



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.655

(03/2006)

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

Характеристики среды передачи –
Волоконно-оптические кабели

**Характеристики одномодового волоконно-
оптического волокна и кабеля с ненулевым
дисперсионным смещением**

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 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	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.649
Волоконно-оптические кабели	G.650–G.659
Характеристики оптических компонентов и подсистем	G.660–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
ETHERNET И АСПЕКТЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ СООБЩЕНИЙ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

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

Рекомендация МСЭ-Т G.655

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля с ненулевым дисперсионным смещением

Резюме

В настоящей Рекомендации содержится описание геометрических, механических и передаточных атрибутов 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 особенно вредны в системах плотного волнового мультиплексирования. Это последний пересмотр рекомендации, которая впервые была издана в 1996 году. В рамках настоящей пересмотренной Рекомендации 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 волнового мультиплексирования, 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 настоящее издание этой Рекомендации, но сохранены в издании 2003 года.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.655 утверждена 29 марта 2006 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т A.8.

- | | |
|----------|---|
| 1996 год | Первое издание. |
| 10/2000 | Второе издание. Это издание содержит дополнительные таблицы для различных уровней поддержки системы. |
| 03/2003 | Третье издание. В соответствии с соглашением о спектральных диапазонах описание верхнего предела диапазона L изменено с 16xx на 1625 нм. Термины "базовая субкатегория" и "субкатегория" 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 пс/√км). Для испытания макроизгиба диаметр оправки 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. В сущности, предполагается, что продукты соответствуют рекомендации, которая действовала на момент их изготовления, но могут не вполне соответствовать последующим изданиям этой Рекомендации. |

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 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 2006

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

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения	1
2 Справочные документы	2
2.1 Нормативные справочные документы	2
2.2 Информационные справочные документы	2
3 Термины и определения	2
4 Сокращения	3
5 Характеристики волокна	3
5.1 Диаметр модового поля	3
5.2 Диаметр оболочки	3
5.3 Эксцентриситет сердцевины	3
5.4 Неокруглость	3
5.5 Длина волны отсечки	4
5.6 Потери на макроизгибах	4
5.7 Материальные свойства волокна	4
5.8 Профиль показателя преломления	5
5.9 Продольная равномерность хроматической дисперсии	5
5.10 Коэффициент хроматической дисперсии	5
6 Атрибуты кабеля	6
6.1 Коэффициент затухания	6
6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии (PMD)	6
7 Таблицы рекомендованных значений	7
Дополнение I – Информация, касающаяся 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 D и E	13
ЛИТЕРАТУРА	17

Рекомендация G.655

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля с ненулевым дисперсионным смещением

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 особенно вредны в системах плотного волнового мультиплексирования (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 волнового мультиплексирования (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 D и E проводится различие между двумя основными семействами реализаций волокон G.655, которые поддерживаются многочисленными поставщиками. Таблицы A, B и C могут использоваться для определения других реализаций. Таблицы A и B не включены в настоящую публикацию, но содержатся в данной Рекомендации издания 2003 года.

Геометрические, оптические, передаточные и механические параметры описаны ниже в трех категориях характеристик:

- атрибуты волокна – это свойства, которые сохраняются на протяжении всего процесса укладки кабеля и установки;
- атрибуты кабеля, рекомендованные для кабелей при их поставке;
- атрибуты линии, которые являются характеристиками сочлененных кабелей, с описанием методов оценки параметров интерфейса системы на основе измерений, моделирования или других соображений. Информация об атрибутах линии и конструкции системы приводится в Дополнении I.

Настоящая Рекомендация и различные категории рабочих характеристик, приведенных в таблицах пункта 7, предназначены для поддержки нижеследующих связанных с этим вопросом Рекомендаций, касающихся системы:

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

Значение терминов, используемых в настоящей Рекомендации, и руководящих указаний, которым надлежит следовать при проведении измерений для проверки различных характеристик, приводятся в Рекомендациях МСЭ-Т G.650.1 и G.650.2. Характеристики данного волокна, включая определения соответствующих параметров, методы их проверки и соответствующие значения, будут уточняться по мере проведения исследований и 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.

- ITU-T Recommendation G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.650.2 (2005 г.), *Определения и методы тестирования статистических и нелинейных взаимосвязанных атрибутов одномодового волокна и кабеля.*

2.2 Информационные справочные документы

- Рекомендация МСЭ-Т G.663 (2000 г.), *Аспекты применения волоконно-оптических усилительных элементов и подсистем.*
- ITU-T Recommendation G.691 (2006), *Optical interfaces for single-channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.*
- ITU-T Recommendation G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- ITU-T Recommendation G.693 (2006), *Optical interfaces for intra-office systems.*
- ITU-T Recommendation G.694.1 (2002), *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.695 (2005 г.), *Оптические интерфейсы для приложений, использующих грубое мультиплексирование с разделением по длине волны.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.696.1 (2005 г.), *Внутридоменные приложения плотного волнового уплотнения (DWDM), совместимые в продольном направлении.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.698.1 (2005 г.), *Многоканальные приложения DWDM с одноканальными оптическими интерфейсами.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.698.1 (2006 г.), *Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети.*

3 Термины и определения

Для целей настоящей Рекомендации используются определения, приведенные в Рекомендациях МСЭ-Т G.650.1 и 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}	Эффективная площадь (поперечного сечения)
CWDM	Грубое мультиплексирование с разделением по длине волны; грубое волновое мультиплексирование
ДГЗ	Дифференциальная групповая задержка
DWDM	Плотное мультиплексирование с разделением по длине волны
ГПа	Гигапаскали
PMD	Поляризационная модовая дисперсия
PMD_Q	Статистический параметр для линии PMD
СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
TBD	Будет определено позднее
WDM	Волновое мультиплексирование

5 Характеристики волокна

В этом пункте рекомендуются только те характеристики оптического волокна, которые обеспечивают минимально необходимую изготовителям волокна основу для проектирования. Диапазоны или пределы значений представлены в таблицах в п. 7. Изготовление или прокладка 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 проложенном кабеле.

5.1 Диаметр модового поля

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

5.3 Эксцентриситет сердцевины

Эксцентриситет сердцевины не должен превышать значение, приведенное в п. 7.

5.4 Неокруглость

5.4.1 Неокруглость поля

На практике неокруглость модового поля волокон, имеющих номинально круглые модовые поля, обычно достаточно мала и не влияет на распространение и сращивание. Поэтому считается нецелесообразным рекомендовать конкретное значение неокруглости модового поля. Обычно не возникает необходимости измерять неокруглость модового поля для приемки.

5.4.2 Неокруглость оболочки

Неокруглость 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 кроссировочного 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 1480 нм, или путем рекомендации для типичных переемычек максимальной длины волны отсечки кроссировочного кабеля, равной 1480 нм, или путем рекомендации для наихудшего случая по длине и изгибам максимальной длины волны отсечки оптического волокна, равной 1470 нм.

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

5.6 Потери на макроизгибах

Потери на макроизгибах зависят от длины волны, радиуса изгиба и количества витков, навитых на оправку с указанным радиусом. Потери на макроизгибах не должны превышать максимального значения, приведенного в п. 7 для указанной длины волны (длин волн), радиуса изгиба и числа витков.

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

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

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Если по практическим причинам для реализации выбрано меньшее число 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 шлейф меньшего диаметра с одним или несколькими витками для обеспечения точности и простоты измерения. В этом случае следует выбирать диаметр шлейфа, число витков и максимальное допустимое затухание при изгибе для испытания с несколькими витками с целью обеспечения корреляции с рекомендованным испытанием и допустимыми потерями.

5.7 Материальные свойства волокна

5.7.1 Материалы волокон

Следует указывать вещества, из которых изготовлены волокна.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Следует соблюдать осторожность при сращивании путем расплавления волокон, состоящих из различных веществ. Предварительные результаты показывают, что адекватные потери в сращениях и прочность могут достигаться при сращивании различных 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 одиночного волокна в оболочке 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. 3.2.3/G.650.1 и 5.6/G.650.1.

5.8 Профиль показателя преломления

Обычно не требуется знать профиль показателя преломления 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 большой длины волны. Если это значение уменьшается до малого значения при длине волны, близкой к рабочей длине волны системы WDM, то четырехволновое смешивание может привести к распространению мощности на других длинах волн, включая другие рабочие длины волн, но не ограничиваясь ими. Величина мощности 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 длин волн. В Рекомендации МСЭ-Т G.650.1 предусматриваются методы измерения. Существуют два метода определения пределов: первоначальный метод, представляющий собой технические требования по методу черного ящика, и новый метод, при котором значения коэффициента дисперсии ограничиваются парой кривых.

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

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Требования к хроматической дисперсии следуют из конструкции системы WDM, которая должна обеспечивать сбалансирование хроматической дисперсии первого порядка с различными нелинейными эффектами, такими как четырехволновое смешивание, перекрестная фазовая модуляция, нестабильность модуляции, вызванное рассеяние Бриллюэна и формирование солитона (см. Рекомендацию МСЭ-Т G.663). Эффект хроматической дисперсии взаимодействует с нелинейностью волокна, описываемой коэффициентом нелинейности.

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

5.10.1 Первоначальная форма технических требований

Эта форма технических требований применяется в отношении таблицы С в п. 7, а также таблиц А и В настоящей Рекомендации издания 2003 года.

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 п. 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 D и E в п. 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

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 диапазоне 1550 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 на основе измерений на нескольких (3–4) прогнозируемых длинах волн. Эта процедура описана в п. 5.4.4/G.650.1 и в примере, приведенном в Добавлении III/G.650.1.

6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии (PMD)

Поляризационная модовая дисперсия волокна в кабеле в случае необходимости определяется 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 МЭК/TR 61282-3 и кратко изложены в Дополнении IV/G.650.2.

Изготовитель должен предоставить расчетное значение PMD для линии, PMD_Q , 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 спецификации некаблированных оптических волокон необходимы, но недостаточны для обеспечения спецификации каблированных оптических волокон. Максимальное расчетное значение для линии, определенное для некаблированного волокна, меньше значения, определенного для каблированного волокна, или равно ему. Отношение значений PMD для некаблированного волокна к каблированному волокну зависит от особенностей конструкции и обработки кабеля, а также от состояния связи мод некаблированного волокна. В Рекомендации G.650.2 рекомендуется расположение волокон со слабой связью мод, требующее слабого натяжения витка на бобине большого диаметра для измерений PMD некаблированного волокна.

Пределы распределения значений коэффициента PMD могут интерпретироваться как почти эквивалентные пределам статистического распределения дифференциальной групповой задержки (ДГЗ), которое изменяется случайным образом в зависимости от времени и длины волны. Если для волоконно-оптического кабеля указано распределение коэффициента PMD, то можно определить эквивалентные пределы изменения ДГЗ. Метрика и значения пределов распределения ДГЗ приведены в Добавлении I.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Спецификация PMD_Q может потребоваться лишь в том случае, когда кабели используются для систем, спецификация которых предусматривает максимальное значение ДГЗ, например, спецификация PMD_Q не будет применяться к системам, рекомендованным в Рекомендации МСЭ-Т G.957.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения PMD_Q должны рассчитываться для различных типов кабелей, обычно они должны вычисляться с использованием выборочных значений PMD. Выборки должны производиться для кабелей, имеющих аналогичную конструкцию.

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

7 Таблицы рекомендованных значений

В нижеследующих таблицах сведены рекомендованные значения для целого ряда 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.

Таблица 1 "Атрибут G.655.A" и таблица 2 "Атрибут G.655.B" находятся в издании настоящей Рекомендации за 2003 год.

В таблице 3 "Атрибут G.655.C" содержится первоначальная спецификация по методу черного ящика 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 Рекомендации МСЭ-Т G.691, G.959.1 и G.693. Для систем DWDM поддерживаются разнесения каналов, определенные в Рекомендации МСЭ-Т G.694.1, в зависимости от выбранной минимальной дисперсии. Требование в отношении PMD обеспечивает работу систем STM-64 на расстояния до 2000 км в зависимости от других элементов этой системы.

В таблице 4 "Атрибут 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 3. 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 5 "Атрибут G.655.E" определяются требования в отношении хроматической дисперсии так же, как и в таблице 4, 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 3. 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 друг от друга разными значениями хроматической дисперсии, наклоном дисперсионной кривой и различными значениями нелинейного коэффициента для линии. Эти варианты свидетельствуют о возможностях различных согласований между мощностью, разнесением каналов, длиной линии, расположением усилителя и скоростью передачи данных.

Таблица 3/G.655 – Атрибуты G.655.C

Атрибуты волокна		
Атрибут	Описание	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
Эксцентриситет сердцевины	Максимальное значение	0,8 мкм
Неокруглость 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 1 625 нм	0,50 дБ
Допустимое напряжение	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}	TBD
	Минимальное значение D_{min}	TBD
	Максимальное значение D_{max}	TBD
	Знак	Положительный или отрицательный
Коэффициент PMD для некаблированного волокна	Максимальное значение	(См. Примечание 1)
Атрибуты кабеля		
Атрибут	Описание	Значение
Коэффициент затухания	Максимальное значение при 1 550 нм	0,35 дБ/км
	Максимальное значение при 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. – В соответствии с п. 6.2 максимальное значение PMD_Q для некаблированного волокна указывается для поддержки основного требования по PMD_Q к кабелю.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Производитель и пользователь могут договориться о больших значениях PMD_Q (например, ≤0,5 пс/√км) для конкретных приложений.</p>		

Таблица 4/G.655 – Атрибуты G.655.D

Атрибуты волокна		
Атрибут	Описание	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
Эксцентриситет сердцевины	Максимальное значение	0,6 мкм
Неокруглость оболочки	Максимальное значение	1,0%
Длина волны отсечки кабеля	Максимальное значение	1 450 нм
Затухание при макроизгибах	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимальное значение при 1 625 нм	0,1 дБ
Допустимое напряжение	Минимальное значение	0,69 ГПа
Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм·км)	$D_{min}(\lambda)$: 1 460–1 550 нм	$\frac{7,00}{90}(\lambda - 1 460) - 4,20$
	$D_{min}(\lambda)$: 1 550–1 625 нм	$\frac{2,97}{75}(\lambda - 1 550) + 2,80$
	$D_{max}(\lambda)$: 1 460–1 550 нм	$\frac{2,91}{90}(\lambda - 1 460) + 3,29$
	$D_{max}(\lambda)$: 1 550–1 625 нм	$\frac{5,06}{75}(\lambda - 1 550) + 6,20$
Атрибуты кабеля		
Атрибут	Описание	Значение
Коэффициент затухания	Максимальное значение при 1 550 нм	0,35 дБ/км
	Максимальное значение при 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. – В соответствии с п. 6.2 максимальное значение PMD_Q для некаблированного волокна указывается для поддержки основного требования по PMD_Q к кабелю.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Производитель и пользователь могут договориться о больших значениях PMD_Q (например, ≤0,5 пс/√км) для конкретных приложений.</p>		

Таблица 5/G.655 – Атрибуты G.655.E

Атрибуты волокна		
Атрибут	Описание	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
Эксцентриситет сердцевины	Максимальное значение	0,6 мкм
Неокруглость оболочки	Максимальное значение	1,0%
Длина волны отсечки кабеля	Максимальное значение	1 450 нм
Затухание при макроизгибах	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимальное значение при 1 625 нм	0,1 дБ
Допустимое напряжение	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	$\frac{4,12}{75}(\lambda - 1 550) + 9,31$
Атрибуты кабеля		
ААтрибут	Атрибут	Атрибут
Коэффициент затухания	Максимальное значение при 1 550 нм	0,35 дБ/км
	Максимальное значение при 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. – В соответствии с п. 6.2 максимальное значение PMD_Q для некаблированного волокна указывается для поддержки основного требования по PMD_Q к кабелю.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Производитель и пользователь могут договориться о больших значениях PMD_Q (например, ≤0,5 пс/√км) для конкретных приложений.</p>		

Дополнение I

Информация, касающаяся атрибутов линии и проектирования системы

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 экономичных проектов. Приведенные ниже пункты следует рассматривать с учетом статистической природы различных параметров.

На атрибуты линии влияют и другие факторы, кроме волоконно-оптических кабелей, такие как сростки, разъемы и прокладка. Эти факторы не могут быть определены в настоящей Рекомендации. Для оценки атрибутов линии в п. I.5 даны 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 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 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, изменения температуры и т. д.). Приведенное выше уравнение не включает потери в разъемах оборудования. Типичные значения, приведенные в п. I.5, относятся к коэффициенту затухания волоконно-оптических линий. 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 исходя из коэффициентов хроматической дисперсии строительных длин в предположении линейной зависимости от длины и при правильном учете знаков коэффициентов (см. п. 5.10).

Если эти оптические волокна используются для передачи в диапазоне длин волн 1550 нм, то иногда используется аккомодация хроматической дисперсии. В этом случае для проектирования используется средняя хроматическая дисперсия линии. Это соотношение задается как обычный коэффициент хроматической дисперсии и коэффициент 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 можно найти в п. I.6. Эти значения вместе с длиной линии L_{Link} можно использовать для вычисления типичной 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 различие во времени прибытия на конкретной длине волны и в конкретный момент времени двух мод поляризации. Для линии с определенным коэффициентом PMD распределение ДГЗ линии изменяется случайным образом 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 в конкретный момент времени и на конкретной длине волны зависит от ДГЗ для этого момента времени и длины волны. Поэтому были разработаны средства установления полезных пределов распределения ДГЗ, поскольку это распределение связано с распределением коэффициента PMD волоконно-оптического кабеля и его пределами; они описаны в стандарте МЭК/TR 61282-3. Ниже приведена метрика ограничений распределения ДГЗ:

- Эталонная длина линии L_{Ref} : Максимальная длина линии, к которой применяются максимальная ДГЗ и вероятность. Для более длинных линий умножьте максимальное значение ДГЗ 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 ДГЗ, $ДГЗ_{max}$: Значение ДГЗ, которое может использоваться при проектировании оптической системы.
- Максимальная вероятность P_F : Вероятность того, что фактическое значение ДГЗ превышает $ДГЗ_{max}$.

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

I.4 Нелинейный коэффициент

Хроматическая дисперсия взаимодействует с нелинейным коэффициентом n_2/A_{eff} в направлении ухудшения характеристик системы, вызванных нелинейными оптическими эффектами (см. Рекомендации МСЭ-Т G.663 и G.650.2). Типичные значения зависят от реализации. Методы испытания нелинейного коэффициента остаются на стадии изучения.

I.5 Таблицы общих 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. Предполагаемые максимальные значения ДГЗ волокна в таблице I.2 предназначены для руководства в отношении требований к другим оптическим элементам, которые могут присутствовать в линии.

Таблица I.1/G.655 – Значения затухания 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 Рекомендациях МСЭ-Т G.957 и G.692.

Таблица I.2/G.655 – Дифференциальная групповая задержка

Максимальная PMD_Q (пс/ $\sqrt{км}$)	Длина линии (км)	Предполагаемая максимальная ДГЗ 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 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 Ethernet со скоростью 10 Гбит/с.
 ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Длина участка кабеля составляет 10 км, кроме линии с 0,10 пс/ $\sqrt{км}$, >4000 км, где она равна 25 км, уровень вероятности равен $6,5 \cdot 10^{-8}$.

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/G.655 – 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.

I.7 Пределы коэффициента хроматической дисперсии для таблиц D и E

Уравнения, ограничивающие коэффициент хроматической дисперсии в зависимости от длины волн, построены на основе результатов двух обследований: результатов обследования волокон, представленных в таблице D, и результатов обследования волокон, представленных в таблице E. Соответственно было пять и четыре поставщиков. 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 были приведены в соответствие с линейным сплайном с использованием точки излома в диапазоне 1550 нм для сведения к минимуму абсолютных значений отклонения при сохранении принципа включения всех данных в пределах огибающей.

Результаты для таблиц D и E показаны на рисунках I.1 и I.2, соответственно. Сплошными линиями обозначены пределы, упомянутые в п. 7. Остальные данные представляют результаты обследования.

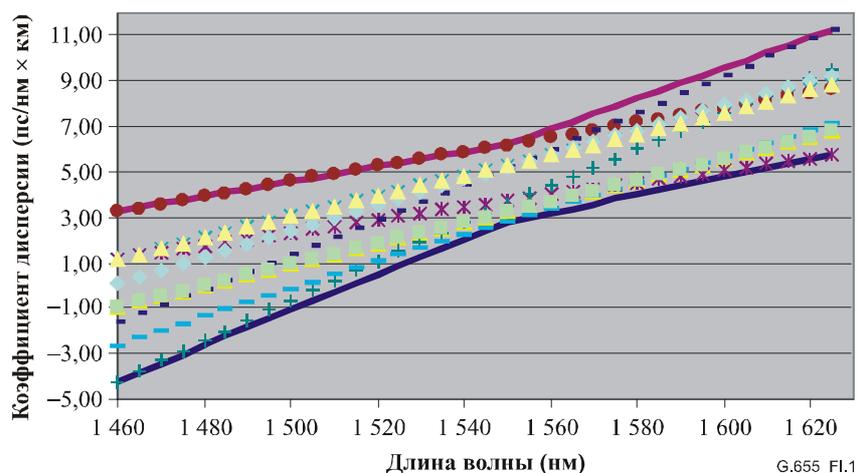


Рисунок I.1/G.655 – Граница дисперсии оптического волокна в таблице D

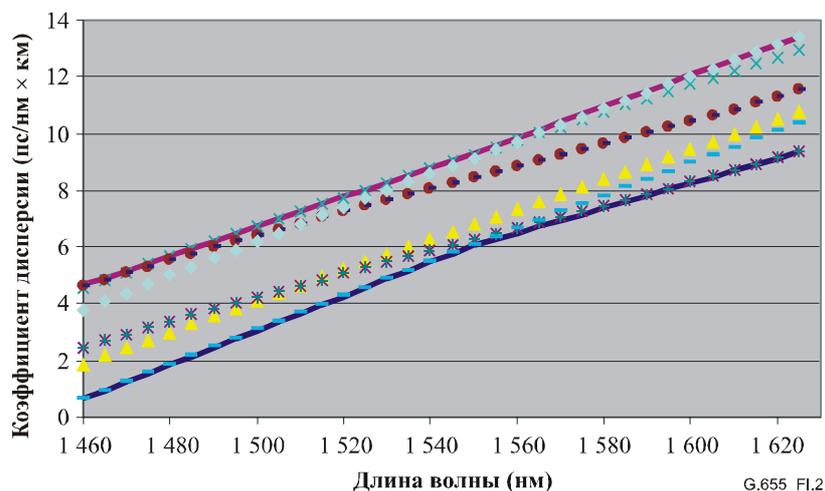


Рисунок I.2/G.655 – Граница дисперсии оптического волокна в таблице E

Пределы, указанные в п. 7, установлены для отдельных волокон. Диапазон значений, связанных с линиями, представляющими собой соединение отдельных оптических волокон, может быть меньше. Для оптических волокон G.652, 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-T серии G.

Изложенная выше методология 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.

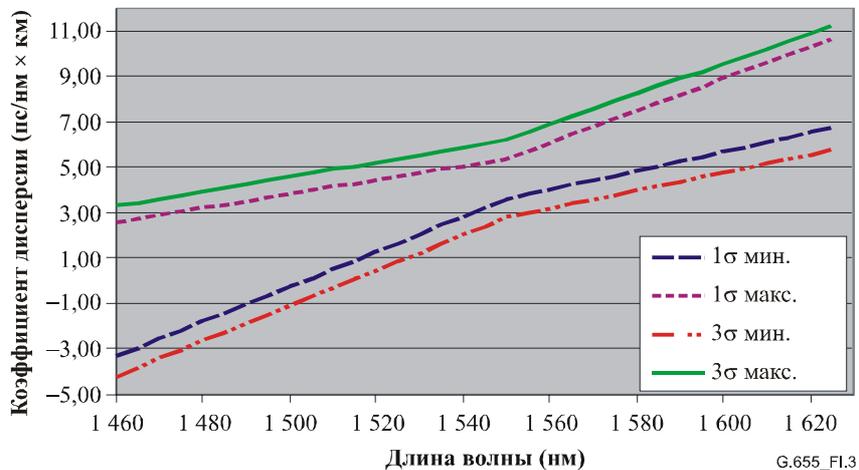


Рисунок I.3/G.655 – Сопоставление границ дисперсии оптического волокна в таблице D

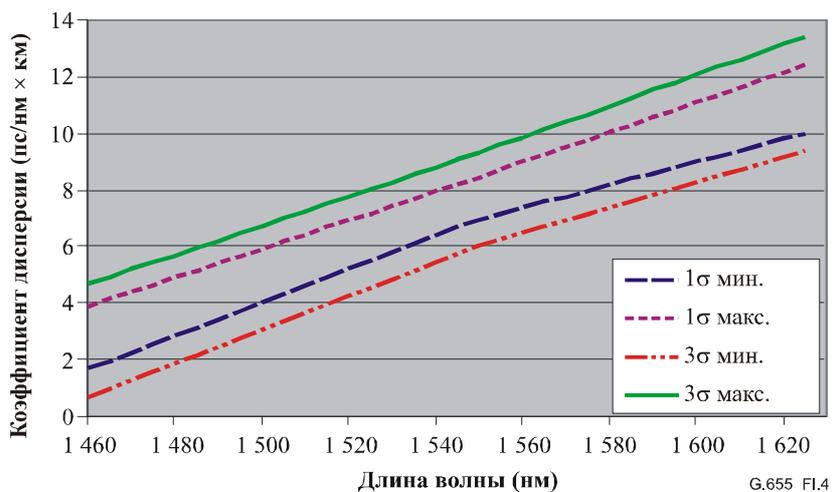


Рисунок I.4/G.655 – Сопоставление границ дисперсии оптического волокна в таблице E

Таблица I.4/G.655 – Пределы стандартного отклонения ± один волокна в таблице D

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/G.655 – Предел стандартного отклонения ± один волокна в таблице E

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	$\frac{3,96}{75}(\lambda - 1 550) + 8,45$

ЛИТЕРАТУРА

- 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	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 межсетевых протоколов и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи