



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.656

(12/2006)

СЕРИЯ Н: 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 широкополосной
оптической передачи**

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	
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
Волоконно-оптические кабели	G.650–G.659
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 – 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.

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

Резюме

В настоящей Рекомендации описываются геометрические и механические характеристики, а также характеристики 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 снижает рост нелинейных эффектов, которые могут проявиться особенно сильно в системах высокоплотного мультиплексирования с разделением по длинам волн.

Это оптическое волокно может использоваться как в системах CWDM, так и в системах DWDM во всем диапазоне длин волн от 1460 до 1625 нм.

В настоящем пересмотре добавляется новая категория волокна. Данная категория ограничивает коэффициент хроматической дисперсии парой ограничивающих кривых в зависимости от длины волны в диапазоне 1460–1625 нм, что дает информацию для поддержки CWDM и DWDM.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.656 утверждена 14 декабря 2006 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. 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 носит добровольный характер. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (например, для обеспечения возможности взаимодействия или применимости), и соблюдение положений данной Рекомендации достигается в случае выполнения всех этих обязательных положений. Для выражения необходимости выполнения требований используется синтаксис долженствования и соответствующие слова (такие как "должен" и т. п.), а также их отрицательные эквиваленты. Использование этих слов не предполагает, что соблюдение положений данной Рекомендации является обязательным для какой-либо из сторон.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать 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 выполнения этой 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 по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2007

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

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения	1
2 Справочные документы	1
2.1 Нормативные справочные документы	1
2.2 Информационные справочные документы	2
3 Термины и определения	2
4 Сокращения	2
5 Характеристики волокна	3
5.1 Диаметр модового поля	3
5.2 Диаметр оболочки	3
5.3 Эллиптичность сердцевины	3
5.4 Не округлость	3
5.5 Длина волны отсечки	3
5.6 Затухание при макроизгибах	4
5.7 Материальные свойства оптического волокна	4
5.8 Профиль показателя преломления	4
5.9 Продольная равномерность хроматической дисперсии	4
5.10 Коэффициент хроматической дисперсии	5
6 Характеристики кабеля	5
6.1 Коэффициент затухания	5
6.2 Коэффициент дисперсии моды поляризации (PMD)	5
7 Таблица рекомендованных значений	6
Дополнение I – Информация для характеристик линии и разработки системы	8
I.1 Затухание	8
I.2 Хроматическая дисперсия	8
I.3 Дифференциальная групповая задержка (DGD)	9
I.4 Нелинейный коэффициент	9
I.5 Таблицы типичных значений	10
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 высокоплотным мультиплексированием с разделением по длине волны (DWDM). В таком оптическом волокне ненулевая дисперсия используется для уменьшения четырехволнового смешивания и перекрестной фазовой модуляции в более широком диапазоне длин волн, чем в оптическом волокне, описанном в Рекомендации МСЭ-Т 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 классах характеристик:

- характеристики оптического волокна – это те характеристики, которые сохраняются при прокладке и установке кабелей;
- характеристики кабеля, которые рекомендуются для кабелей в состоянии поставки;
- характеристики линии, характерные для составных кабелей, которые описывают метод оценки параметров системного интерфейса, основанный на измерениях, моделировании или других соображениях. Некоторые типичные значения характеристик линии приведены в Дополнении I.

Это оптическое 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 классы, приведенные в таблицах в п. 7, предназначены для поддержки следующей системы связанных Рекомендаций:

- Рекомендация МСЭ-Т G.691;
- Рекомендация МСЭ-Т G.692;
- Рекомендация МСЭ-Т G.693;
- Рекомендация МСЭ-Т G.695;
- Рекомендация МСЭ-Т G.959.1;
- Рекомендация МСЭ-Т 698.1;
- Рекомендация МСЭ-Т 696.1.

Значение используемых в настоящей Рекомендации терминов и общие указания, которые следует выполнять при измерениях для проверки различных характеристик, приведены в Рекомендациях МСЭ-Т [G.650.1] и [G.650.2]. Характеристики данного оптического волокна, включая определение соответствующих параметров, методов их испытаний и соответствующих значений, будут уточняться в ходе исследований и по мере накопления опыта.

2 Справочные документы

2.1 Нормативные справочные документы

Нижеследующие Рекомендации МСЭ-Т и другие источники 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 источники являются предметом пересмотра; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается рассмотреть возможность применения последнего издания Рекомендаций и других ссылок, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус рекомендации.

- [G.650.1] ITU-T Recommendation G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- [G.650.2] ITU-T Recommendation G.650.2 (2005), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*

2.2 Информационные справочные документы

- [G.663] ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- [G.691] Рекомендация МСЭ-Т G.691 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем СЦИ с оптическими усилителями.*
- [G.692] ITU-T Recommendation G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- [G.693] Рекомендация МСЭ-Т G.693 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для внутростанционных систем.*
- [G.694.1] ITU-T Recommendation G.694.1 (2002), *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.*
- [G.694.2] Рекомендация МСЭ-Т G.694.2 (2003 г.), *Спектральные сетки для применения технологий WDM: сетка длин волн технологии CWDM.*
- [G.695] Рекомендация МСЭ-Т G.695 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для приложений, использующих грубое мультиплексирование с разделением по длине волны.*
- [G.696.1] Рекомендация МСЭ-Т G.696.1 (2005 г.), *Внутридоменные приложения плотного волнового уплотнения (DWDM), совместимые в продольном направлении.*
- [G.698.1] Рекомендация МСЭ-Т G.698.1 (2006 г.), *Многоканальные приложения DWDM с одноканальными оптическими интерфейсами.*
- [G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [G.959.1] Рекомендация МСЭ-Т G.959.1 (2006 г.), *Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети.*

3 Термины и определения

В настоящей Рекомендации используются определения, данные в [G.650.1] и [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_{eff}	Effective Area	Эффективная площадь
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing	Грубое мультиплексирование с разделением по длине волны; грубое волновое мультиплексирование
DGD	Differential Group Delay	Дифференциальная групповая задержка
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Высокоплотное мультиплексирование с разделением по длине волны
PMD	Polarization Mode Dispersion	Дисперсия моды поляризации
PMD_Q	Statistical parameter for PMD link	Статистический параметр для линии PMD
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	СЦИ Синхронная цифровая иерархия
TBD	To be determined	Будет определено позднее

5 Характеристики волокна

В этом пункте рекомендуются только те характеристики оптического волокна, которые обеспечивают минимально необходимую конструкционную основу для изготовления волокна. Диапазоны или пределы значений представлены в таблице в п. 7. Изготовление или инсталляция кабеля могут значительно повлиять на длину волны отсечки и PMD волокна в кабеле. Во всем остальном эти рекомендованные характеристики равно применимы к отдельным оптическим волокнам, волокнам в намотанном на барабан кабеле и волокнам в инсталлированном кабеле.

5.1 Диаметр модового поля

Как номинальное значение, так и допуск на номинальное значение диаметра модового поля (MFD) должны определяться при длине волны 1550 нм. Определенные номинальные значения MFD должны лежать в пределах диапазона, указанного в п. 7. Указанный допуск на MFD не должен превышать значение, приведенное в п. 7. Отклонение от номинального значения не должно превышать указанный допуск.

5.2 Диаметр оболочки

Рекомендованное номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Допуск также определен, он не должен превышать значение, приведенное в п. 7. Отклонение диаметра оболочки от номинального значения не должно превышать указанный допуск.

5.3 Эллиптичность сердцевины

Эллиптичность сердцевины не должна превышать значение, приведенное в п. 7.

5.4 Не округлость

5.4.1 Отклонение модового поля от круга

На практике отклонения от круглой формы для волокон, имеющих номинально круглые модовые поля, обычно достаточно малы и не влияют на распространение и сращивание. Поэтому считается нецелесообразным рекомендовать конкретное значение отклонения модового поля от круглой формы. Обычно не возникает необходимости измерять отклонения модового поля от круглой формы для приемки.

5.4.2 Эллиптичность оболочки

Эллиптичность оболочки не должна превышать значение, приведенное в п. 7.

5.5 Длина волны отсечки

Различают три используемых типа длины волны отсечки:

- a) длина волны отсечки кабеля λ_{cc} ;
- b) длина волны отсечки волокна λ_c ;
- c) длина волны отсечки соединительного кабеля λ_{cj} .

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для некоторых конкретных приложений подводного кабеля могут потребоваться другие значения длины волны отсечки кабеля.

Корреляция измеренных значений λ_c , λ_{cc} и λ_{cj} зависит от конструкции конкретного волокна и кабеля и условий испытаний. Обычно выполняются условия $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, однако установить общие количественные отношения не просто. Основное внимание уделяется обеспечению одномодовой передачи при минимальной длине кабелей между соединениями при минимальной рабочей длине волны. Оно может обеспечиваться путем рекомендации использования максимальной длины волны отсечки кабеля λ_{cc} одномодового оптического волокна в кабеле, равной 1450 нм, или путем рекомендации для типичных переемычек максимальной длины волны отсечки кроссировочного кабеля, равной 1450 нм, или путем рекомендации для наихудшего случая по длине и изгибам максимальной длины волны отсечки оптического волокна, равной 1440 нм.

Длина волны отсечки кабеля λ_{cc} не должна превышать максимальное значение, приведенное в п. 7.

5.6 Затухание при макроизгибах

Затухание при макроизгибах зависит от длины волны, радиуса изгиба и количества витков, навитых на оправку с указанным радиусом. Затухание при макроизгибах не должно превышать максимальное значение, приведенное в п. 7 для указанной длины волны (длин волн), радиуса изгиба и количества витков.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Проверка соответствия спецификации может быть достаточной для того, чтобы гарантировать, что это требование удовлетворяется.

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

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Если по практическим причинам выбрано меньшее количество витков, чем рекомендованное, то предлагается использовать не менее 40 витков, причем требуется пропорционально меньшее повышение потерь.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Рекомендация по затуханию при макроизгибах относится к использованию оптических волокон в фактически используемой одномодовой волоконной технике. Влияние на показатели потерь радиусов изгиба одномодовых оптических волокон, обусловленных переплетением в кабеле, включено в спецификации на потери в волоконно-оптических кабелях.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Если требуются стандартные испытания, то вместо рекомендованного испытания можно использовать один или несколько витков с небольшим диаметром для обеспечения точности и простоты измерения. В этом случае следует выбирать диаметр витков, количество витков и максимальное допустимое затухание при изгибе для испытания с несколькими витками с целью корреляции с рекомендованным испытанием и допустимыми потерями.

5.7 Материальные свойства оптического волокна

5.7.1 Материалы волокон

Следует указывать вещества, из которых изготовлены оптические волокна.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Следует соблюдать осторожность при сращивании путем расплавления оптических волокон, состоящих из различных веществ. Предварительные результаты показывают, что адекватные потери в сростках и прочность могут достигаться при сращивании различных оптических волокон с высоким содержанием кремния.

5.7.2 Защитные материалы

Должны быть указаны физические и химические свойства материала, используемого для первичного покрытия волокна, и наилучший способ его удаления (в случае необходимости). В случае отдельных покрытых волокон должна указываться аналогичная информация.

5.7.3 Уровень допустимых напряжений

Указанный уровень допустимых напряжений σ_p должен быть не меньше минимального значения, приведенного в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определения механических параметров приведены в пп. 3.2 и 5.6 в [G.650.1].

5.8 Профиль показателя преломления

Обычно не требуется знать профиль показателя преломления оптического волокна.

5.9 Продольная равномерность хроматической дисперсии

Этот вопрос изучается.

ПРИМЕЧАНИЕ. – При заданной длине волны локальное абсолютное значение коэффициента хроматической дисперсии может сильно отличаться от значения, измеренного для большей длины волны. Если это значение уменьшается до малого значения при длине волны, близкой к рабочей длине волны системы DWDM, то четырехволновое смешивание может привести к распространению мощности с другими длинами волн, включая другие рабочие длины волн, но не ограничиваясь ими. Проявление четырехволнового смешивания зависит от абсолютного значения коэффициента хроматической дисперсии, наклона коэффициента хроматической дисперсии, рабочих длин волн, оптической мощности и расстояния, на котором происходит четырехволновое смешивание.

5.10 Коэффициент хроматической дисперсии

Коэффициент хроматической дисперсии D определяется для диапазона волн. В [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.

Зависимость измеренного группового времени задержки или хроматической дисперсии в единице длины оптического волокна от длины волны следует аппроксимировать либо уравнением Селлмейера с пятью членами, либо полиномиальным уравнением 4-го порядка, как определено в Приложении А к [G.650.1]. (См. п. 5.5 в [G.650.1]) для получения указаний по интерполяции значений дисперсии на длины волн, для которых измерения не производились.)

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

На каждой длине волны λ 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 λ_{\min} до λ_{\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 смешивание, перекрестная фазовая модуляция, нестабильность модуляции, вызванное рассеяние Бриллюэна и формирование солитона (см. [G.663]). Эффект хроматической дисперсии взаимодействует с нелинейностью волокна, описываемой коэффициентом нелинейности.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Нет необходимости постоянно измерять коэффициент хроматической дисперсии.

6 Характеристики кабеля

Поскольку процесс прокладки кабеля мало влияет на геометрические и оптические характеристики оптических волокон, приведенные в п. 5, то в этом пункте приведены рекомендации, относящиеся главным образом к характеристикам передачи для строительной длины кабеля. Большую роль играют условия окружающей среды и условия испытаний, они описаны в руководстве по методам испытания.

6.1 Коэффициент затухания

Определяется максимальное значение коэффициента затухания при одной или нескольких длинах волн в диапазонах 1460 нм, 1550 нм и 1625 нм. Значения коэффициента затухания волоконно-оптического кабеля не должны превышать значения, приведенные в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Коэффициент затухания может быть рассчитан для диапазона длин волн, используя измерения при нескольких (3–4) длинах волн. Эта процедура описана в п. 5.4.4 [G.650.1] и в примере, приведенном в Добавлении III к [G.650.1].

6.2 Коэффициент дисперсии моды поляризации (PMD)

При необходимости дисперсия моды поляризации волокна в кабеле должна определяться статистически, а не для отдельных волокон. Требования относятся только к характеристике линии, рассчитанной по данным для кабеля. Метрика спецификации статистики приведена ниже. Методы расчетов приведены в стандарте [IEC/TR 61282-3] и кратко изложены в Дополнении IV к [G.650.2].

Изготовитель должен предоставить расчетное значение PMD для линии, PMD_0 , которое играет роль статистического верхнего предела для коэффициента PMD соединенных волоконно-оптических

кабелей в конкретной возможной линии связи, состоящей из M участков кабелей. Верхний предел определяется низким уровнем вероятности Q , которая является вероятностью того, что значение коэффициента PMD соединенных кабелей превысит PMD_Q . Для значений M и Q , приведенных в п. 7, значение PMD_Q не должно превышать максимальный коэффициент PMD, приведенный в п. 7.

Измерения и характеристики свободного волокна необходимы, но не достаточны для того, чтобы гарантировать характеристики волокна в кабеле. Максимальное значение для проектирования линии, определенное для свободного волокна, должно быть меньше или равно значению, определенному для волокна в кабеле. Отношение значений PMD свободного волокна к значениям для волокна в кабеле зависит от деталей конструкции кабеля и обработки, а также условий связи мод в свободном волокне. В [G.650.2] рекомендуется обеспечивать расположение волокон при слабой связи мод, что требует намотки с небольшим натяжением на катушке большого диаметра при проведении измерений PMD свободного волокна.

Пределы распределения значений коэффициента PMD могут интерпретироваться как почти эквивалентные пределам статистического распределения дифференциального группового времени задержки (DGD), которое случайным образом связано со временем и длиной волны. Если для волоконно-оптического кабеля указано распределение коэффициента PMD, то можно определить эквивалентные пределы изменения DGD. Метрика и значения пределов распределения DGD приведены 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 [G.957].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения PMD_Q должны рассчитываться для различных типов кабелей, обычно они должны вычисляться, используя выборочные значения PMD. Выборки должны производиться для кабелей, имеющих аналогичную конструкцию.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Спецификация PMD_Q не должна применяться к коротким кабелям, таким как соединительные кабели, кабели для внутренней проводки и абонентские кабели.

7 Таблица рекомендованных значений

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

Таблица 1 "Атрибуты G.656" определяет требования к коэффициенту хроматической дисперсии парой 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 [G.691], [G.692], [G.693] и [G.959.1].

Для систем DWDM поддерживаются разносы каналов, определенные в [G.694], 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/G.656 – Атрибуты G.656

Характеристики волокна		
Характеристика	Описание	Значение
Диаметр модового поля	Длина волны	1 550 нм
	Диапазон номинальных значений	7,0–11,0 мкм
	Допуск	±0,7 мкм
Диаметр оболочки	Номинальное значение	125,0 мкм
	Допуск	±1 мкм
Погрешность concentричности сердцевины	Максимальное значение	0,8 мкм
Эллиптичность оболочки	Максимальное значение	2,0%
Длина волны отсечки кабеля	Максимальное значение	1 450 нм
Затухание при макроизгибах	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимальное значение при длине волны 1625 нм	0,50 дБ
Допустимое напряжение	Минимальное значение	0,69 ГПа
Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм · км)	$D_{\min}(\lambda): 1\ 460\text{--}1\ 550\ \text{нм}$	$\frac{2,60}{90}(\lambda - 1460) + 1,00$
	$D_{\min}(\lambda): 1\ 550\text{--}1\ 625\ \text{нм}$	$\frac{0,98}{75}(\lambda - 1550) + 3,60$
	$D_{\max}(\lambda): 1\ 460\text{--}1\ 550\ \text{нм}$	$\frac{4,68}{90}(\lambda - 1460) + 4,60$
	$D_{\max}(\lambda): 1\ 550\text{--}1625\ \text{нм}$	$\frac{4,72}{75}(\lambda - 1550) + 9,28$
Коэффициент PMD для некалиброванного волокна	Максимальное значение	(Примечание 2)
Характеристики кабеля		
Характеристика	Описание	Значение
Коэффициент затухания	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 _Q	0,20 пс/√км
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Если используется рамановская накачка вне этого диапазона длин волн, то свойства оптического волокна должны быть подходящими для использования этой накачки.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В соответствии с п. 6.2 указывается максимальное значение PMD_Q свободного волокна для поддержки основного требования к PMD_Q кабеля.</p>		

Дополнение I

Информация для характеристик линии и разработки системы

Составная линия обычно включает несколько соединенных строительных участков 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 строительных участков волоконно-оптических кабелей имеют некоторое распределение вероятности, которое часто должно учитываться для получения наиболее экономичных проектов. Приведенные ниже пункты данного Добавления следует рассматривать с учетом статистической природы различных параметров.

На характеристики линии влияют и другие факторы, кроме волоконно-оптических кабелей, такие как сростки, разъемы и инсталляция. Эти факторы не могут быть определены в настоящей Рекомендации. Для оценки характеристик линии в п. I.5 даны типичные значения волоконно-оптических линий. Методы оценки необходимых для проектирования системы параметров основаны на измерениях, моделировании или других соображениях.

I.1 Затухание

Затухание A в линии равно:

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

где:

- α – типичный коэффициент затухания волоконно-оптических кабелей в линии;
- α_s – средние потери в сростке;
- x – число сростков в линии;
- α_c – средние потери в разъеме линии;
- y – число разъемов в линии (если они имеются);
- L – длина линии.

Следует определить соответствующий запас для изменения конфигураций кабеля в будущем (дополнительные сростки, дополнительные участки кабеля, влияние старения, температурные изменения и т. д.). Уравнение I-1 не включает потери в разъемах оборудования. Типичные значения, приведенные в п. I.5, относятся к коэффициенту затухания волоконно-оптической линии. Запас по затуханию, используемый при проектировании фактической системы, должен учитывать статистические изменения этих параметров.

I.2 Хроматическая дисперсия

Хроматическую дисперсию в пс/нм можно рассчитать из коэффициентов хроматической дисперсии строительных участков в предположении линейной зависимости от длины и при правильном учете знаков коэффициентов (см. п. 5.10).

Когда эти оптические волокна используются для передачи в области длин волн 1550 нм, часто используются некоторые формы компенсации хроматической дисперсии. В этом случае для 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 и длину канала L_{Link} можно использовать для расчета типичной дисперсии с целью применения при конструировании 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.

См. [G.Sup.39] для получения дополнительной информации по конструированию системы и статистике хроматической дисперсии.

I.3 Дифференциальная групповая задержка (DGD)

Дифференциальная групповая задержка – это различие во времени прибытия для двух режимов поляризации при конкретной длине волны и времени. Для линии с определенным коэффициентом PMD распределение DGD линии случайным образом изменяется в зависимости от времени и длины волны как распределение Максвелла с единственным параметром, который равен произведению коэффициента PMD линии на квадратный корень из длины линии. Ухудшение системы из-за PMD при конкретном времени и длине волны зависит от DGD для этого времени и длины волны. Поэтому были разработаны средства установления полезных пределов распределения DGD, поскольку оно связано с распределением коэффициента PMD волоконно-оптического кабеля и его пределами; они описаны в стандарте [IEC/TR 61282-3]. Ниже приведена метрика ограничений распределения DGD:

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

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

Типичная максимальная длина кабеля L_{Cab} : Максимальные значения обеспечиваются, когда типичные длины отдельных соединенных кабелей или длины кабелей, при которых измерены распределения коэффициента PMD, меньше этого значения.

Максимальное значение DGD DGD_{max} : Значение DGD, которое может использоваться при конструировании оптической системы.

Максимальная вероятность P_F : Вероятность того, что фактическое значение DGD превышает DGD_{max} .

I.4 Нелинейный коэффициент

Хроматическая дисперсия взаимодействует с нелинейным коэффициентом n_2/A_{eff} в направлении ухудшения характеристик системы, вызванного нелинейными оптическими эффектами (см. [G.663] и [G.650.2]). Типичные значения зависят от реализации. Методы испытания нелинейного коэффициента все еще остаются в стадии изучения.

I.5 Таблицы типичных значений

Значения в таблицах I.1 и I.2 являются типичными для составных волоконно-оптических линий, соответствующих пп. I.1 и I.3, соответственно. Подразумеваемые максимальные значения DGD для оптического волокна в таблице I.2 предназначены для справок в отношении требований к другим оптическим элементам, которые могут присутствовать в линии.

Таблица I.1/G.656 – Типичные значения для составных волоконно-оптических линий

Характеристика	Диапазон длин волн	Типичное значение для линии (см. примечание)
Коэффициент затухания	1 460 нм – 1 530 нм	0,35 дБ/км
	1 530 нм – 1 565 нм	0,275 дБ/км
	1 565 нм – 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 [G.957] и [G.691].		

Таблица I.2/G.656 – Дифференциальная групповая задержка

Максимальная PMD _Q (пс/√км)	Длина линии (км)	Предполагаемая максимальная DGD, обусловленная 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 Gigabit Ethernet.			

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

I.6 Пределы коэффициента хроматической дисперсии

Уравнения, связывающие коэффициент хроматической дисперсии в зависимости от длины волны, основаны на исследовании волокон, соответствующих Рекомендации 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 приращениях на 5 нм. В зависимости от длины волны и по каждому из продуктов были рассчитаны средние плюс и минус три стандартные отклонения. 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 пункта 7. Остальные данные представляют собой результаты исследований.

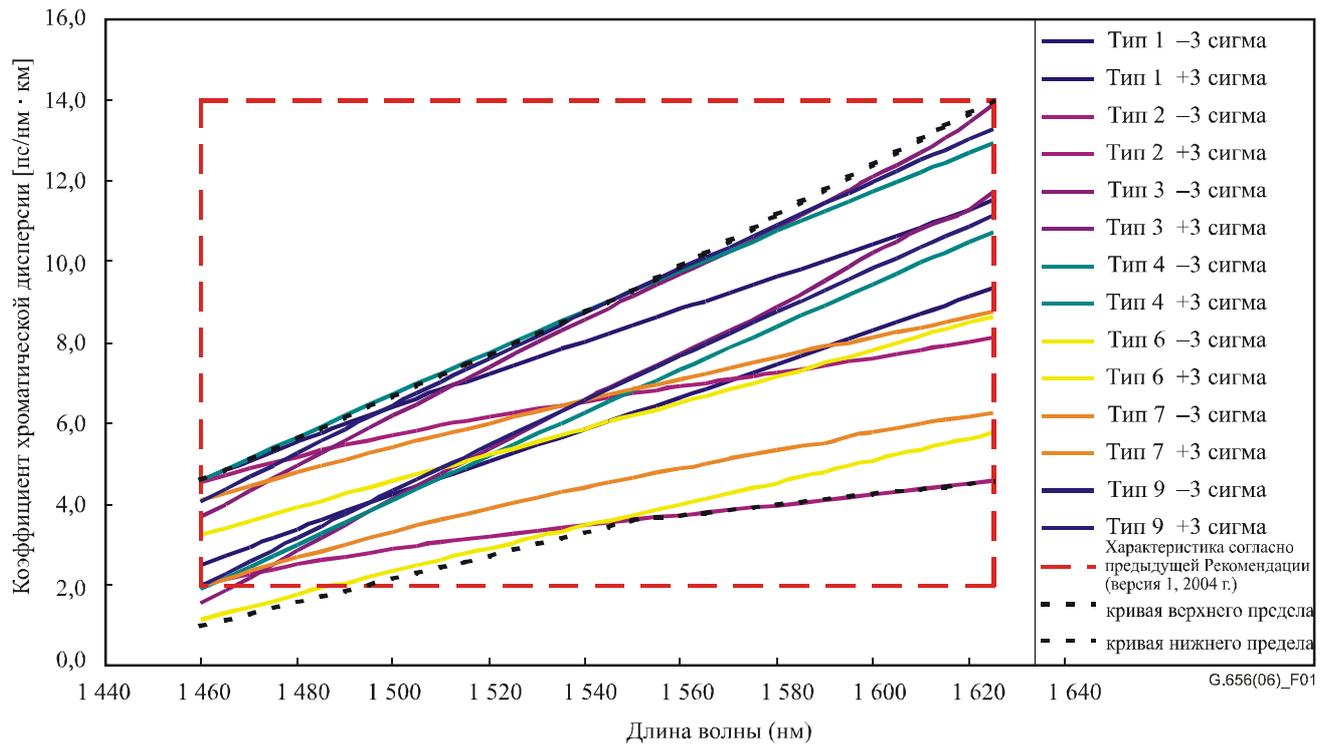


Рисунок I.1/G.656 – Дисперсия волокна, соответствующего данным таблицы 1

БИБЛИОГРАФИЯ

- [G.Sup.39] Рекомендации МСЭ-Т серии G – Дополнение 39 (2006 г.), *Рассмотрение вопросов расчета и проектирования оптических систем.*
- [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	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
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	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	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, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи