менее –20		
Коэффициент ошибок по битам	–	менее 10 <sup>–10</sup>			менее 10 <sup>–10</sup>		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимальная чувствительность	дБм	–24 (примечание 6)	–28	–29	–24 (примечание 6)	–28	–29
Минимальная перегрузка	дБм	–3 (примечание 6)	–7	–8	–3 (примечание 6)	–7	–8

**Таблица 2f-1/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 1244 Мбит/с**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно	Двойное оптическое волокно
Защищенность последовательных идентичных цифр	Бит	более 72	более 72
Допуски на дрожание	–	Не применяется	Не применяется
Допуски на отраженную оптическую мощность	дБ	менее 10	менее 10
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках <math>O_{ru}</math>, <math>O_{rd}</math>, <math>O_{lu}</math> и <math>O_{ld}</math>” должно быть более 20 дБ в факультативных случаях, описанных в Добавлении I/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения отражательной способности передатчика блока ONU для случая, когда значение “минимального затухания ORL сети ODN в точках <math>O_{ru}</math>, <math>O_{rd}</math>, <math>O_{lu}</math> и <math>O_{ld}</math>” составляет 20 дБ, описаны в Добавлении II/G.983.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Согласно определениям в подразделе 8.2.6.3.1.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Значения максимальной ширины в –20 дБ и минимального коэффициента подавления боковой моды содержатся в Рекомендации МСЭ-Т G.957.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Хотя типы лазеров с модой MLM не применяются для поддержки полного расстояния по оптическому волокну в сети ODN, как указано в таблице 2а, такие лазеры могут быть использованы, если расстояние по оптическому волокну в сети ODN между точками R/S и S/R ограничивается расстоянием в 10 км. Эти типы лазеров с модой MLM согласно таблице 2е могут быть использованы для поддержки такого ограниченного расстояния по оптическому волокну при скорости передачи 1244,16 Мбит/с. Эти типы лазеров подчиняются тем же условиям, на которые указано с Примечании 5 таблицы 2 е.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Предполагается, что для этих значений используется приемник на базе фотодиода PIN в окончании OLT для класса А. В зависимости от количества блоков ONU, подключенных к окончанию OLT, возможна альтернативная с точки зрения стоимости реализация приемника с фотодиодом APD в окончании OLT, что позволяет использовать в блоках ONU более экономичные лазеры с более низкой мощностью излучения по двойному оптическому волокну. В этом случае значениями для класса А будут:</p> <p>Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности передатчика в блоке ONU: –7 дБм</p> <p>Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности передатчика в блоке ONU: –2 дБм</p> <p>Минимальная чувствительность приемника в окончании OLT: –28 дБм</p> <p>Минимальная перегрузка приемника в окончании OLT: –7 дБм</p>			

**Таблица 2f-2/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 1244 Мбит/с при использовании в передатчике блока ONU механизма выравнивания по мощности**

Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
<b>Передатчик блока ONU (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ru</sub>)</b>							
Класс сети ODN		А	В	С	А	В	С
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	-2 (примечание 2)	-2	+2	-2 (примечание 2)	-2	+2
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	+3 (примечание 2)	+3	+7	+3 (примечание 2)	+3	+7
<b>Приемник в окончании OLT (волоконно-оптический интерфейс O<sub>lu</sub>)</b>							
Класс сети ODN		А	В	С	А	В	С
Минимальная чувствительность	дБм	-23 (примечание 2)	-28	-29	-23 (примечание 2)	-28	-29
Минимальная перегрузка	дБм	-8 (примечание 2)	-13	-14	-8 (примечание 2)	-13	-14

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Данная таблица указывает только на параметры таблицы 2f-1, которые изменяются из-за применения механизма выравнивания по мощности в передатчике блока ONU, а именно на возбуждаемые мощности передатчика блока ONU и чувствительность и перегрузку приемника в окончании OLT. Все прочие параметры и примечания идентичны параметрам и примечаниям в таблице 2f-1.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Предполагается, что для этих значений используется приемник на базе фотодиода PIN в окончании OLT для класса А. В зависимости от количества блоков ONU, подключенных к окончании OLT, возможна альтернативная с точки зрения стоимости реализация приемника с фотодиодом APD в окончании OLT, что позволяет использовать в блоках ONU более экономичные лазеры с более низкой мощностью излучения по двойному оптическому волокну. В этом случае значениями для класса А будут:

Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности передатчика в блоке ONU: -7 дБм

Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности передатчика в блоке ONU: -2 дБм

Минимальная чувствительность приемника в окончании OLT: -28 дБм

Минимальная перегрузка приемника в окончании OLT: -10 дБм

Влияние выравнивания по мощности будет незначительным из-за ограничения, налагаемого на минимальную мощность, излучаемую для обеспечения глазковой диаграммы.

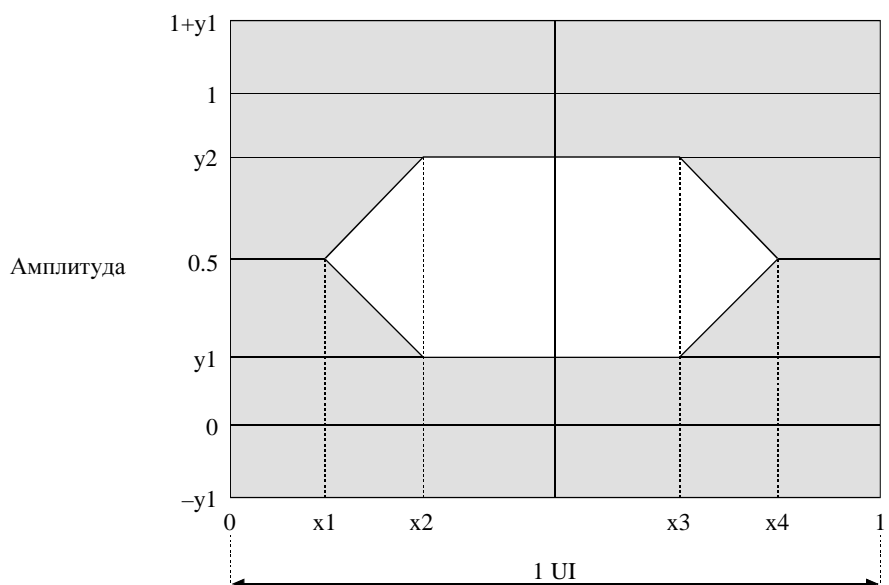


**Таблица 2g-1/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 2488 Мбит/с**

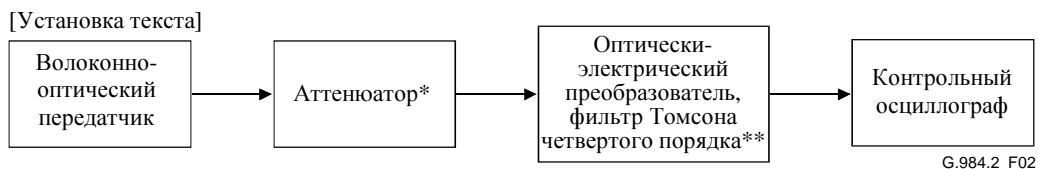
Параметры	Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
<b>Передатчик блока ONU (волоконно-оптический интерфейс O<sub>tu</sub>)</b>							
Номинальная скорость передачи битов	Мбит/с	2488,32			2488,32		
Рабочая длина волны	нм	1260–1360			1260–1360		
Линейный код	–	Скремблирование без возвращения к нулю (NRZ)			Скремблирование без возвращения к нулю (NRZ)		
Маска глазковой диаграммы передатчика	–	Рисунок 3			Рисунок 3		
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны передатчика	дБ	FFS			FFS		
Минимальное затухание ORL сети ODN в интерфейсах O <sub>tu</sub> и O <sub>td</sub>	дБ	FFS			FFS		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Возбуждаемая оптическая мощность без ввода в передатчик	дБм	FFS			FFS		
Максимальное число битов включения передатчика (примечание 2)	биты	32			32		
Максимальное число битов отключения передатчика (примечание 2)	биты	32			32		
Коэффициент ослабления	дБ	FFS			FFS		
Допуски на мощность падающей световой волны передатчика	дБ	FFS			FFS		
Если лазер с модой MLM – максимальная среднеквадратическая ширина	нм	FFS			FFS		
Если лазер с модой SLM – максимальная ширина в –20 дБ	нм	FFS			FFS		
Если лазер с модой SLM – минимальный коэффициент подавления боковой моды	дБ	FFS			FFS		
Передача дрожания	–	Рисунок 4			Рисунок 4		
Образование дрожания (диапазон частот измерений подлежит дальнейшему изучению)	UI с удвоенной амплитудой	FFS			FFS		
<b>Приемник в окончании OLT (волоконно-оптический интерфейс O<sub>tu</sub>)</b>							
Максимальная отражательная способность оборудования, измеряемая на длине волны приемника	дБ	FFS			FFS		
Коэффициент ошибок по битам	–	FFS			FFS		
Класс сети ODN		A	B	C	A	B	C
Минимальная чувствительность	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальная перегрузка	дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Защищенность последовательных идентичных цифр	Бит	FFS			FFS		
Допуски на дрожание	–	FFS			FFS		
Допуски на отраженную оптическую мощность	дБ	FFS			FFS		
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Здесь FFS означает “подлежит дальнейшему изучению”.							
ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Согласно определениям в подразделе 8.2.6.3.1.							

**Таблица 2g-2/G.984.2 – Параметры волоконно-оптического интерфейса в восходящем направлении передачи со скоростью 2488 Мбит/с при использовании в передатчике блока ONU механизма выравнивания по мощности**

Параметры		Единица	Одно оптическое волокно			Двойное оптическое волокно		
<b>Передатчик блока ONU (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ги</sub>)</b>								
Класс сети ODN			A	B	C	A	B	C
Минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности		дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности		дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
<b>Приемник в окончании OLT (волоконно-оптический интерфейс O<sub>ли</sub>)</b>								
Класс сети ODN			A	B	C	A	B	C
Минимальная чувствительность		дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Минимальная перегрузка		дБм	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
<p>ПРИМЕЧАНИЕ. – Эта таблица только указывает на параметры из таблицы 2g-1, которые меняются из-за применения в передатчике блока ONU механизма выравнивания по мощности, а именно возбуждаемых мощностей передатчика блока ONU и чувствительности и перегрузки приемника в окончании OLT. Все прочие параметры и примечания идентичны параметрам и примечаниям в таблице 2g-1. Здесь FFS означает “подлежит дальнейшему изучению”.</p>								



	1244,16 Мбит/с	2488,32 Мбит/с
x1/x4	0,28/0,72	---
x2/x3	0,40/0,60	---
x3 - x2	---	0,2
y1/y2	0,20/0,80	0,25/0,75

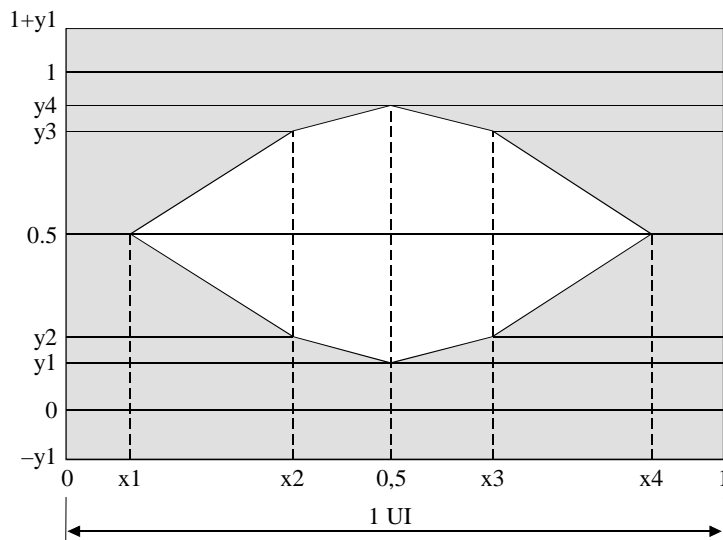


\* Аттенюатор используется по необходимости.

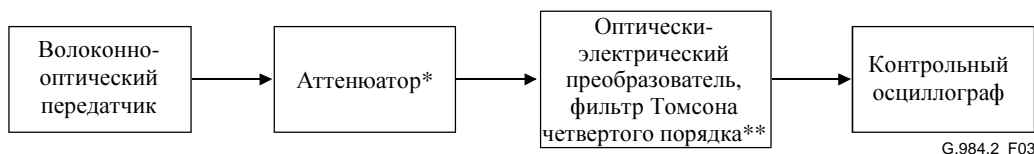
\*\* Частота среза (частота затухания в 3 дБ) фильтра составляет 0,75 от выходной номинальной скорости передачи битов.

ПРИМЕЧАНИЕ. – В случае скорости передачи битов 2488,32 Мбит/с оси x2 и x3 прямоугольной части маски глазковой диаграммы должны быть равноотстоящими относительно вертикальных осей при OUI и 1 UI. Вопрос степени такого отклонения подлежит дальнейшему изучению.

**Рисунок 2/G.984.2 – Маска глазковой диаграммы для сигнала передачи в нисходящем направлении**



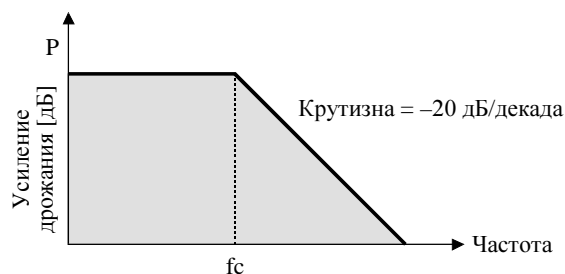
	155,52 Мбит/с	622,08 Мбит/с	1244,16 Мбит/с	2488,32 Мбит/с
x1/x4	0,10/0,90	0,20/0,80	0,22/0,78	Подлежит дальнейшему изучению
x2/x3	0,35/0,65	0,40/0,60	0,40/0,60	Подлежит дальнейшему изучению
y1/y4	0,13/0,87	0,15/0,85	0,17/0,83	Подлежит дальнейшему изучению
y2/y3	0,20/0,80	0,20/0,80	0,20/0,80	Подлежит дальнейшему изучению



\* Атенюатор используется по необходимости.

\*\* Частота среза (частота затухания в 3 дБ) фильтра составляет 0,75 от выходной номинальной скорости передачи битов.

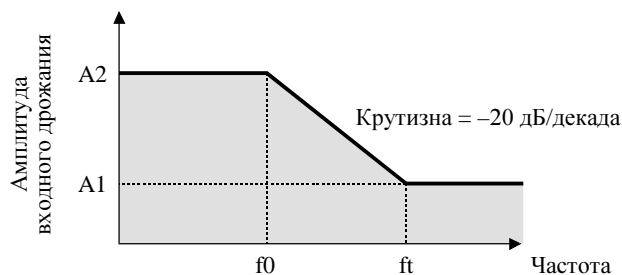
**Рисунок 3/G.984.2 – Маска глазковой диаграммы для сигнала передачи в восходящем направлении**



Скорость передачи битов в нисходящем направлении (Мбит/с)	fc [кГц]	P [дБ]
1244,16	1000	0,1
2488,32	2000	0,1

G.984.2\_F04

**Рисунок 4/G.984.2 – Передача дрожания для блока ONU**



Скорость передачи битов в нисходящем направлении (Мбит/с)	ft (кГц)	f0 (кГц)	A1 [UI при удвоенной амплитуде]	A2 [UI при удвоенной амплитуде]
1244,16	500	50	0,075	0,75
2488,32	1000	100	0,075	0,75

G.984.2\_F05

Рисунок 5/G.984.2 – Маска допусков на дрожание для блока ONU

### 8.3 Взаимодействие между PMD-уровнем сети GPON и уровнем конвергенции передачи (TC)

Согласно сказанному ранее в данной Рекомендации описываются характеристики зависящего от физической среды (PMD) уровня волоконно-оптической сети доступа (OAN) с возможностью транспортировки разных услуг между интерфейсом пользователь–сеть и интерфейсом узла услуг. Однако ряд функциональных возможностей сети GPON принадлежит как PMD-уровню, так и уровню конвергенции передачи (TC), либо влияют на эти уровни. В следующих ниже подразделах описываются эти функциональные возможности и дается объяснение связи между PMD-уровнем сети GPON и уровнем конвергенции передачи (TC). Последний точно определен в отдельной Рекомендации МСЭ-Т.

#### 8.3.1 Упреждающая коррекция ошибок

В системах с упреждающей коррекцией ошибок (FEC) смогут поддерживаться диапазоны затуханий в сети ODN, приведенные в таблице 2а, с более низкими рабочими характеристиками передатчиков и приемников, чем те, на которые указано в таблицах от 2b до 2g-2.

Коэффициент эффективного оптического усиления  $G$  в системах, где используется коррекция ошибок FEC, определяется как разность мощности оптического излучения ( $P_{opt}$ ) с коррекцией FEC и мощности оптического излучения без коррекции FEC для коэффициента BER =  $1 \times 10^{-10}$ .

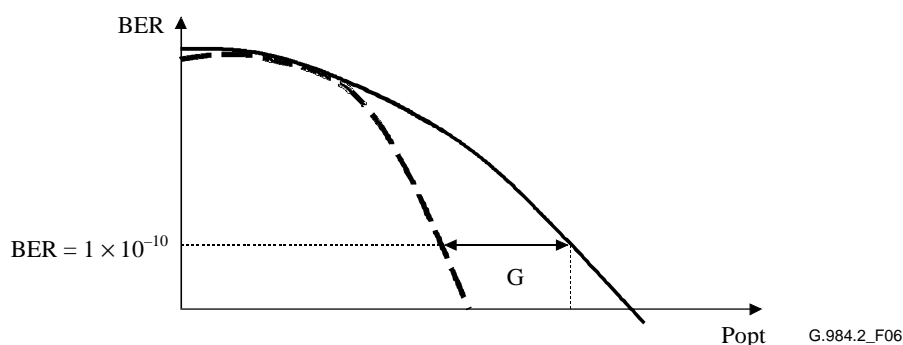


Рисунок 6/G.984.2 – Коэффициент эффективного оптического усиления  $G$ , полученный при упреждающей коррекции ошибок (FEC)

В системах, использующих коррекцию ошибок FEC с коэффициентом эффективного оптического усиления  $G$ , выраженным в дБ, могут быть приняты любая из двух следующих рабочих характеристик из таблицы 2 с изменениями (но не обе в целях способствования взаимодействию):

- i) Минимальная и максимальная мощность передатчика может быть снижена с помощью коэффициента  $G$ ; или
- ii) Минимальная чувствительность приемника может быть уменьшена с помощью коэффициента  $G$ .

И наоборот, при сохранении тех же рабочих характеристик передатчиков и приемников, которые представлены в таблицах от 2b до 2g-2, коэффициент эффективного оптического усиления G может быть использован для достижения большей физической дальности действия или большего коэффициента деления при использовании в блоке ONU лазера с модой MLM. В этом случае упреждающая коррекция ошибок (FEC) используется для уменьшения ухудшений, вызванных шумом при распределении мод (MPN).

Таким образом, коррекция ошибок FEC реализуется на уровне конвергенции передачи (ТС) и в данной Рекомендации не описывается.

Применение коррекции ошибок FEC не вызывает изменений в точном определении перегрузки приемника.

### 8.3.2 Механизм выравнивания по мощности в передатчике блока ONU

Требования к приемнику в окончании OLT диктуют использование реализаций приемника на базе фотодиода APD со скоростями передачи 1244,16 Мбит/с и выше. Такие приемники должны обеспечивать как высокую чувствительность, так и большой динамический диапазон для приема в пакетном режиме на высоких скоростях передачи битов. Это приводит к компромиссу требований к коэффициенту усиления M приемника на базе фотодиода APD, которые не оказывают непосредственного влияния, в частности на сеть GPON, поддерживающую расширенную полосу спектра, где требования становятся все более жесткими из-за потерь и изменений в потерях дополнительных компонент мультиплексирования WDM.

Чтобы уменьшить динамический диапазон приемника в окончании OLT, уровень мощности передатчика блоков ONU, испытывающих низкие потери в сети ODN, должен быть уменьшен, чтобы избежать перегрузки приемника в окончании OLT. По этой причине должен быть реализован удобный механизм выравнивания по мощности.

Механизм выравнивания по мощности требует функциональных возможностей уровня ТС, таких как возможность блока ONU увеличить/уменьшить мощность передачи на основе сообщений в нисходящем направлении передачи, посылаемых от окончания OLT. Такие функциональные возможности, а также возможность выполнения выравнивания по мощности во время инициализации, а также во время работы в данной Рекомендации не описываются.

Ниже описываются требования на PMD-уровне, позволяющие иметь для систем GPON удобный механизм выравнивания по мощности. В Добавлении II описаны предпосылки для таких требований.

- a) Выходная мощность блока ONU может соответствовать трем режимам. PMD-уровню локальным образом задается работа в любом режиме. При таком управляющем вводе PMD-уровень будет выполнять все действия, необходимые для достижения выходной мощности, лежащей в заданном ниже диапазоне:

Режим 0: Нормальная мощность (минимум (MIN)/максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности согласно таблицам 2f-2 и 2g-2);

Режим 1: Низкая мощность 1–3 дБ;

Режим 2: Низкая мощность 2–6 дБ.

- b) В окончании OLT измеряется средняя мощность оптического излучения, P, для каждого пакета блока ONU. В окончании OLT эти результаты измерений сравниваются с одним или двумя пороговыми значениями (TL – низкий порог и TH – высокий порог) и выдается одна из трех индикаций, а именно:

$P > TH$ : индикация power\_high (мощность\_высокая);

$P < TL$ : индикация power\_low (мощность\_низкая);

$TL < P < TH$ : индикация power\_ok (мощность\_нормальная).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Пороговое значение TL является необходимым требованием (работа с одним пороговым значением), а пороговое значение TH является факультативным требованием (работа с двумя пороговыми значениями).

Диапазон неопределенности при сравнении с пороговыми значениями должен быть равным максимум 4 дБ.

- c) С учетом значений мощности оптического излучения, соответствующей минимальной чувствительности  $P_{ms}$  и минимальной перегрузке  $P_{mo}$  приемника в окончании OLT, приведенных в таблицах 2f-2 и 2g-2, значения TH и TL должны удовлетворять следующим условиям:

Работа с двумя пороговыми значениями:

R1:  $P_{mo} > TH > (P_{mo} - 4 \text{ дБ})$

R2:  $(P_{ms} + 5 \text{ дБ}) > TL > (P_{ms} + 1 \text{ дБ})$

R3:  $TH - TL > 8 \text{ дБ}$ .

Работа с одним пороговым значением:

$$R2: (P_{ms} + 7 \text{ дБ}) > TL > (P_{ms} + 1 \text{ дБ}).$$

- d) Приемник в окончании OLT должен быть способным измерять мощность пакета (но без надежного считывания данных) при чувствительности в  $-5$  дБ (см. таблицы 2f-2 и 2g-2).

Преимущества механизма выравнивания по мощности состоит в следующем:

- Требования по уменьшению динамического диапазона приемника в окончании OLT, поскольку блок ONU при низких потерях в сети ODN будет установлен на низкую мощность передатчика.
- Возрастание срока службы лазера и снижение потребления мощности, когда блок ONU работает в режиме низкой мощности.

Механизм выравнивания по мощности позволяет снизить требования к приемнику в окончании OLT, как показано в таблицах 2f-2 и 2g-2.

### 8.3.3 Дополнение физического уровня в восходящем направлении передачи

Кадровая структура сети GPON описана в различных Рекомендациях МСЭ-Т, посвященных спецификации уровня ТС. Однако пакеты при передаче в восходящем направлении должны предваряться соответствующим дополнением физического уровня, которое используется для адаптации нескольких физических процессов в сети GPON. В таблице 3 показана длина дополнения физического уровня для всех скоростей передачи битов в восходящем направлении, описанных в данной Рекомендации.

**Таблица 3/G.984.2 – Дополнение физического уровня при передаче в восходящем направлении в сети GPON**

Скорость передачи битов в восходящем направлении	Байты дополнения
155,52 Мбит/с	4
622,08 Мбит/с	8
1244,16 Мбит/с	12
2488,32 Мбит/с	24

Кроме того, в Добавлении I предоставляется информация о физических процессах, которые должны выполняться в течение времени дополнения физического уровня ( $T_{p10}$ ), и ряд руководящих принципов по оптимальному использованию такого времени.

## Добавление I

### Распределение времени дополнения физического уровня

Время дополнения физического уровня ( $T_{p10}$ ) используется для адаптации пяти физических процессов в сети PON. Этими процессами являются время включения/выключения лазера, допуски на дрейф синхронизации, восстановление уровня, восстановление тактовой синхронизации и определение границ начала пакета. Точное деление времени физического уровня по всем этим функциям определяется частично ограничивающими неравенствами, частично выбором реализаций. В данном добавлении рассматриваются ограничения, которым должно соответствовать окончание OLT, и предлагаются дискретные значения.

Как видно из таблицы I.2, конкретные значения для  $T_{on}$  (время включения лазера),  $T_{off}$  (время выключения лазера) и  $T_{p10}$  задаются при разных скоростях передачи битов. Время  $T_{p10}$  может быть разделено на три интервала относительно того, какая требуется комбинация данных в окончании ONT. В целях простоты эти времена можно назвать защитным временем ( $T_g$ ), временем преамбулы ( $T_p$ ) и временем разграничителя ( $T_d$ ). В течение времени  $T_g$  окончание ONT будет передавать мощность не выше номинального нулевого уровня. В течение времени  $T_p$  окончание ONT будет передавать комбинацию данных преамбулы, которая обеспечивает максимальную плотность переходов для функций быстрого восстановления уровня и тактовой синхронизации. И последнее, в течение времени

Тd окончание ONT будет передавать специальную комбинацию данных с оптимальными свойствами автокорреляции, которые позволяют окончанию OLT отыскивать начало пакета.

Дополнительным параметром управляющей логики в сети PON является суммарное время неопределенности синхронизации при двойной амплитуде (Tu). Такая неопределенность вызвана колебаниями времени распространения, которые зависят от колебаний характеристик оптического волокна и компонент в зависимости от температурных и других факторов внешней среды.

Ограничительными неравенствами, которым должно соответствовать окончание OLT, будут неравенства:

$$T_g > T_{on} + T_u, \text{ и}$$

$$T_g > T_{off} + T_u$$

Время Td должно обеспечить достаточное количество битов данных, чтобы обеспечить устойчивую к ошибкам функцию разграничителя в случае ошибок в битах. Устойчивость разграничителя к ошибкам зависит от точной реализации коррелятора комбинаций данных, но существует простое приближение, связывающее число битов в разграничителе (N) и число допустимых ошибок в битах (E), а именно:

$$E = \text{int}(N/4) - 1 \quad (\text{I-1})$$

где int означает операцию взятия целого.

Уравнение I-1 проверено опытным путем при численном исследовании всех разграничителей с размерами от 8 до 20 битов. Такое исследование было выполнено в предположении, что комбинация данных преамбулы была повторяющейся комбинацией вида '1010' и что разграничитель имел равное число единиц и нулей. Было установлено, что расстояние Хэмминга (D) наилучшего разграничителя среди всех комбинаций данных, полученных собственным сдвигом, и преамбулы равно  $D = \text{int}(N/2) - 1$ ; при этом удовлетворяются приведенные допуски на ошибки.

При заданном определенном коэффициенте ошибок по битам (BER) вероятность пораженного ошибками пакета (Pseb) определяется из уравнения:

$$P_{seb} = \left( \frac{N}{E+1} \right) BER^{E+1} \quad (\text{I-2})$$

Подставив уравнение I-1 в уравнение I-2, получим результирующую вероятность Pseb:

$$P_{seb} = \left( \frac{N}{\text{int}(N/4)} \right) BER^{\text{int}(N/4)} \quad (\text{I-3})$$

Если коэффициент BER равен  $1E-4$ , тогда результирующие вероятности Pseb для различных длин разграничителя (N) даются в таблице I.1. Проверка этой таблицы показала, что для устранения ошибки такого рода длина разграничителя должна составлять по меньшей мере 16 битов, если не больше.

**Таблица I.1/G.984.2 – Вероятность пораженного ошибками пакета как функция длины разграничителя**

N	Pseb
8	2,8E-07
12	2,2E-10
16	1,8E-13
20	1,5E-16
24	1,3E-19

В таблице I.2 приводятся рекомендуемые распределения дополнения физического уровня с учетом рассмотренных выше положений. В этой таблице также приводятся нормативные значения времени включения и времени отключения передатчика в окончании ONT, а также суммарное время дополнения физического уровня для ссылок.



**Таблица I.2/G.984.2 – Рекомендуемое распределение времени  
дополнения физического уровня в пакетном режиме для функций окончания OLT**

Скорость передачи данных в восходящем направлении (Мбит/с)	Включение передатчика (биты)	Отключение передатчика (биты)	Суммарное время (биты)	Защитное время (биты)	Время преамбулы (биты)	Время разграничителя (биты)
155,52	2	2	32	6	10	16
622,08	8	8	64	16	28	20
1244,16	16	16	96	32	44	20
2488,32	32	32	192	64	108	20
Примечания	Максимальное	Максимальное	Обязательное	Минимальное	Предлагаемое	Предлагаемое

## Добавление II

### Описание и примеры механизма выравнивания по мощности

#### II.1 Введение

В данном Добавлении поясняются на примерах различные обязательства, которые должны быть учтены при выполнении стабильного и эффективного механизма выравнивания по мощности. Они приводят к требованиям, изложенным в подразделе 8.3.2.

#### II.2 Уровни блока ONU

В таблицах 2f-2 и 2g-2 описана мощность передатчика в блоке ONU (минимум (MIN) средней возбуждаемой мощности и максимум (MAX) средней возбуждаемой мощности). Эти значения соответствуют режиму 0. Значения при режиме 1 и режиме 2, соответственно, меньше на 3 дБ и 6 дБ. Например, блок ONU класса В при скорости передачи 1244 Мбит/с с возможностью выравнивания по мощности будет иметь следующие диапазоны выходной мощности:

Режим 0:  $MIN = -2 \text{ дБм} \leq \text{средняя возбуждаемая мощность} \leq MAX = +3 \text{ дБм}$ ;

Режим 1:  $MIN = -5 \text{ дБм} \leq \text{средняя возбуждаемая мощность} \leq MAX = 0 \text{ дБм}$ ;

Режим 2:  $MIN = -8 \text{ дБм} \leq \text{средняя возбуждаемая мощность} \leq MAX = -3 \text{ дБм}$ .

Механизм выравнивания по мощности находится под управлением окончания OLT и определяет необходимые изменения уровней. Когда блок ONU принимает команду перейти от одного режима к другому, он сможет установить свою мощность оптического излучения согласно соответствующему диапазону нового режима, а затем возобновит передачу данных в восходящем направлении. Следует заметить, что до тех пор, пока не нарушаются условия диапазонов выходной мощности, эффективное изменение мощности блока ONU при переходе от одного режима к другому не обязательно должно выполняться с шагом в 2 дБ или в 6 дБ.

#### Пример 1

- Блок ONU в режиме 1 имеет мощность оптического излучения на уровне  $-1 \text{ дБм}$ .
- Этот блок ONU принимает сообщение о переходе к режиму 0 (увеличить установку уровня мощности на  $+3 \text{ дБ}$ ).
- Эффективная мощность оптического излучения теперь будет  $+1 \text{ дБм}$ , то есть не только на  $3 \text{ дБ}$  выше, но в диапазоне для режима 0.

#### Пример 2

- Блок ONU в режиме 2 имеет мощность оптического излучения на уровне  $-4 \text{ дБм}$ .
- Блок ONU принимает сообщение о переходе к режиму 1 (увеличить установку уровня мощности на  $+3 \text{ дБ}$ ).
- Эффективная мощность оптического излучения теперь будет  $-5 \text{ дБм}$ , то есть ниже, чем предыдущая мощность, но в диапазоне для режима 1.

- Окончание OLT будет измерять более низкую мощность, тогда как ожидалась более высокая мощность. Поэтому алгоритм блока OLT пошлет другую команду увеличить уровень мощности на 3 дБ (перейти к режиму 0).
- Теперь блок ONU будет иметь мощность оптического излучения в диапазоне для режима 0 с минимальным уровнем в -2 дБм.

### II.3 Пороговые значения в окончании OLT

Приемник окончания OLT измеряет уровень входящей мощности для отдельного блока ONU и сравнивает его с пороговыми значениями. При этих измерениях может возникать некоторая неопределенность из-за неточностей, присущих реализации (источники тока, нелинейности приемника при высокой мощности, колебания напряжения питания, влияние температуры на каскады электрического усилителя и прочее). Все это превращается в неопределенности для эффективного порогового значения в процессе сравнения с его установкой. Эти неопределенности должны приниматься во внимание для обеспечения полного и стабильного механизма выравнивания по мощности. Требуется, чтобы диапазон неопределенности, в котором может меняться пороговое значение при полном рабочем диапазоне окончания OLT, составлял максимум 4 дБ.

С учетом значений мощности оптического излучения, соответствующей минимальной чувствительности  $P_{ms}$  и минимальной перегрузки  $P_{mo}$  приемника в окончании OLT согласно таблицам 2f-2 и 2g-2, допустимым диапазоном мощности приемника в окончании OLT для безошибочной работы тогда будет диапазон от  $(P_{ms} + 1 \text{ дБ})$  до  $P_{mo}$ . Следует заметить, что  $P_{ms}$  включает ухудшение в 1 дБ (см. подраздел 8.2.8.3), которое не должно рассматриваться для минимальной мощности оптического излучения. Соответствующая мощность приемника в окончании OLT должна гарантироваться механизмом выравнивания по мощности. Для этого механизма имеют место два случая: одно пороговое значение и два пороговых значения.

#### II.3.1 Случай 1: Сравнение с двумя пороговыми значениями (TL, TH)

В этом случае механизм выравнивания по мощности реализуется путем сравнения принимаемой средней мощности в окончании OLT ( $P$ ) с двумя разными пороговыми значениями (TL – низкое пороговое значение, и TH – высокое пороговое значение). Когда  $P < TL$ , тогда мощность в окончании OLT считается слишком низкой, и блок ONU должен перейти на более высокий режим. Когда  $P > TH$ , тогда мощность в окончании OLT считается слишком высокой, и блок ONU должен перейти на более низкий режим. Когда  $TH > P > TL$ , тогда мощность в окончании OLT считается приемлемой, и блок ONU может продолжать находиться в своем текущем режиме.

- 1) Эффективное высокое пороговое значение (TH) должно гарантировать, что:
  - Обнаруживается любой уровень мощности выше перегрузки приемника в окончании OLT:  $P_{mo} > TH$ ;
  - Если блок ONU переходит на более низкий режим, так как  $P > TH$ , тогда приемник в окончании OLT не может иметь чувствительность ниже, чем:
 
$$TH > P_{mo} - ((P_{mo} - P_{ms} - 1 \text{ дБ}) - 3 \text{ дБ} - (P_{ONU \text{ Tx MAX}} - P_{ONU \text{ Tx MIN}})).$$
 Здесь:  $P_{ONU \text{ Tx MAX}}$  – максимальная мощность передатчика в блоке ONU;  
 $P_{ONU \text{ Tx MIN}}$  – минимальная мощность передатчика в блоке ONU.  
 Это неравенство эквивалентно неравенству:  $TH > P_{mo} - 6 \text{ дБ}$ .
- 2) Эффективное низкое пороговое значение (TL) должно гарантировать, что:
  - Обнаруживается любой уровень мощности ниже чувствительности приемника в окончании OLT:  $TL > P_{ms} + 1 \text{ дБ}$ .
  - Если блок ONU переходит на более высокий режим, так как  $P < TL$ , тогда приемник в окончании OLT не может иметь перегрузку:
 
$$(P_{ms} + 1 \text{ дБ}) + ((P_{mo} - P_{ms} - 1 \text{ дБ}) - 3 \text{ дБ} - (P_{ONU \text{ Tx MAX}} - P_{ONU \text{ Tx MIN}})) > TL.$$
 Это неравенство эквивалентно неравенству:  $P_{ms} + 7 \text{ дБ} > TL$ .
- 3) Объединенные эффективные низкое и высокое пороговые значения (TL и TH) должны гарантировать, что:
  - механизм выравнивания по мощности стабилен (нет повторных переходов между режимами). Если блок ONU меняет один режим на другой, поскольку  $P < TL$  или  $P > TH$ , то новый уровень мощности приемника в окончании OLT может не пересекать противоположный порог. Это эквивалентно нахождению минимального интервала между пороговыми значениями TH и TL.
 
$$TH - TL > 3 \text{ дБ} + (P_{ONU \text{ Tx MAX}} - P_{ONU \text{ Tx MIN}}).$$
 Это неравенство эквивалентно неравенству:  $TH - TL > 8 \text{ дБ}$ .

Это последнее объединенное требование связывает отдельные требования для пороговым значений TH и TL, поскольку они должны отстоять друг от друга по меньшей мере на 8 дБ. Принимая во внимание требование для границ неопределенности максимум в 4 дБ, наилучшим соответствием для первого требования (R1) и второго требования (R2) (наибольший интервал между TH и TL), становится:

$$R1: P_{mo} > TH > P_{mo} - 4 \text{ дБ.}$$

$$R2: P_{ms} + 5 \text{ дБ} > TL > P_{ms} + 1 \text{ дБ.}$$

Поскольку требования R1 и R2 гарантируют только интервал в 6 дБ, то должно выполняться третье требование (R3):

$$R3: TH - TL > 8 \text{ дБ.}$$

Условия R1, R2 и R3 вместе учитывают разброс пороговых значений TH и TL сверх 4 дБ в полном рабочем диапазоне окончания OLT (влияние температуры и так далее), но требуют, чтобы в любой момент пороговые значения TH и TL отстояли друг от друга по крайней мере на 8 дБ.

Если в окончании OLT измерения мощности имеют более высокую точность, чем 4 дБ, тогда может быть выбрано любое сочетание пороговых значений TH и TL, пока не нарушаются условия R1, R2 и R3.

### П.3.2 Случай 2: Сравнение с одним пороговым значением (TL)

Механизм выравнивания по мощности реализуется путем запуска всех блоков ONU в режиме 2 (во время их инициализации) и сравнения принимаемой средней мощности в окончании OLT (P) с одним пороговым значением (TL). Когда  $P < TL$ , мощность в окончании OLT считается слишком низкой, и блок ONU должен перейти на более высокий режим. Когда  $P > TL$ , тогда мощность в окончании OLT считается приемлемой, и блок ONU может продолжать оставаться в своем текущем режиме.

Эффективное низкое пороговое значение (TL) должно гарантировать, что:

- Обнаруживается любой уровень мощности ниже чувствительности приемника в окончании OLT:  $TL > P_{ms} + 1 \text{ дБ}$ .
- Если блок ONU переходит на более высокий режим, поскольку  $P < TL$ , тогда приемник в окончании OLT может быть не перегруженным:

$$(P_{ms} + 1 \text{ дБ}) + ((P_{mo} - P_{ms} - 1 \text{ дБ}) - 3 \text{ дБ} - (P_{ONU \text{ Tx MAX}} - P_{ONU \text{ Tx MIN}})) > TL.$$

Поэтому требованием для эффективного уровня TL будет требование:

$$R2: P_{ms} + 7 \text{ дБ} > TL > P_{ms} + 1 \text{ дБ.}$$

При диапазоне неопределенности в 4 дБ это позволяет выбрать установку низкого порогового значения (TL) в диапазоне:

Пример 1 для блока ONU класса В при скорости передачи 1244 Мбит/с:  $-23 \text{ дБм} > TL > -27 \text{ дБм}$ ;

Пример 2 для блока ONU класса В при скорости передачи 1244 Мбит/с:  $-21 \text{ дБм} > TL > -25 \text{ дБм}$ .

### П.4 Обнаружение мощности

Чтобы инициализировать новые блоки ONU, окончание OLT периодически открывает окна выбора диапазонов, в течение которых новые блоки ONU могут посылать пакеты в восходящем направлении передачи. Окончание OLT должно быть способным обнаруживать присутствие всякого нового блока ONU. Это означает, что, когда блоки ONU запускаются в режим 2, окончание OLT должно быть способным обнаруживать (но не обязательно при считывании данных) мощность оптического излучения такую же слабую, как мощность  $(P_{ms} + 1 \text{ дБ}) - 6 \text{ дБ} = P_{ms} - 5 \text{ дБ}$ .





## СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия В	Средства выражения: определения, символы, классификация
Серия С	Общая статистика электросвязи
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
<b>Серия G</b>	<b>Системы и среда передачи, цифровые системы и сети</b>
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	TMN и техническая эксплуатация сети: международные системы передачи, телефонные каналы, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
Серия N	Техническая эксплуатация: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных и взаимосвязь открытых систем
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура и аспекты межсетевого протокола (IP)
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи