

# МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

# G.656

(07/2010)

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

Характеристики среды передачи и оптических систем –  
Волоконно-оптические кабели

---

**Характеристики волокна и кабеля с  
ненулевой дисперсией для широкополосного  
оптического транспортирования**

Рекомендация МСЭ-Т G.656

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 ВЧ-СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	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
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	G.600–G.699
Общие положения	G.600–G.609
Симметричные кабельные пары	G.610–G.619
Наземные коаксиальные кабельные пары	G.620–G.629
Подводные кабели	G.630–G.639
Оптические системы в свободном пространстве	G.640–G.649
<b>Волоконно-оптические кабели</b>	<b>G.650–G.659</b>
Характеристики оптических компонентов и подсистем	G.660–G.679
Характеристики оптических систем	G.680–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
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

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

## Рекомендация МСЭ-Т G.656

### Характеристики волокна и кабеля с ненулевой дисперсией для широкополосного оптического транспортирования

#### Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.656 описаны геометрические и механические атрибуты, а также атрибуты передачи одномодового оптического волокна, которое имеет положительное значение коэффициента хроматической дисперсии, превышающее некоторое ненулевое значение во всем диапазоне длин волн предполагаемого использования 1460–1625 нм. Такая дисперсия подавляет рост нелинейных эффектов, которые могут проявиться особенно сильно в системах плотного мультиплексирования с разделением по длине волны.

Такое волокно может использоваться как в системах CWDM (грубое мультиплексирование с разделением по длине волны), так и в системах DWDM (плотное мультиплексирование с разделением по длине волны) во всем диапазоне длин волн от 1460 до 1625 нм.

В издании 2 коэффициент хроматической дисперсии ограничен парой ограничивающих кривых в зависимости от длины волны в диапазоне 1460–1625 нм, что дает информацию для поддержки CWDM и DWDM.

В третьем издании исключено определение длины волны отсечки кабельной перемычки и добавлено примечание, которое допускает более высокие максимальные значения затухания в кабеле для коротких кабельных перемычек.

#### Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т G.656	13.06.2004 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/7321">11.1002/1000/7321</a>
2.0	МСЭ-Т G.656	14.12.2006 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/8975">11.1002/1000/8975</a>
3.0	МСЭ-Т G.656	29.07.2010 г.	15-я	<a href="http://handle.itu.int/11.1002/1000/10871">11.1002/1000/10871</a>

\* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL: <http://handle.itu.int/>, после которого следует уникальный идентификатор Рекомендации. Например, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (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.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают 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 настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы. Употребление таких слов не означает, что от какой-либо стороны требуется соблюдение положений данной Рекомендации.

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2017

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения .....	1
2 Справочные документы .....	1
3 Определения .....	2
4 Сокращения .....	2
5 Атрибуты волокна.....	2
5.1 Диаметр модового поля.....	2
5.2 Диаметр оболочки.....	2
5.3 Погрешность эксцентриситета сердцевины .....	2
5.4 Некруглость.....	3
5.5 Длина волны отсечки.....	3
5.6 Потери на макроизгибе .....	3
5.7 Свойства материала волокна .....	4
5.8 Профиль показателя преломления .....	4
5.9 Продольная однородность хроматической дисперсии.....	4
5.10 Коэффициент хроматической дисперсии .....	4
6 Атрибуты кабеля .....	5
6.1 Коэффициент затухания.....	5
6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии (PMD).....	5
7 Таблица рекомендованных значений .....	6
Дополнение I – Информация для атрибутов линии и проектирования системы .....	7
I.1 Затухание .....	8
I.2 Хроматическая дисперсия.....	8
I.3 Дифференциальная групповая задержка .....	8
I.4 Нелинейный коэффициент.....	9
I.5 Таблицы общих типичных значений .....	9
I.6 Пределы коэффициента хроматической дисперсии .....	10
Библиография .....	12



### Характеристики волокна и кабеля с ненулевой дисперсией для широкополосной оптической передачи

#### 1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации приведено описание одномодового оптического волокна с хроматической дисперсией, которая превышает некоторое ненулевое значение во всем диапазоне длин волн 1460–1625 нм. Такая дисперсия снижает рост нелинейных эффектов, которые могут проявиться особенно сильно в системах с плотным мультиплексированием с разделением по длине волны (DWDM). В таком оптическом волокне ненулевая дисперсия используется для уменьшения четырехволнового смещения и перекрестной фазовой модуляции в более широком диапазоне длин волн, чем в оптическом волокне, описанном в [b-ITU-T G.655]. В будущем возможно расширение на длины волн, лежащие вне диапазона 1460–1625 нм (которые будут определены). Геометрические, оптические, механические параметры и параметры передач описаны ниже в трех категориях атрибутов:

- атрибуты волокна, которые сохраняются при прокладке кабелей и монтаже;
- атрибуты кабеля, которые рекомендуются для кабелей при поставке;
- атрибуты линии, являющиеся характеристиками составных кабелей, которые описывают методы оценки параметров системного интерфейса, основанные на измерениях, моделировании или других соображениях. Информация об атрибутах линии и проектном решении системы приведена в Дополнении I.

Такое волокно может использоваться для систем CWDM и систем DWDM во всем расширенном диапазоне передачи с длиной волны от 1460 до 1625 нм.

Настоящая Рекомендация и различные категории, приведенные в таблице в разделе 7, предназначены для поддержки следующих связанных с ними системных Рекомендаций:

- [b-ITU-T G.691];
- [b-ITU-T G.692];
- [b-ITU-T G.693];
- [b-ITU-T G.695];
- [b-ITU-T G.959.1];
- [b-ITU-T 698.1];
- [b-ITU-T 696.1].

Значения терминов, используемых в настоящей Рекомендации, и руководящие указания, которым необходимо следовать при проведении измерений для проверки различных характеристик, приведены в [ITU-T G.650.1] и [ITU-T G.650.2]. Характеристики данного волокна, включая определения относящихся к ним параметров, методы их тестирования и соответствующие значения будут уточняться по мере проведения исследований и накопления опыта.

#### 2 Справочные документы

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие справочные документы содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие справочные документы могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других справочных документов, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- [ITU-T G.650.1] Рекомендация МСЭ-Т G.650.1 (2010 г.), *Определения и методы тестирования для линейных детерминированных атрибутов одномодового волокна и кабеля.*
- [ITU-T G.650.2] Рекомендация МСЭ-Т G.650.2 (2007 г.), *Определения и методы тестирования статистических и нелинейных взаимосвязанных атрибутов одномодового волокна и кабеля.*
- [ITU-T G.694.1] Рекомендация МСЭ-Т G.694.1 (2002 г.), *Спектральные сетки для применения технологий WDM: сетка длин волн технологии DWDM.*

### 3 Определения

В настоящей Рекомендации используются определения, данные в [ITU-T G.650.1] и [ITU-T G.650.2]. Перед оценкой соответствия значения должны быть округлены до количества разрядов, приведенного в таблице рекомендованных значений.

### 4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

$A_{\text{eff}}$	Effective Area		Эффективная площадь
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing		Грубое мультиплексирование с разделением по длине волны
DGD	Differential Group Delay	ДГЗ	Дифференциальная групповая задержка
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing		Плотное мультиплексирование с разделением по длине волны
PMD	Polarization Mode Dispersion		Поляризационная модовая дисперсия
$\text{PMD}_Q$	Statistical parameter for PMD link		Статистический параметр PMD линии
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
TBD	To be determined		Подлежит определению

### 5 Атрибуты волокна

В настоящем разделе рекомендуются только те характеристики волокна, которые обеспечивают минимально необходимую при проектировании основу для изготовителей волокна. Диапазоны или пределы значений приведены в таблице в разделе 7. Из них значительное влияние на длину волны отсечки волокна в кабеле и его PMD может оказывать изготовление или укладка кабеля. В остальном рекомендованные характеристики равно применимы к отдельным волокнам, волокнам, которые уложены в кабеле, намотанном на барабан, и волокнам в проложенном кабеле.

#### 5.1 Диаметр модового поля

Номинальное значение и допуск на номинальное значение диаметра модового поля (MFD) должны определяться для длины волны 1550 нм. Определенные номинальные значения MFD должны лежать в пределах диапазона, указанного в разделе 7. Указанный допуск на MFD не должен превышать значения, приведенного в разделе 7. Отклонение от номинального значения не должно превышать указанного допуска.

#### 5.2 Диаметр оболочки

Рекомендованное номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Определен также и допуск, и он не должен превышать значения, указанного в разделе 7. Отклонение диаметра оболочки от номинального значения не должно превышать указанного допуска.

#### 5.3 Погрешность эксцентриситета сердцевин

Погрешность эксцентриситета сердцевин не должна превышать значения, определенного в разделе 7.



## 5.4 Некруглость

### 5.4.1 Некруглость модового поля

На практике некруглость модового поля волокон, имеющих номинально круглые модовые поля, достаточно мала и не влияет на распространение и сращивание. Вследствие этого, считается необязательным рекомендовать какое-либо конкретное значение для некруглости модового поля. Как правило, необязательно измерять эту некруглость при приемочных испытаниях.

### 5.4.2 Некруглость оболочки

Некруглость оболочки не должна превышать значения, указанного в разделе 7.

## 5.5 Длина волны отсечки

Различают два имеющих практическое значение типа длины волны отсечки:

- a) кабельная длина волны отсечки  $\lambda_{cc}$ ;
- b) волоконная длина волны отсечки  $\lambda_c$ .

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для некоторых конкретных применений подводного кабеля могут потребоваться другие значения кабельной длины волны отсечки.

Корреляция измеренных величин  $\lambda_c$  и  $\lambda_{cc}$  зависит от конкретного конструктивного исполнения волокна и кабеля и условий тестирования. Как правило,  $\lambda_{cc} < \lambda_c$ , однако установить общее количественное соотношение непросто. Чрезвычайно важно обеспечить одномодовую передачу при минимальной длине кабеля между стыками при минимальной рабочей длине волны. Этого можно добиться, когда рекомендованная максимальная кабельная длина волны отсечки  $\lambda_{cc}$  одномодового волокна, уложенного в кабеле, составляет 1450 нм, или, при наихудшем случае длины кабеля и изгибов, когда рекомендованная максимальная волоконная длина волны отсечки  $\lambda_c$  составляет 1440 нм.

Кабельная длина волны отсечки  $\lambda_{cc}$  не должна превышать максимального значения, определенного в разделе 7.

## 5.6 Потери на макроизгибе

Потери на макроизгибе изменяются в зависимости от длины волны, радиуса изгиба и числа витков вокруг сердечника определенного радиуса. Потери на макроизгибе не должны превышать максимального значения, определенного в разделе 7 для конкретных значений длины волны, радиуса изгиба и числа витков.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для проверки выполнения этого требования может быть достаточно провести тестирование на соответствие техническим условиям.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Рекомендованное количество витков соответствует приблизительному количеству витков, используемому во всех муфтах для типичного интервала между ретрансляторами. Рекомендованный радиус эквивалентен минимальному радиусу изгиба, принятому при долгосрочном использовании волокон в реальных монтажах систем, для того чтобы избежать отказа в результате статической усталости.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В случае выбора по практическим соображениям меньшего, чем рекомендованное, числа витков, предлагается, что потребуется не менее 40 витков и пропорционально меньшее повышение уровня потерь.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Рекомендация по потерям на макроизгибе относится к разворачиванию волокон в реальных монтажах одномодовых волокон. Влияние на показатели потерь радиусов изгиба одномодовых волокон, обусловленных скручиванием в кабеле, включено в спецификации потерь в уложенных в кабеле волокон.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – В случае если необходимо проведение планового тестирования, вместо рекомендованного тестирования можно использовать петлю меньшего диаметра с одним или несколькими витками для обеспечения точности и простоты измерений. В этом случае диаметр петли, число витков и максимально допустимые потери вследствие изгиба при выполнении тестирования с несколькими витками должны выбираться таким образом, чтобы соответствовать рекомендованному тестированию и допустимым потерям.

## 5.7 Свойства материала волокна

### 5.7.1 Материалы волокон

Следует указывать вещества, из которых изготовлены оптические волокна.

ПРИМЕЧАНИЕ. – При сварке сращиваемых волокон, выполненных из различных материалов, могут потребоваться меры предосторожности. Предварительные результаты показывают, что приемлемые потери и прочность соединений можно получить при сращивании волокон с высоким содержанием кремния.

### 5.7.2 Защитные материалы

Следует указывать физические и химические свойства материалов, используемых для первичного покрытия волокон, и наилучший способ его снятия (в случае необходимости). Аналогичную информацию следует приводить и в случае однослойного покрытия волокон.

### 5.7.3 Уровень предела прочности

Определяемый предел прочности  $\sigma_p$  не должен быть меньше минимального значения, указанного в разделе 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определения механических параметров приведены в пп. 3.2 и 5.7 в [ITU-T G.650.1].

## 5.8 Профиль показателя преломления

Как правило, не требуется знать профиль коэффициента преломления волокна

## 5.9 Продольная однородность хроматической дисперсии

Вопрос изучается.

ПРИМЕЧАНИЕ. – На определенной длине волны локальное абсолютное значение коэффициента хроматической дисперсии может отличаться от величины, полученной при измерении на большой длине. Если это значение уменьшается до малой величины при длине волны, близкой к рабочей длине волны системы с плотным мультиплексированием с разделением по длине волны (DWDM), то четырехволновое смешение может привести к распространению мощности на волнах другой длины, включая, в том числе, другие рабочие длины волн. Величина мощности при четырехволновом смешении является функцией абсолютного значения коэффициента хроматической дисперсии, наклона хроматической дисперсии, рабочих длин волн, оптической мощности и расстояния, на котором происходит четырехволновое смешение.

## 5.10 Коэффициент хроматической дисперсии

Коэффициент хроматической дисперсии  $D$  определяется для диапазона длин волн. В [ITU-T G.650.1] изложены методы измерения. Существует два метода определения пределов: первоначально использовавшийся метод, представляющий собой "прямоугольную" характеристику, и новый метод, в котором значения коэффициента дисперсии ограничены парой кривых и длиной волны 1550 нм.

Измеренная групповая задержка или хроматическая дисперсия в волокне единичной длины как функция длины волны аппроксимируется с помощью либо пятичленного уравнением Зельмейера, либо полиномиального уравнения 4-го порядка, как определено в Приложении А к [ITU-T G.650.1]. (Руководство по интерполяции значений дисперсии на длины волн, для которых измерения не производились, см. в п. 5.5 [ITU-T G.650.1])

Полученное эмпирическое уравнение не должно использоваться для прогнозирования хроматической дисперсии при длине волны, лежащей вне диапазона, использованного для аппроксимации.

На каждой длине волны  $\lambda$  коэффициент хроматической дисперсии  $D(\lambda)$  будет ограничиваться диапазоном значений, связанных с двумя ограничивающими кривыми  $D_{\min}(\lambda)$  и  $D_{\max}(\lambda)$ , для одного или более указанных диапазонов длин волн, определяемых от  $\lambda_{\min}$  до  $\lambda_{\max}$ .

Примерный набор кривых символически представляется парой прямых линий:

$$D_{\min}(\lambda) = a_{\min} + b_{\min} (\lambda - 1460) \quad [\text{пс/нм} \cdot \text{км}],$$

$$D_{\max}(\lambda) = a_{\max} + b_{\max} (\lambda - 1460) \quad [\text{пс/нм} \cdot \text{км}],$$

$$D_{\min}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{\max}(\lambda) \quad [\text{пс/нм} \cdot \text{км}].$$

Ограничивающие кривые могут изменяться в зависимости от диапазона длин волн.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Однородность хроматической дисперсии должна быть совместимой с работой системы.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Требования к хроматической дисперсии следуют из конструкции системы WDM и должны заключаться в балансе хроматической дисперсии первого порядка с различными нелинейными эффектами, такими как четырехволновое смещение, перекрестная фазовая модуляция, нестабильность модуляции, вызванное рассеяние Бриллюэна и формирование солитона (см. [b-ITU-T G.663]). Эффект хроматической дисперсии взаимодействует с нелинейностью волокна, описываемой коэффициентом нелинейности.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Не требуется измерять коэффициент хроматической дисперсии на регулярной основе.

## 6 Атрибуты кабеля

Геометрические и оптические характеристики волокон, приведенные в разделе 6, практически не изменяются в зависимости от процесса укладки кабеля, поэтому в данном разделе приведены рекомендации, относящиеся, главным образом, к характеристикам передачи кабелей строительных длин. Очень важны условия окружающей среды и условия тестирования; их описание приведено в руководящих указаниях по методам тестирования.

### 6.1 Коэффициент затухания

Коэффициент затухания задается максимальной величиной для волны одной или более длины в диапазонах 1460 нм, 1550 нм и 1625 нм. Величина коэффициента затухания волоконно-оптического кабеля не должна превышать величин, приведенных в разделе 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Коэффициент затухания может быть рассчитан по спектру длин волн на основе измерений на нескольких (трех-четырех) прогнозируемых длинах волны. Эта процедура описана в п. 5.4.4. [ITU-T G.650.1], в Дополнении III [ITU-T G.650.1] приведен пример.

### 6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии (PMD)

При необходимости поляризационная модовая дисперсия волокна в кабеле определяется статистически, а не для каждого отдельного волокна. Это требование относится только к параметрам линии, рассчитанным по информации о кабеле. Метрики статистической спецификации приведены ниже. Методы расчетов представлены в [b-IEC/TR 61282-3] и кратко изложены в Дополнении IV [ITU-T G.650.2].

Производитель должен указывать  $PMD_Q$  – проектное значение PMD линии, которое является верхней статистической границей коэффициента PMD составных волоконно-оптических кабелей в пределах определенной возможной линии из  $M$  кабельных секций. Верхняя граница определяется в значениях уровня малой вероятности  $Q$ , которая представляет собой вероятность того, что значение коэффициента PMD составного кабеля превысит величину  $PMD_Q$ . Для значений  $M$  и  $Q$ , приведенных в разделе 8, величина  $PMD_Q$  не должна превышать максимального значения коэффициента PMD, определенного в разделе 7.

Измерения и спецификации свободных волокон необходимы, но недостаточны для обеспечения спецификации волокна, уложенного в кабеле. Максимальное проектное значение линии, указанное для свободного волокна, должно быть меньше или равно значению, определенному для волокон в кабеле. Отношение значений PMD свободных волокон к значениям для волокон в кабеле зависит от особенностей конструкции и обработки кабеля, а также условий связи мод в свободных волокнах. В [ITU-T G.650.2] рекомендуется при проведении измерений PMD свободных волокон обеспечивать расположение волокон при слабой связи мод, что требует намотки с небольшим натяжением на катушке большого диаметра.

Пределы распределения значений коэффициента PMD можно считать почти равными пределам статистического изменения дифференциальной групповой задержки (ДГЗ), которая изменяется случайным образом с изменением времени и длины волны. В случае если для волоконно-оптического кабеля определено распределение значений коэффициента PMD, можно определить эквивалентные пределы изменения ДГЗ. Метрики и значения пределов распределения ДГЗ в линии приводятся в Дополнении I.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Характеристика  $PMD_Q$  может потребоваться только в случае, когда кабели используются для систем, которые имеют характеристику максимальной PMD; например, характеристика  $PMD_Q$  не будет применяться к системам, рекомендованным в [b-ITU-T G.957].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения  $PMD_Q$  должны рассчитываться для различных типов кабелей, и обычно они вычисляются с использованием выборочных значений PMD. Выборки осуществляются по данным для кабелей аналогичной конструкции.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Спецификация  $PMD_Q$  не должна применяться к коротким кабелям, таким как кабельные переключки, кабели в помещениях и абонентские отводы.

## 7 Таблица рекомендованных значений

В таблицу 1 сведены рекомендованные значения параметров для категорий оптических волокон, которые отвечают целям настоящей Рекомендации.

Таблица 1 "Атрибуты МСЭ-Т G.656" определяет требования к коэффициенту хроматической дисперсии в форме пары ограничивающих кривых в зависимости от длины волны для длин волн от 1460 нм до 1625 нм. Это также имеет целью поддержку рекомендаций по оптическим интерфейсам, например [b-ITU-T G.691], [b-ITU-T G.692], [b-ITU-T G.959.1] и [b-ITU-T G.693].

Для систем DWDM поддерживаются разносы каналов, определенные в [ITU-T G.694.1], в зависимости от выбранной минимальной дисперсии. Требование к PMD допускает работу систем STM-64 на расстоянии до 2000 км в зависимости от других элементов системы.

**Таблица 1 – Атрибуты МСЭ-Т G.656**

Атрибуты волокна		
Атрибут	Элемент	Значение
Диаметр модового поля	Длина волны	1 550 нм
	Диапазон номинальных значений	7,0–11,0 мкм
	Допуск	$\pm 0,7$ мкм
Диаметр оболочки	Номинальное значение	125,0 мкм
	Допуск	$\pm 1$ мкм
Погрешность эксцентриситета сердцевины	Максимальное значение	0,8 мкм
Некруглость оболочки	Максимальное значение	2,0%
Кабельная длина волны отсечки	Максимальное значение	1 450 нм
Потери на макроизгибе	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимальное значение при длине волны 1 625 нм	0,50 дБ
Предел прочности	Минимальное значение	0,69 ГПа
Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм · км) (Примечание 1)	$D_{\min}(\lambda)$ : 1 460–1 550 нм	$\frac{2,60}{90}(\lambda - 1460) + 1,00$
	$D_{\min}(\lambda)$ : 1 550–1 625 нм	$\frac{0,98}{75}(\lambda - 1550) + 3,60$
	$D_{\max}(\lambda)$ : 1 460–1 550 нм	$\frac{4,68}{90}(\lambda - 1460) + 4,60$
	$D_{\max}(\lambda)$ : 1 550–1625 нм	$\frac{4,72}{75}(\lambda - 1550) + 9,28$
Коэффициент PMD свободного волокна	Максимальное значение	(Примечание 2)

**Таблица 1 – Атрибуты МСЭ-Т G.656**

<b>Атрибуты волокна</b>		
<b>Атрибут</b>	<b>Элемент</b>	<b>Значение</b>
Коэффициент затухания (Примечание 3)	Максимальное значение при длине волны 1 460 нм	0,4 дБ/км
	Максимальное значение при длине волны 1 550 нм	0,35 дБ/км
	Максимальное значение при длине волны 1 625 нм	0,4 дБ/км
Коэффициент PMD	M	20 кабелей
	Q	0,01%
	Максимальное значение PMD <sub>Q</sub>	0,20 пс/√км
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Если используется рамановская накачка вне этого диапазона длин волн, то свойства волокна должны быть подходящими для использования этой накачки.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В соответствии с п. 6.2 указывается максимальное значение PMD<sub>Q</sub> свободного волокна для поддержки основного требования к PMD<sub>Q</sub> кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Значения коэффициента затухания, перечисленные в настоящей таблице, не должны применяться к коротким кабелям, таким как кабельные переключки. Например, в [b-IEC 60794-2-11] определен коэффициент затухания кабеля в помещении, равный 1,0 дБ/км или менее как для 1310 нм, так и для 1550 нм.</p>		

## Дополнение I

### Информация для атрибутов линии и проектирования системы

(Данное дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Составная линия обычно включает несколько сращенных строительных длин волоконно-оптического кабеля. Требования к изготовленным участкам приведены в пп. 5 и 6. Параметры передачи для составной линии связи должны учитывать не только работу отдельных участков кабеля, но и статистику соединений.

Характеристики передачи волоконно-оптических кабелей строительной длины будут иметь определенное распределение вероятности, которое может быть принято во внимание, если необходимо получить наиболее экономичные проекты. Дальнейшие пункты настоящего Добавления следует изучать, помня о статистической природе различных параметров.

На значения атрибутов линии связи, такие как сквозное затухание, хроматическая дисперсия, PMD или некруглость, влияют факторы, не связанные с параметрами волоконно-оптических кабелей, например смотки, соединители и монтаж. В настоящей Рекомендации эти факторы не определяются. Для оценки статистических значений атрибутов линии связи, относящихся к затуханию и хроматической дисперсии, в п. I.5 приведены типичные значения волоконно-оптических линий. Методы оценки параметров линии связи, необходимых для проектирования системы, основаны на измерениях, моделировании или других соображениях.

## I.1 Затухание

Затухание  $A$  в линии связи определяется уравнением:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y, \quad (I-1)$$

где:

- $\alpha$ : типичный коэффициент затухания оптических кабелей в линии;
- $\alpha_s$ : средние потери в сростке;
- $x$ : число сростков в линии;
- $\alpha_c$ : средние потери в линейных соединителях;
- $y$ : число соединителей в линии (если они имеются);
- $L$ : длина линии.

Следует назначить подходящий запас для изменения конфигураций кабеля в будущем (дополнительные сростки, дополнительные длины кабеля, явления старения, колебания температуры и т. д.). Уравнение I-1 не включает потери в соединителях оборудования. Типичные значения, приведенные в п. I.5, относятся к коэффициенту затухания волоконно-оптической линии связи. В запасе по затуханию, используемом при проектировании фактической системы, должны учитываться статистические изменения этих параметров.

## I.2 Хроматическая дисперсия

Хроматическая дисперсия, выраженная в пс/нм, может быть рассчитана по коэффициентам хроматической дисперсии строительных длин, предполагая линейную зависимость от длины и корректно учитывая знаки коэффициентов (см. п. 5.10).

При использовании этих оптических волокон для передачи при длине волны в области 1550 нм часто используются некоторые формы компенсации хроматической дисперсии. В этом случае для целей проектирования используется средняя хроматическая дисперсия линии.

Для упрощенной оценки требуемая зависимость описывается типичным коэффициентом хроматической дисперсии и коэффициентом наклона хроматической дисперсии при длине волны 1550 нм.

Типичные значения коэффициента хроматической дисперсии  $D_{1550}$  и коэффициента наклона хроматической дисперсии  $S_{1550}$  при длине волны 1550 нм изменяются в зависимости от конкретной реализации. Эти значения вместе с длиной линии  $L_{Link}$  могут использоваться для вычисления типичной хроматической дисперсии с целью применения при проектировании оптической линии.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \quad (\text{пс/нм}) \quad (I-2)$$

Для более точной оценки эта зависимость описывается с использованием типичных коэффициентов хроматической дисперсии при длине волны 1460, 1550 и 1625 нм и коэффициента наклона хроматической дисперсии при 1550 нм. Эти значения вместе с длиной линии  $L_{Link}$  могут использоваться для расчета типичной дисперсии с целью применения при конструировании оптической линии.

Дополнительную информацию о проектировании системы и статистике хроматической дисперсии см. в [b-ITU-T G-Sup39].

## I.3 Дифференциальная групповая задержка

Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ) – это разница во времени прибытия двух режимов поляризации при конкретной длине волны и времени. PMD по сути имеет статистическую природу, а ДГЗ колеблется с произвольной динамикой в любых продольных позициях волоконных кабелей и, следовательно, методика статистического проектирования линии связи имеет важное значение для определения влияния PMD при рассмотрении линии связи, которая имеет конкретную длину (или составлена из секций) волоконно-оптического кабеля. Для линии с определенным коэффициентом PMD распределение ДГЗ линии изменяется случайным образом в зависимости от времени и длины волны аналогично распределению Максвелла с единственным параметром, который равен произведению коэффициента PMD линии и квадратного корня из длины этой линии. Ухудшение

характеристик системы, вызванное PMD в определенное время и на конкретной длине волны, зависит от ДГЗ для этого времени и длины волны. Вследствие этого, были разработаны средства установления практических пределов распределения ДГЗ, поскольку это распределение связано с распределением коэффициента PMD волоконного кабеля, пределы для которого были разработаны и описаны в стандарте [b-IEC/TR 61282-3]. Ниже приведены метрики ограничений распределения ДГЗ.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определение вкладов других компонентов, кроме волоконно-оптического кабеля, выходит за рамки настоящей Рекомендации, но рассматривается в стандарте [b-IEC/TR 61282-3].

Эталонная длина линии  $L_{Ref}$ : максимальная длина линии, к которой применяются максимальная ДГЗ и вероятность. Для более длинных линий максимальное значение ДГЗ умножается на квадратный корень из отношения фактической длины к эталонной длине.

Типичная максимальная длина кабеля  $L_{Cab}$ : максимальные значения обеспечиваются, когда типичные длины отдельных составных кабелей или длины кабелей, которые измерены при определении распределения коэффициента PMD, меньше этого значения.

Максимальное значение ДГЗ,  $DGD_{max}$ : значение ДГЗ, которое может использоваться при проектировании оптической системы.

Максимальная вероятность  $P_F$ : вероятность того, что фактическое значение ДГЗ превышает  $DGD_{max}$ .

#### I.4 Нелинейный коэффициент

Хроматическая дисперсия связана с нелинейным коэффициентом  $n_2/A_{eff}$  в отношении ухудшения характеристик системы, вносимого нелинейными оптическими эффектами (см. [b-ITU-T G.663] и [ITU-T G.650.2]). Типичные значения зависят от реализации. Методы измерения нелинейного коэффициента изучаются.

#### I.5 Таблицы общих типичных значений

Значения в таблицах I.1 и I.2 являются репрезентативными для составных волоконно-оптических линий для подводных и наземных применений согласно пп. I.1 и I.3, соответственно. Предполагаемые вносимые волокном максимальные значения ДГЗ в таблице I.2 предназначены только для руководства в отношении требований к другим оптическим элементам, которые могут присутствовать в линии.

**Таблица I.1 – Репрезентативные значения составной волоконно-оптической линии**

Атрибут	Диапазон длин волн	Типичное значение для линии (см. примечание)
Коэффициент затухания	1 460–1 530 нм	0,35 дБ/км
	1 530–1 565 нм	0,275 дБ/км
	1 565–1 625 нм	0,35 дБ/км
Типичный коэффициент дисперсии	$D_{1460}$	TBD
	$D_{1550}$	TBD
	$D_{1625}$	TBD
	$S_{1550}$	TBD
ПРИМЕЧАНИЕ. – Типичное значение для линии соответствует коэффициенту затухания линии, используемому в [b-ITU-T G.957] и [b-ITU-T G.691].		

**Таблица I.2 – Дифференциальная групповая задержка**

Максимальная PMD <sub>Q</sub> (пс/√км)	Длина линии (км)	Предполагаемая максимальная ДГЗ, вносимая волокном (пс)	Скорость передачи в канале
Спецификация отсутствует			До 2,5 Гбит/с
0,5	400	25,0	10 Гбит/с
	40	19,0 (Примечание)	10 Гбит/с
	2	7,5	40 Гбит/с
0,20	3 000	19,0	10 Гбит/с
	80	7,0	40 Гбит/с
0,10	> 4 000	12,0	10 Гбит/с
	400	5,0	40 Гбит/с
ПРИМЕЧАНИЕ. – Это значение также применимо к системам 10-гигабитного Ethernet.			

ПРИМЕЧАНИЕ. – Длина кабельной секции составляет 10 км, кроме линии с 0,10 пс/√км/>4000 км, где, если она равна 25 км, уровень вероятности равен  $6,5 \times 10^{-8}$ .

### **I.6 Пределы коэффициента хроматической дисперсии**

Уравнения, ограничивающие коэффициент хроматической дисперсии в зависимости от длины волны, основаны на исследовании волокон, соответствующих Рекомендации МСЭ-Т G.656. Были исследованы девять продуктов семи производителей. Для каждого продукта было получено среднее и стандартное отклонение в зависимости от длины волны для длин волн от 1460 нм до 1625 нм при приращении на 5 нм. В зависимости от длины волны и по каждому из продуктов были рассчитаны три средних стандартных отклонения со знаком плюс и знаком минус. Затем были рассчитаны минимальные и максимальные значения по различным производителям. Эти результаты аппроксимировались линейным сплайном с точкой излома на 1550 нм для минимизации суммы абсолютных значений разницы при сохранении принципа включения всех данных в пределах огибающей.

Результаты показаны на рисунке I.1. Штриховые линии являются пределами из раздела 7. Остальные данные представляют собой результаты исследований.



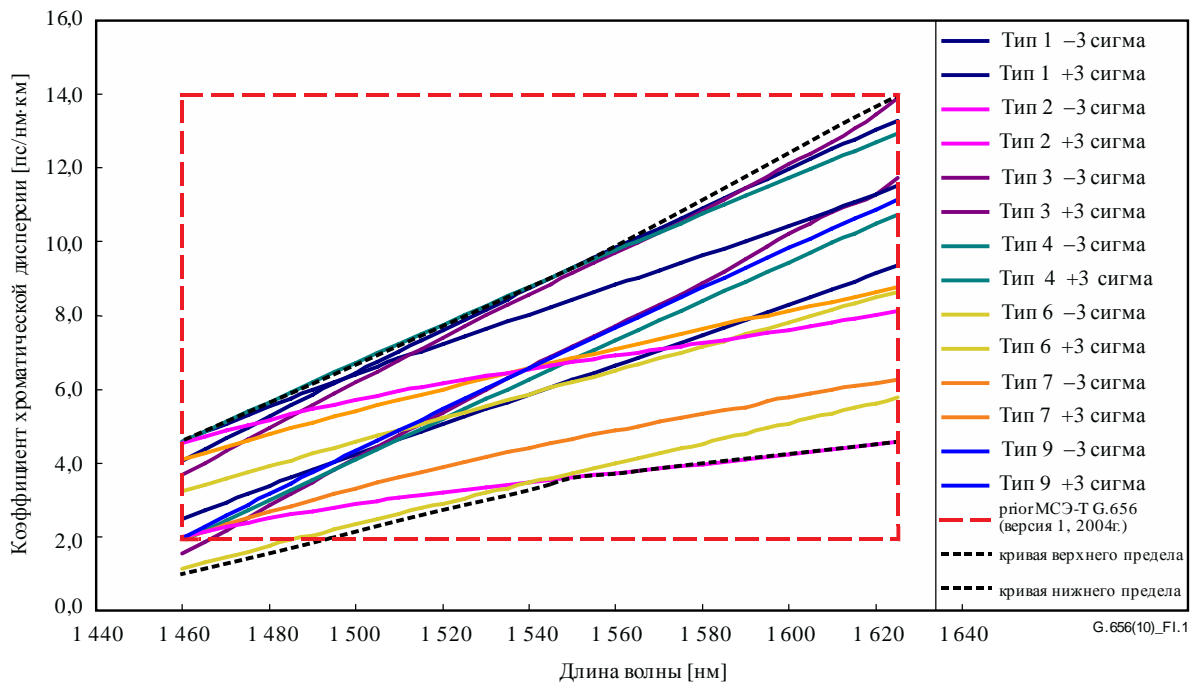


Рисунок I.1 – Дисперсия волокна, соответствующего данным таблицы 1

## Библиография

- [b-ITU-T G.655] Рекомендация МСЭ-Т G.655 (2009 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля с ненулевым дисперсионным смещением.*
- [b-ITU-T G.663] Recommendation ITU-T G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- [b-ITU-T G.691] Рекомендация МСЭ-Т G.691 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем СИ с оптическими усилителями.*
- [b-ITU-T G.692] Recommendation ITU-T G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- [b-ITU-T G.693] Рекомендация МСЭ-Т G.693 (2009 г.), *Оптические интерфейсы для внутрисканционных систем.*
- [b-ITU-T G.694.2] Рекомендация МСЭ-Т G.694.2 (2003 г.), *Спектральные сетки для применения технологий WDM: сетка длин волн технологии CWDM.*
- [b-ITU-T G.695] Рекомендация МСЭ-Т G.695 (2009 г.), *Оптические интерфейсы для приложений, использующих грубое мультиплексирование с разделением по длине волны.*
- [b-ITU-T G.696.1] Рекомендация МСЭ-Т G.696.1 (2005 г.), *Внутридоменные приложения плотного волнового уплотнения (DWDM), совместимые в продольном направлении.*
- [b-ITU-T G.698.1] Рекомендация МСЭ-Т G.698.1 (2009 г.), *Многоканальные приложения DWDM с одноканальными оптическими интерфейсами.*
- [b-ITU-T G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [b-ITU-T G.959.1] Рекомендация МСЭ-Т G.959.1 (2009 г.), *Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети.*
- [b-ITU-T G-Sup39] Рекомендации МСЭ-Т серии G – Дополнение 39 (2006 г.), *Рассмотрение вопросов расчета и проектирования оптических систем.*
- [b-IEC 60794-2-11] IEC 60794-2-11 (2005), *Optical fibre cables – Part 2-11: Indoor cables – Detailed specification for simplex and duplex cables for use in premises cabling.*
- [b-IEC/TR IEC 61282-3] IEC/TR 61282-3 (2006), *Fibre optic communication design guides – Part 3: Calculation of link polarization mode dispersion.*



## СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Принципы тарификации и учета и экономические и стратегические вопросы международной электросвязи/ИКТ
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	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Окружающая среда и ИКТ, изменение климата, электронные отходы, энергоэффективность; конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Оконечное оборудование, субъективные и объективные методы оценки
Серия Q	Коммутация и сигнализация, а также соответствующие измерения и испытания
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, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи