

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.655

(11/2009)

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

Характеристики среды передачи и оптических систем –
Волоконно-оптические кабели

**Характеристики одномодового оптического
волокна и кабеля с ненулевой смещенной
дисперсией**

Рекомендация МСЭ-Т G.655

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 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 |
| 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 одномодового оптического волокна и кабеля с ненулевой смещенной дисперсией

Резюме

В настоящей Рекомендации описаны геометрические и механические атрибуты, а также атрибуты передачи одномодового оптического волокна, абсолютное значение коэффициента хроматической дисперсии которого больше некоего ненулевого значения во всем диапазоне длин волн от 1530 нм до 1565 нм. Такая дисперсия подавляет рост нелинейных эффектов, которые могут проявиться особенно сильно в системах плотного мультиплексирования с разделением по длине волны. В рамках предыдущего пересмотра Рекомендации в 2006 году были добавлены две новые категории этого волокна в таблицах D и E. Обе эти категории ограничивают коэффициент хроматической дисперсии парой ограничивающих кривых для диапазона 1460–1625 нм. Несмотря на то, что дисперсия может изменить знак на длинах волн, меньших 1530 нм, включение этих более коротких волн имеет целью обеспечение информации для поддержки приложений грубого мультиплексирования с разделением по длине волны, которые не имеют существенных нелинейных искажений, в каналах с длиной волны от 1471 нм и выше. Эти таблицы представлены для того, чтобы провести различие между двумя основными семействами волокон МСЭ-Т G.655, которые поддерживаются многочисленными поставщиками. Таблица 1 "Атрибуты G.655.A", Таблица 2 "Атрибуты G.655.B" и Таблица 3 "Атрибуты G.655.C" издания 2003 года остались без изменений, и из них в настоящее издание включена только таблица "Атрибуты G.655.C". Настоящая Рекомендация является актуальным пересмотром данной Рекомендации, впервые разработанной в 1996 году. В настоящем пересмотре добавлено новое примечание в таблицы атрибутов G.655.C, G.655.D и G.655.E, которое допускает более высокие максимальные значения затухания в кабеле для коротких кабельных перемычек. Также исключено определение длина волны отсечки кабельной перемычки. Ожидается, что этот пересмотр улучшит согласование со стандартами МЭК.

Хронологическая справка

| Издание | Рекомендация | Утверждение | Исследовательская комиссия | Уникальный идентификатор* |
|---------|--------------|---------------|----------------------------|---|
| 1.0 | МСЭ-Т G.655 | 18.10.1996 г. | 15-я | 11.1002/1000/3936 |
| 2.0 | МСЭ-Т G.655 | 06.10.2000 г. | 15-я | 11.1002/1000/5186 |
| 3.0 | МСЭ-Т G.655 | 16.03.2003 г. | 15-я | 11.1002/1000/6262 |
| 4.0 | МСЭ-Т G.655 | 29.03.2006 г. | 15-я | 11.1002/1000/8751 |
| 5.0 | МСЭ-Т G.655 | 13.11.2009 г. | 15-я | 11.1002/1000/10390 |

* 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 получил извещение 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 | 2 |
| 3 | Термины и определения | 2 |
| 4 | Сокращения | 2 |
| 5 | Атрибуты волокна..... | 2 |
| | 5.1 Диаметр модового поля..... | 3 |
| | 5.2 Диаметр оболочки..... | 3 |
| | 5.3 Погрешность concentричности сердцевины..... | 3 |
| | 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)..... | 6 |
| 7 | Таблицы рекомендованных значений | 6 |
| | Дополнение I – Информация для атрибутов линии и проектирования системы | 11 |
| | I.1 Затухание | 11 |
| | I.2 Хроматическая дисперсия..... | 11 |
| | I.3 Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ)..... | 12 |
| | I.4 Нелинейный коэффициент..... | 12 |
| | I.5 Таблицы общих типичных значений | 12 |
| | I.6 Примеры реализации | 13 |
| | I.7 Пределы коэффициента хроматической дисперсии для таблиц 2 и 3 | 14 |
| | Библиография | 17 |

Введение

Ниже кратко описана эволюция Рекомендации МСЭ-Т G.655 начиная с первого издания в 1996 году и до последнего издания в 2009 году.

- 1996 год Первое издание.
- 2000 год Второе издание. Это издание содержит дополнительные таблицы для различных уровней поддержки системы.
- 2003 год Третье издание. В соответствии с соглашением о спектральных диапазонах описание верхнего предела диапазона L изменено с 16xx на 1625 нм. Термины "базовая подкатегория" и "подкатегория" заменены терминами "базовая категория" и "категория", соответственно. Для всех категорий добавлены требования в отношении PMD и в двух категориях были снижены пределы (по сравнению с $0,5 \text{ пс}/\sqrt{\text{км}}$). Для испытания макроизгиба диаметр сердечника уменьшен до 30 мм в радиусе. Как показано выше, настоящая Рекомендация с годами значительно изменилась; поэтому читателя просят для определения характеристик уже внедренного продукта обращаться к соответствующему изданию с учетом года выпуска. Предполагается, что продукты соответствуют Рекомендации, которая действовала на момент их изготовления, но могут не вполне соответствовать последующим изданиям этой Рекомендации.
- 2006 год Четвертое издание. В это издание добавлены две новые категории данного волокна в таблицах D и E. Обе эти категории ограничивают коэффициент хроматической дисперсии парой ограничивающих кривых для диапазона 1460–1625 нм. Несмотря на то, что дисперсия может изменить знак на длинах волн, меньших 1530 нм, включение этих более коротких волн имеет целью обеспечение информации для поддержки приложений мультиплексирования с разделением по длине волны, которые не имеют существенных нелинейных искажений, в каналах с длиной волны от 1471 нм и выше. Эти таблицы представлены для того, чтобы провести различие между двумя основными семействами волокон G.655, которые поддерживаются многочисленными поставщиками. Таблицы A, B и C остались без изменений. Таблицы A и B не включены в данное издание Рекомендации, но сохранены в издании 2003 года.
- 2009 год Пятое издание. В качестве одной из информативных ссылок добавлен документ IEC 60794-2-11 (2005). Изменена нумерация таблиц. Таблицы 1, 2 и 3 пятого издания соответствуют с таблицам 3, 4 и 5 четвертого издания, соответственно. В таблицах 2 и 3 добавлены требования к коэффициенту PMD для свободного волокна. В таблицах 1 и 3 добавлено новое примечание, которое допускает более высокие максимальные значения затухания кабеля для коротких кабелей.

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля с ненулевой смещенной дисперсией

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержится описание одномодового волокна с коэффициентом хроматической дисперсии (абсолютное значение), величина которого превышает некоторое ненулевое значение на всех длинах волн, больших 1530 нм. Эта дисперсия подавляет рост нелинейных эффектов, которые могут проявиться особенно сильно в системах с плотным мультиплексированием с разделением по длине волны (DWDM). На более коротких длинах волн одно из значений коэффициента дисперсии может быть равно нулю, однако значения коэффициента хроматической дисперсии на этих длинах волн могут быть предусмотрены для поддержки систем грубого мультиплексирования с разделением по длине волны (CWDM), которые не имеют существенных искажений, вызываемых нелинейными эффектами.

Эти волокна первоначально предназначались для использования в предписанном диапазоне длин волн от 1530 нм до 1565 нм. Предусмотрена поддержка перехода на более высокие длины волн вплоть до 1652 нм и на более низкие – до 1460 нм.

В пункте 7 в таблицах 2 и 3 проводится различие между двумя основными семействами реализаций волокон МСЭ-Т G.655, которые поддерживаются многочисленными поставщиками. Таблицы атрибутов G.655.A, G.655.B и G.655.C могут использоваться для определения других реализаций. Таблицы атрибутов G.655.A и G.655.B издания 2003 года не включены в настоящее издание данной Рекомендации.

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.

Настоящая Рекомендация и различные категории рабочих характеристик, приведенные в таблицах раздела 7, предназначены для поддержки следующих связанных с ними системных Рекомендаций:

- МСЭ-Т G.691;
- МСЭ-Т G.692;
- МСЭ-Т G.693;
- МСЭ-Т G.695;
- МСЭ-Т G.696.1;
- МСЭ-Т G.698.1;
- МСЭ-Т G.957;
- МСЭ-Т G.959.1.

Настоящая Рекомендация содержит сочетание конструкций волокна, способное охватить широкий спектр приложений. В будущем можно рассмотреть вопрос о некотором изменении сочетания. Однако системная совместимость волокон с различными характеристиками не подтверждена, и в целом их одновременное использование может вызывать сомнения и должно согласовываться заранее между пользователем и производителями.

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

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.

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

[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.*

3 Термины и определения

Для целей настоящей Рекомендации используются определения, приведенные в [ITU-T G.650.1] и [ITU-T G.650.2]. Перед оценкой соответствия значения должны быть округлены до числа 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 |
| DGD | Differential Group Delay | ДГЗ | Дифференциальная групповая задержка |
| DWDM | Dense Wavelength Division Multiplexing | | Плотное мультиплексирование с разделением по длине волны |
| GPa | GigaPascal | | Гигапаскаль |
| PMD | Polarization Mode Dispersion | | Поляризационная модовая дисперсия |
| PMD_Q | Statistical Parameter for PMD link | | Статистический параметр PMD линии |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy | | Синхронная цифровая иерархия |
| TBD | To Be Determined | | Подлежит определению |
| WDM | Wavelength Division Multiplexing | | Мультиплексирование с разделением по длине волны |

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 остальных рекомендованных характеристиках 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 концентричности сердцевины

Погрешность концентричности сердцевины 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 λ_{cc} ;
- b) волоконная длина волны отсечки λ_c .

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

Корреляция измеренных величин λ_c и λ_{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 λ_{cc} одномодового волокна, уложенного в кабеле, составляет 1480 нм, или, при наихудшем случае длины кабеля и изгибов, когда рекомендованная максимальная волоконная длина волны отсечки λ_c составляет 1470 нм.

Кабельная длина волны отсечки λ_{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 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 σ_p не должен быть меньше минимального значения, указанного в разделе 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определения механических параметров приведены в пп. 3.2.3 и 5.6 в [ITU-T G.650.1].

5.8 Профиль показателя преломления

Как правило, не требуется знать профиль показателя 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 смещение может привести к распространению мощности на волнах другой длины, включая, в том числе, другие рабочие длины волн. Величина мощности при четырехволновом смещении является функцией абсолютного значения коэффициента хроматической дисперсии, наклона хроматической дисперсии, рабочих длин волн, оптической мощности и расстояния, на котором происходит четырехволновое смещение.

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.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Однородность хроматической дисперсии должна быть согласована 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.

5.10.1 Первоначальная форма технических требований

Эта форма технических требований применяется в отношении таблицы 1 в разделе 7, а также таблиц G.655.A и G.655.B.

Коэффициент хроматической дисперсии, D , определяется для диапазона волн путем задания диапазона допустимых абсолютных значений коэффициента хроматической дисперсии. Коэффициент хроматической дисперсии не должен пересекать нуль в пределах указанного диапазона длин волн. Также определяется положительный знак коэффициента хроматической дисперсии. Ниже приведена форма технических требований:

$$D_{min} \leq |D(\lambda)| \leq D_{max} \quad \text{для } \lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max},$$

где:

$$0,1 \text{ пс/нс} \cdot \text{км} \leq D_{min} \leq D_{max} \leq 10 \text{ пс/нм} \cdot \text{км}$$

$$1530 \text{ нм} \leq \lambda_{min} \leq \lambda_{max} \leq 1565 \text{ нм}$$

$$D_{max} \leq D_{min} + 5,0 \text{ пс/нм} \cdot \text{км}.$$

Значения D_{min} , D_{max} , λ_{min} , λ_{max} и знака должны находиться в пределах диапазонов, приведенных в разделе 7. Некоторые примеры реализации приведены в Дополнении I. Рассматривается вопрос о распространении на диапазоны длин волн выше 1565 нм и ниже 1530 нм.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – D_{min} не обязательно достигается при λ_{min} , а D_{max} не обязательно достигается при λ_{max} .

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Знак D не меняется в упомянутом выше диапазоне длин волн для данного оптического волокна, но он может меняться от одного волокна к другому в пределах одной системы.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В зависимости от конструкции системы и типа передачи, возможно, потребуется определить знак D .

5.10.2 Технические требования на основе пары ограничивающих кривых

Эта форма технических требований применяется в отношении таблиц 2 и 3 в разделе 7.

Для каждой длины волны λ коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda)$ ограничивается диапазоном значений, связанных с двумя ограничивающими кривыми $D_{min}(\lambda)$ и $D_{max}(\lambda)$, для одного или нескольких указанных диапазонов длин волн, определенных в плане λ_{min} и λ_{max} .

Примерный набор кривых символически представлен в виде пары 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.

6 Атрибуты кабеля

Геометрические и оптические характеристики волокон, приведенные в разделе 5, 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 диапазоне 1550 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-четырёх) 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 Таблицы рекомендованных значений

В нижеследующих таблицах сведены рекомендованные значения для категорий оптических волокон, отвечающих целям настоящей Рекомендации. Эти категории широко различаются в зависимости от требований в отношении PMD и характеристик хроматической дисперсии. Информацию о расстояниях и скорости передачи данных, относящихся к требованиям в отношении PMD, см. в Дополнении I.

Таблицы 1, 2 и 3 настоящего издания соответствуют таблицам 3, 4 и 5 издания 2006 года, соответственно.

В таблице 1 "Атрибуты G.655.C" сохранена первоначальная "прямоугольная" спецификация для коэффициента дисперсии, служащая эталоном для оптических волокон с отрицательной дисперсией, которые могут быть пригодными как часть линий с управляемой дисперсией, например, таких, которые могут использоваться в подводных системах. Она также поддерживает рекомендации об оптических интерфейсах, например [b-ITU-T G.691], [b-ITU-T G.959.1] и [b-ITU-T G.693]. Для систем DWDM поддерживаются разносы каналов, определенные в [b-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.

В таблице 2 "Атрибуты G.655.D" определяются требования в отношении коэффициента хроматической дисперсии в виде пары ограничивающих кривых в зависимости от длин волн в диапазоне от 1460 нм до 1625 нм. Для длины волн более 1530 нм дисперсия является положительной и вполне достаточной для подавления большей части нелинейных искажений. Для этих длин волн поддерживаются приложения, упомянутые в таблице 1. Для длин волн менее 1530 нм одно из значений дисперсии

является нулевым, однако оптическое волокно может использоваться для поддержки приложений CWDM в каналах от 1471 нм и выше.

В таблице 3 "Атрибуты G.655.E" определяются требования в отношении хроматической дисперсии так же, как и в таблице 2, но с использованием более высоких значений, которые могут быть важными для некоторых систем, например для систем с наименьшим разнесением каналов. Поддерживаются приложения, упомянутые в таблице 1. Этим требованиям отвечают волокна с положительными и ненулевыми значениями в диапазоне длин волн выше 1460 нм.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Эти волокна могут использоваться для многих подводных приложений. Для некоторых приложений полная оптимизация может привести к выбору иных пределов, отличающихся от тех, которые здесь указаны. Одним из примеров является возможность использования кабеля с длиной волны отсечки выше 1500 нм.

В Дополнении I приводятся разные примеры реализации, отличающиеся разными значениями хроматической дисперсии, наклоном дисперсии и различными значениями нелинейного коэффициента линии. Эти варианты свидетельствуют о возможностях различных согласований между мощностью, разнесом каналов, длиной линии, расположением усилителя и скоростью передачи данных.

Таблица 1 – Атрибуты G.655.C

| Атрибуты волокна | | |
|---|------------------------------------|---------------------------------|
| Атрибут | Элемент | Значение |
| Диаметр модового поля | Длина волны | 1 550 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 8–11 мкм |
| | Допуск | ±0,7 мкм |
| Диаметр оболочки | Номинальное значение | 125 мкм |
| | Допуск | ±1 мкм |
| Погрешность эксцентриситета сердцевин | 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 1 625 нм | 0,50 дБ |
| Предел прочности | Минимальное значение | 0,69 ГПа |
| Коэффициент хроматической дисперсии Диапазон длин волн: 1 530–1 565 нм | λ_{min} и λ_{max} | 1 530 нм и 1 565 нм |
| | Минимальное значение D_{min} | 1,0 пс/нм·км |
| | Максимальное значение D_{max} | 10,0 пс/нм·км |
| | Знак | Положительный или отрицательный |
| | $D_{max} - D_{min}$ | ≤5,0 пс/нм·км |
| Коэффициент хроматической дисперсии Диапазон длин волн: 1 565–1 625 нм | λ_{min} и λ_{max} | Подлежит определению |
| | Минимальное значение D_{min} | Подлежит определению |
| | Максимальное значение D_{max} | Подлежит определению |
| | Знак | Положительный или отрицательный |
| Коэффициент PMD свободного волокна | Максимальное значение | (Примечание 1) |

Таблица 1 – Атрибуты G.655.C

| Атрибуты волокна | | |
|--|------------------------------------|-----------------|
| Атрибут | Элемент | Значение |
| Коэффициент затухания (См. Примечание 2) | Максимальное значение при 1 550 нм | 0,35 дБ/км |
| | Максимальное значение при 1 625 нм | 0,4 дБ/км |
| Коэффициент PMD (См. Примечание 3) | M | 20 кабелей |
| | Q | 0,01% |
| | Максимальное значение PMDQ | 0,20 пс/√км |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В соответствии с п. 6.2 указывается максимальное значение PMD_Q свободного волокна для поддержки основного требования к PMD_Q кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения коэффициента затухания, перечисленные в настоящей таблице, не должны применяться к коротким кабелям, таким как кабельные перемычки, кабели в помещениях и абонентские отводы. 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> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Производитель и пользователь могут договориться о больших значениях PMD_Q (например, ≤0,5 пс/√км) для конкретных приложений.</p> | | |

Таблица 2 – Атрибуты G.655.D

| Атрибуты волокна | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Атрибут | Элемент | Значение |
| Диаметр модового поля | Длина волны | 1 550 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 8–11 мкм |
| | Допуск | ±0,6 мкм |
| Диаметр оболочки | Номинальное значение | 125 мкм |
| | Допуск | ±1 мкм |
| Погрешность эксцентриситета сердцевин | Максимальное значение | 0,6 мкм |
| Некруглость оболочки | Максимальное значение | 1,0% |
| Кабельная длина волны отсечки | Максимальное значение | 1 450 нм |
| Потери на макроизгибе | Радиус | 30 мм |
| | Число витков | 100 |
| | Максимальное значение при 1 625 нм | 0,1 дБ |
| Предел прочности | Минимальное значение | 0,69 ГПа |

Таблица 2 – Атрибуты G.655.D

| Атрибуты волокна | | |
|--|---------------------------------------|--|
| Атрибут | Элемент | Значение |
| Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм·км) | $D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 нм | $\frac{7,00}{90}(\lambda - 1460) - 4,20$ |
| | $D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 нм | $\frac{2,97}{75}(\lambda - 1550) + 2,80$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 нм | $\frac{2,91}{90}(\lambda - 1460) + 3,29$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 нм | $\frac{5,06}{75}(\lambda - 1550) + 6,20$ |
| Коэффициент PMD свободного волокна | Максимальное значение | (Примечание 1) |
| Коэффициент затухания (См. Примечание 2) | Максимальное значение при 1 550 нм | 0,35 дБ/км |
| | Максимальное значение при 1 625 нм | 0,4 дБ/км |
| Коэффициент PMD (См. Примечание 3) | M | 20 кабелей |
| | Q | 0,01% |
| | Максимальное значение PMDQ | 0,20 пс/√км |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В соответствии с п. 6.2 указывается максимальное значение PMD_Q свободного волокна для поддержки основного требования к PMD_Q кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения коэффициента затухания, перечисленные в настоящей таблице, не должны применяться к коротким кабелям, таким как кабельные перемычки, кабели в помещениях и абонентские отводы. 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> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Производитель и пользователь могут договориться о больших значениях PMD_Q (например, $\leq 0,5$ пс/√км) для конкретных приложений.</p> | | |

Таблица 3 – Атрибуты G.655.E

| Атрибуты волокна | | |
|--|-------------------------------|-----------------|
| Атрибут | Описание | Значение |
| Диаметр модового поля | Длина волны | 1 550 нм |
| | Диапазон номинальных значений | 8–11 мкм |
| | Допуск | $\pm 0,6$ мкм |
| Диаметр оболочки | Номинальное значение | 125 мкм |
| | Допуск | ± 1 мкм |
| Погрешность эксцентриситета сердцевины | Максимальное значение | 0,6 мкм |
| Некруглость оболочки | Максимальное значение | 1,0% |
| Кабельная длина волны отсечки | Максимальное значение | 1 450 нм |

Таблица 3 – Атрибуты G.655.E

| Атрибуты волокна | | |
|---|-------------------------------------|---|
| Атрибут | Описание | Значение |
| Потери на макроизгибе | Радиус | 30 мм |
| | Число витков | 100 |
| | Максимальное значение при 1 625 нм | 0,1 дБ |
| Предел прочности | Минимальное значение | 0,69 ГПа |
| Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм·км) | $D_{min}(\lambda)$: 1 460–1 550 нм | $\frac{5,42}{90}(\lambda - 1 460) + 0,64$ |
| | $D_{min}(\lambda)$: 1 550–1 625 нм | $\frac{3,30}{75}(\lambda - 1 550) + 6,06$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1 460–1 550 нм | $\frac{4,65}{90}(\lambda - 1 460) + 4,66$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1 550–1 625 нм | $\frac{4,12}{75}(\lambda - 1 550) + 9,31$ |
| Коэффициент PMD свободного волокна | Максимальное значение | (См. Примечание 1) |
| Коэффициент затухания (См. Примечание 2) | Максимальное значение при 1 550 нм | 0,35 дБ/км |
| | Максимальное значение при 1 625 нм | 0,4 дБ/км |
| Коэффициент PMD (См. Примечание 3) | M | 20 кабелей |
| | Q | 0,01% |
| | Максимальное значение PMDQ | 0,20 пс/√км |
| <p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В соответствии с п. 6.2 указывается максимальное значение PMD_Q свободного волокна для поддержки основного требования к PMD_Q кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения коэффициента затухания, перечисленные в настоящей таблице, не должны применяться к коротким кабелям, таким как кабельные переключки, кабели в помещениях и абонентские отводы. 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> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Производитель и пользователь могут договориться о больших значениях PMD_Q (например, ≤0,5 пс/√км) для конкретных приложений.</p> | | |

Дополнение I

Информация для атрибутов линии и проектирования системы

(Данное дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Составная линия обычно включает несколько соединенных строительных участков волоконно-оптического кабеля. Требования к строительным длинам 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 некоторое распределение вероятности, которое нередко должно учитываться для получения наиболее экономических проектов. Приведенные ниже пункты следует рассматривать с учетом статистической природы 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 сростки, соединители и монтаж. В настоящей Рекомендации эти факторы не определяются. Для оценки атрибутов линии в п. I.5 приведены типичные значения волоконно-оптических линий. В п. I.6 содержатся примеры реализации, где типичные значения хроматической дисперсии различаются в зависимости от примера. Методы оценки необходимых для проектирования системы параметров основаны на измерениях, моделировании или других соображениях.

I.1 Затухание

Затухание A в линии связи равно:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y,$$

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 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.). Приведенное выше уравнение не включает потери в соединителях оборудования. Типичные значения, приведенные в п. I.5, относятся к коэффициенту затухания волоконно-оптических линий 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. Эта 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. Значения для данных примеров приведены в п. I.6. Эти значения вместе с длиной линии L_{Link} могут использоваться для вычисления типичной хроматической дисперсии с целью применения при проектировании оптической линии.

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

I.3 Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ)

Дифференциальная групповая задержка – 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.

- 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} .

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

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 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 – Значения затухания в линии

| Коэффициент затухания | Диапазон длин волн | Типичное значение для линии |
|--|--------------------|-----------------------------|
| (Примечание) | 1 530–1 565 нм | 0,275 дБ/км |
| | 1 565–1 625 нм | 0,35 дБ/км |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Типичное значение для линии соответствует коэффициенту затухания линии, используемому в [b-ITU-T G.957] и [b-ITU-T G.692]. | | |

Таблица I.2 – Дифференциальная групповая задержка

| Максимальная PMDQ (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 1) | 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 1. – Это значение применимо также к системам 10-гигабитного Ethernet. | | | |
| ПРИМЕЧАНИЕ 2. – 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 Примеры реализации

Ниже приводятся примеры реализации, разработанные для выбора различных оптимальных соотношений, мощности, разнесения каналов, расположения усилителя, длины линии и скорости передачи данных. Все эти примеры отражают, прежде всего, различные варианты допускаемых значений хроматической дисперсии, наклона дисперсии и нелинейного коэффициента. Это только примеры, которые не исключают других возможных реализаций. Показатели для примеров взяты произвольно и не отражают какое-либо приоритетное значение.

Таблица I.3 – Примеры для $\lambda_{min} = 1530$ нм и $\lambda_{max} = 1565$ нм

| Пример ID | D_{min} (пс/нм·км) | D_{max} (пс/нм·км) | Знак | Типичный коэффициент дисперсии при 1 550 нм (пс/нм·км) | Типичный наклон дисперсии при 1 550 нм (пс/нм ² ·км) |
|---|----------------------|----------------------|------|--|---|
| A | 1,3 | 5,8 | + | 3,7 | 0,070 |
| B | 2,0 | 6,0 | + | 4,2 | 0,085 |
| C | 2,6 | 6,0 | + | 4,4 | 0,045 |
| D | 5,0 | 10,0 | + | 8,0 | 0,058 |
| E | 1,0 | 6,0 | – | –2,3 | 0,065 |
| ПРИМЕЧАНИЕ. – Соответствующие значения хроматической дисперсии для диапазона длин волн 1600 нм находятся в стадии рассмотрения. | | | | | |

1.7 Пределы коэффициента хроматической дисперсии для таблиц 2 и 3

Уравнения, ограничивающие коэффициент хроматической дисперсии в зависимости от длины волн, построены на основе результатов двух обследований: результатов обследования волокон, представленных в таблице 2, и результатов обследования волокон, представленных в таблице 3. Соответственно было пять и четыре поставщика. Каждым обеспечено среднее стандартное отклонение в зависимости от длины волны в диапазоне длин волн 1460–1625 нм с шагом 5 нм. Для каждой длины волны и каждого поставщика были рассчитаны три средних стандартных отклонения со знаком плюс и знаком минус. Затем было рассчитано минимальное и максимальное значение по всем поставщикам. 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 для таблиц 2 и 3 показаны на рисунках 1.1 и 1.2 соответственно. Сплошными линиями обозначены пределы, упомянутые в разделе 7. Остальные данные представляют результаты обследования.

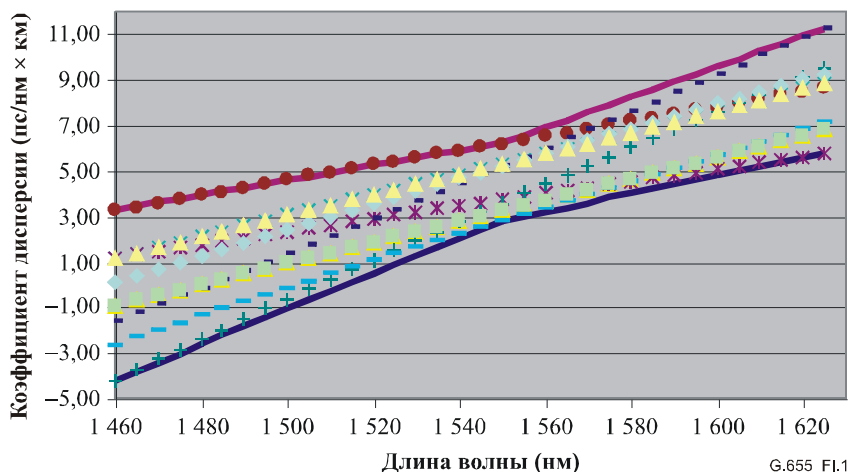


Рисунок 1.1 – Граница дисперсии оптического волокна в таблице 2

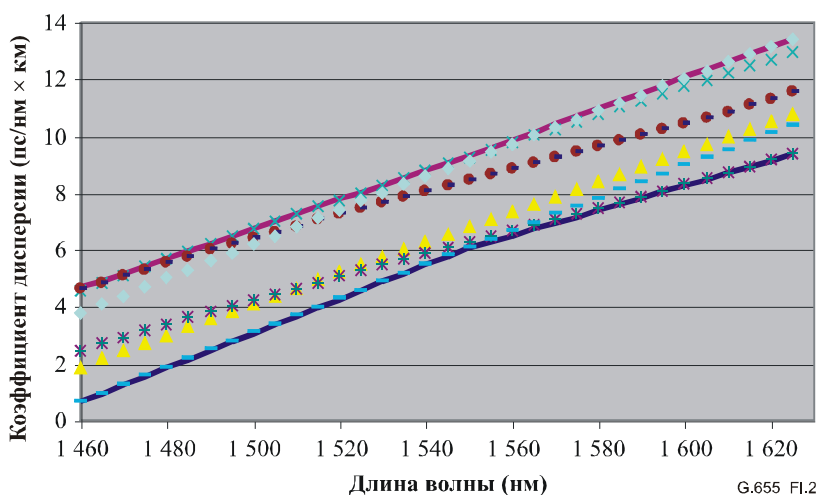


Рисунок 1.2 – Граница дисперсии оптического волокна в таблице 3

Пределы, указанные в разделе 7, установлены для отдельных волокон. Диапазон значений, связанных с линиями, представляющими собой соединение отдельных оптических волокон, может быть меньше. Для оптических волокон G.652 МСЭ-Т, где разнообразие значений в зависимости от поставщика меньше, в целях ограничения системы может использоваться среднее плюс один стандартное отклонение, документально отраженное в Дополнении 39 к Рекомендациям МСЭ-Т серии G.

Изложенная выше методика применялась для определения ограничивающих кривых, которые включают все результаты среднего плюс или минус один стандартного отклонения. Эти результаты представлены в графической форме на рисунках I.3 и I.4. Для сравнения представлены также данные стандартных отклонений в пределах плюс или минус три. Уравнения, которые ограничивают результаты стандартного отклонения в пределах плюс или минус один, приводятся в таблицах I.4 и I.5.

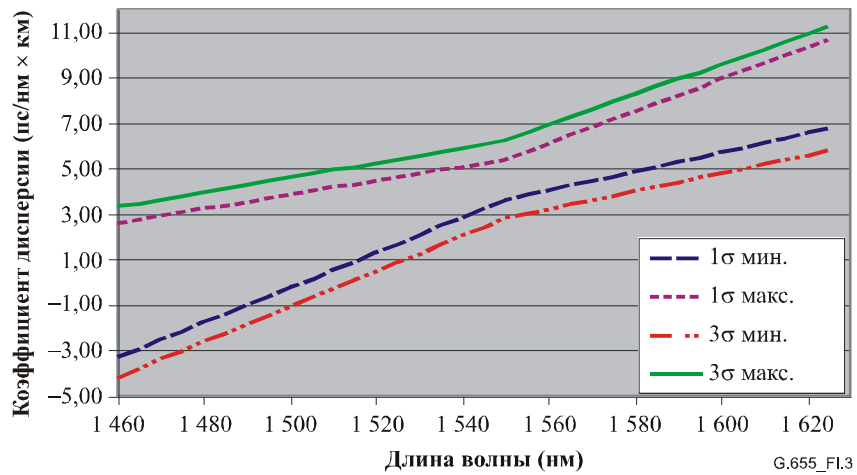


Рисунок I.3 – Сопоставление границ дисперсии оптического волокна в таблице 2

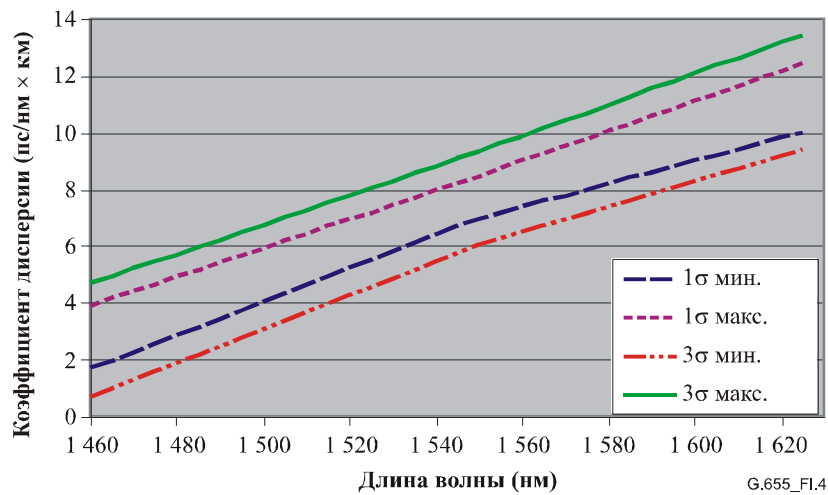


Рисунок I.4 – Сопоставление границ дисперсии оптического волокна в таблице 3

Таблица I.4 – Пределы стандартного отклонения \pm один волокна в таблице 2

| | | |
|---|-------------------------------------|--|
| Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм·км) | $D_{min}(\lambda)$: 1 460–1 550 нм | $\frac{6,94}{90}(\lambda - 1\,460) - 3,34$ |
| | $D_{min}(\lambda)$: 1 550–1 625 нм | $\frac{3,13}{75}(\lambda - 1\,550) + 3,60$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1 460–1 550 нм | $\frac{2,78}{90}(\lambda - 1\,460) + 2,60$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1 550–1 625 нм | $\frac{5,28}{75}(\lambda - 1\,550) + 5,38$ |

Таблица I.5 – Предел стандартного отклонения \pm один волокна в таблице 3

| | | |
|---|-------------------------------------|--|
| Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм·км) | $D_{min}(\lambda)$: 1 460–1 550 нм | $\frac{5,28}{90}(\lambda - 1\,460) + 1,68$ |
| | $D_{min}(\lambda)$: 1 550–1 625 нм | $\frac{3,05}{75}(\lambda - 1\,550) + 6,96$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1 460–1 550 нм | $\frac{4,56}{90}(\lambda - 1\,460) + 3,89$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1 550–1 625 нм | $\frac{3,96}{75}(\lambda - 1\,550) + 8,45$ |

Библиография

- [b-ITU-T G.663] Рекомендация МСЭ-Т G.663 (2000 г.), *Аспекты применения волоконно-оптических усилительных элементов и подсистем.*
- [b-ITU-T G.691] Recommendation ITU-T G.691 (2006), *Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.*
- [b-ITU-T G.692] Recommendation ITU-T G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- [b-ITU-T G.693] Recommendation ITU-T G.693 (2006), *Optical interfaces for intra-office systems.*
- [b-ITU-T G.694.1] Recommendation ITU-T G.694.1 (2002), *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.*
- [b-ITU-T G.695] Рекомендация МСЭ-Т G.695 (2005 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 (2005 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] Recommendation ITU-T G.959.1 (2006), *Optical transport network physical layer interfaces.*
- [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 61282-3] IEC/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication design guides – Part 3: Calculation of 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
- 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 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 Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
- 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