



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.654

(06/2004)

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

Характеристики среды передачи –
Волоконно-оптические кабели

**Характеристики одномодового оптического
волокна и кабеля со смещенной дисперсией
и отсечкой**

Рекомендация МСЭ-Т G.654

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 ТЕЛЕФОННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО РАДИОРЕЛЕЙНЫМ ИЛИ СПУТНИКОВЫМ ЛИНИЯМ И СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.500–G.599
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.600–G.699
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 АСПЕКТЫ И АСПЕКТЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ПОЛЬЗОВАТЕЛЮ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.7000–G.7999
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.8000–G.8999

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

Рекомендация МСЭ-Т G.654

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной дисперсией и отсечкой

Резюме

В настоящей Рекомендации приведено описание геометрических и механических характеристик, а также характеристик передачи для одномодового оптического волокна и кабеля с нулевой дисперсией при длине волны около 1300 нм, у которых минимальные потери и длина волны отсечки смещена в область длин волн около 1550 нм. Это последняя пересмотренная версия Рекомендации, первоначально разработанной в 1988 году. Настоящая версия предусматривает новые классы оптического волокна, имеющего пониженное значение PMD, равное 0,20 пс/ $\sqrt{\text{км}}$, для работы в системах с более высокой скоростью передачи данных и в продуктах для передачи на большие расстояния, чем было возможно в предшествующих версиях. Настоящая версия предназначена для поддержки продолжающегося коммерческого успеха такого оптического волокна в развивающемся мире высококачественных оптических систем передачи.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.654 утверждена 13 июня 2004 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

История

Версия №	Номер рекомендации	Утверждена
1.0	G.654	1988-11-25
2.0	G.654	1993-03-12
3.0	G.654	1997-04-08
4.0	G.654	2000-10-06
5.0	G.654	2002-06-29
6.0	G.654	2004-06-13

Более подробная информация приведена в Разделе "История пересмотра" в конце настоящей 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.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет 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 соответствие 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 то, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации 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.

© ITU 2005

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

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Область применения	1
2 Ссылки	1
2.1 Нормативные ссылки	2
2.2 Информативные ссылки	2
3 Термины и определения	2
4 Сокращения	2
5 Характеристики волокна	3
5.1 Диаметр модового поля	3
5.2 Диаметр оболочки	3
5.3 Эллиптичность сердцевины	3
5.4 Отклонение от цилиндричности	3
5.5 Длина волны отсечки	3
5.6 Затухание при макроизгибах	4
5.7 Материальные свойства оптического волокна	4
5.8 Профиль показателя преломления	5
5.9 Продольная равномерность хроматической дисперсии	5
5.10 Коэффициент хроматической дисперсии	5
6 Характеристики кабеля	5
6.1 Коэффициент затухания	5
6.2 Коэффициент дисперсии моды поляризации	6
7 Таблицы рекомендованных значений	6
Дополнение I – Информация по характеристикам линии и для проектирования системы	9
I.1 Затухание	9
I.2 Хроматическая дисперсия	10
I.3 Дифференциальная групповая задержка (DGD)	10
I.4 Нелинейный коэффициент	10
I.5 Таблицы типовых значений	11
БИБЛИОГРАФИЯ	11
ИСТОРИЯ ПЕРЕСМОТРА Рекомендации МСЭ-Т G.654	12

Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной дисперсией и отсечкой

1 Область применения

В настоящей Рекомендации приведено описание одномодового оптического волокна, которое имеет нулевую дисперсию при длине волны около 1300 нм с минимальным уровнем потерь, и одномодового оптического волокна со смещенной дисперсией и отсечкой при длине волны около 1550 нм, которое оптимизировано для использования в диапазоне длин волн 1530–1625 нм.

Это оптическое волокно со смещенной дисперсией и отсечкой, имеющее очень малые потери (CSF), может использоваться в приложениях для цифровой передачи на большие расстояния, таких как наземные системы дальней связи и магистральные подводные кабели с оптическими усилителями. Геометрические и оптические характеристики (затухание, длина волны отсечки, хроматическая дисперсия, дисперсия режима поляризации и т. д.), характеристики передачи и механические характеристики этого CSF описаны ниже.

Обеспечиваются некоторые условия для поддержки передачи при больших длинах волн – до 1625 нм. Геометрические и оптические параметры, параметры передачи и механические параметры описаны ниже в характеристиках трех классов:

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

Настоящая Рекомендация и различные классы характеристик, приведенные в таблицах в п. 7, предназначены для поддержки следующей системы связанных рекомендаций:

- Рекомендация МСЭ-Т G.957;
- Рекомендация МСЭ-Т G.691;
- Рекомендация МСЭ-Т G.692;
- Рекомендация МСЭ-Т G.959.1;
- Рекомендация МСЭ-Т G.973;
- Рекомендация МСЭ-Т G.977.

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

2 Ссылки

Указанные ниже рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылки на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все рекомендации и другие источники могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других источников, перечисленных ниже. Список действующих в настоящее время рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ в данной Рекомендации не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

2.1 Нормативные ссылки

- ITU-T Recommendation G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- ITU-T Recommendation G.650.2 (2002), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*

2.2 Информативные ссылки

- ITU-T Recommendation G.663 (2000), *Application related aspects of optical amplifier devices and subsystems.*
- ITU-T Recommendation G.691 (2003), *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.957 (1999), *Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.959.1 (2003), *Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.973 (2003), *Характеристики подводных волоконно-оптических кабельных систем без повторителей.*
- Рекомендация МСЭ-Т G.977 (2004), *Характеристики оптически усиленных подводных волоконно-оптических кабельных систем.*

3 Термины и определения

В настоящей Рекомендации используются определения, приведенные в Рекомендациях МСЭ-Т G.650.1 и G.650.2.

Перед оценкой соответствия значения должны быть округлены до количества разрядов, приведенного в таблицах рекомендованных значений.

4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

CSF	Оптическое волокно со смещенной дисперсией и отсечкой
DGD	Дифференциальная групповая задержка
DWDM	Высокоплотное мультиплексирование с разделением по длине волны
MFD	Диаметр модового поля
PMD	Дисперсия моды поляризации
PMD _Q	Статистический параметр для линий PMD
RTM	Эталонный метод испытания
TBD	Будет определено позднее
WDM	Мультиплексирование с разделением по длинам волн

5 Характеристики волокна

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

5.1 Диаметр модового поля

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

5.2 Диаметр оболочки

Рекомендованное номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм.

Также определен допуск, он не должен превышать значение, приведенное в п. 7. Отклонение диаметра оболочки от номинального значения не должно превышать указанный допуск.

5.3 Эллиптичность сердцевины

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

5.4 Отклонение от цилиндричности

5.4.1 Отклонение модового поля от круга

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

5.4.2 Эллиптичность оболочки

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

5.5 Длина волны отсечки

Различают три используемых типа длины волны отсечки:

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

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – 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 кабеля между соединениями при минимальной рабочей длине волны. Эту задачу можно решать двумя альтернативными методами:

- 1) рекомендуется использовать λ_c менее 1600 нм: если используется нижний предел, λ_c должна превышать 1350 нм;
- 2) рекомендуется использовать максимальное значение λ_{cc} 1530 нм.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Упомянутые выше значения гарантируют одномодовую передачу при длине волны около 1550 нм. Для приложений WDM, требующих работу при длине волны (1550 нм-х), упомянутые выше значения должны быть уменьшены на х нм.

Не требуется реализовывать обе эти спецификации. Поскольку требования к λ_{cc} являются более прямым способом гарантии одномодовой работы кабеля, они являются предпочтительным вариантом. Когда обстоятельства не позволяют использовать требования к λ_{cc} (например, в одномодовых волоконно-оптических кабелях, таких как соединительные кабели или кабели, которые должны использоваться способом, значительно отличающимся от RTM λ_{cc}), тогда используют требования к λ_c .

Если пользователь предпочитает определять λ_{cc} согласно пункту 2, то следует иметь в виду, что λ_c может превышать 1600 нм.

Если пользователь предпочитает определять λ_c согласно пункту 1, то нет необходимости определять λ_{cc} .

В случае когда пользователь выбирает определение λ_{cc} , можно разрешить, чтобы λ_c превышала минимальную рабочую длину волны, полагая, что влияние изготовления и инсталляции кабеля дадут значения λ_{cc} ниже минимальной рабочей длины волны для самой малой длины кабеля между двумя соединениями.

В случае когда пользователь выбирает определение λ_{cc} , проверка ограничения может быть достаточна для проверки того, что требование к λ_{cc} удовлетворяется.

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

5.6 Затухание при макроизгибах

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

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

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

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

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

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Если требуются стандартные испытания, вместо рекомендованного испытания можно использовать один или несколько витков с небольшим диаметром для точности и простоты измерения чувствительности к изгибу при длине волны 1550 нм. В этом случае следует выбирать диаметр витка, количество витков и максимальное допустимое затухание при изгибе для испытания с несколькими витками для корреляции с рекомендованным испытанием и допустимыми потерями.

5.7 Материальные свойства оптического волокна

5.7.1 Материалы волокон

Следует указывать вещества, из которых изготовлены оптические волокна.

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

5.7.2 Защитные материалы

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

5.7.3 Уровень допустимых напряжений

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

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

5.8 Профиль показателя преломления

Обычно не требуется знать профиль показателя преломления оптического волокна.

5.9 Продольная равномерность хроматической дисперсии

Этот вопрос изучается.

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

Для работы DWDM в области 1550 нм хроматическая дисперсия в волокнах G.654 достаточно велика, чтобы исключить четырехволновое смешивание. Поэтому однородность хроматической дисперсии не является проблемой функционирования.

5.10 Коэффициент хроматической дисперсии

Зависимость измеренного времени групповой задержки или хроматической дисперсии в единице длины оптического волокна от длины волны должна аппроксимироваться квадратным уравнением, определенным в Приложении A/G.650.1. (Руководство по интерполяции значений дисперсии на длины волн, для которых измерения не производились, приведено в п. 5.5/G.650.1.)

В зависимости от требуемой точности для диапазонов длины волны шириной до 35 нм квадратное уравнение допускается в области длин волн 1550 нм. Для интервалов с большей длиной волны рекомендуется использовать либо модель Sellmeier с 5 членами, либо полиномиальную модель 4-го порядка. Оно не предназначено для использования в области с длиной волны 1310 нм.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Нет необходимости постоянно измерять коэффициент хроматической дисперсии.

6 Характеристики кабеля

Поскольку процесс прокладки кабеля мало влияет на геометрические и оптические характеристики оптических волокон, приведенные в п. 5, в этом пункте приведены рекомендации, относящиеся главным образом к характеристикам передачи для кабеля, который имеет строительную длину.

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 области 1530–1625 нм. Значения коэффициента затухания волоконно-оптического кабеля не должны превышать значения, приведенные в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Минимальные значения зависят от процесса изготовления, состава и конструкции волокна и конструкции кабеля. В области 1550 нм были получены значения коэффициента затухания от 0,15 до 0,19 дБ/км.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Коэффициент затухания может быть рассчитан для диапазона длин волн, используя измерения при нескольких (3–4) длинах волн. Эта процедура описана в п. 5.4.4/G.650.1 и в примере для оптического волокна G.652 в Дополнении III/G.650.1.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Для приложений в подводных системах с усилителем оптического диапазона с дистанционной накачкой, описанным в Рекомендации МСЭ-Т G.973, могут потребоваться другие коэффициенты затухания в области длины волны накачки.

6.2 Коэффициент дисперсии моды поляризации

Дисперсия моды поляризации волокна в кабеле должна определяться статистически, а не для отдельных волокон. Требования относятся только к характеристике линии, рассчитанной по данным для кабеля. Метрика статистических спецификаций приведена ниже. Методы расчетов приведены в стандарте МЭК 61282-3 и кратко изложены в Дополнении IV/G.650.2.

Изготовитель должен предоставлять расчетное значение PMD для линии, PMD_Q , которое играет роль статистического верхнего предела коэффициента PMD соединенных волоконно-оптических кабелей в определенной возможной линии связи, состоящей из M кабельных участков. Верхний предел определяется малым уровнем вероятности Q , который 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 некаблированных оптических волокон могут использоваться, чтобы создать статистику для оптических волокон в кабелях, если конструкция и процессы стабильны и известны соотношения между коэффициентами PMD некаблированных и каблированных оптических волокон. Если такие соотношения демонстрировались, то производящая кабель компания может по своему выбору указывать максимальное значение PMD для некаблированных оптических волокон.

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

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Значения PMD_Q должны рассчитываться для различных типов кабелей, обычно они должны вычисляться, используя выборочные значения PMD. Выборки должны осуществляться для кабелей, имеющих аналогичную конструкцию.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Спецификации PMD_Q не должны применяться к коротким кабелям, таким как соединительные кабели, кабели для внутренней проводки и абонентские кабели.

7 Таблицы рекомендованных значений

В приведенных ниже таблицах сведены рекомендованные значения для нескольких классов оптических волокон, которые удовлетворяют целям настоящей Рекомендации. Эти классы в значительной степени отличаются по требованиям к диаметру модового поля, коэффициенту хроматической дисперсии и PMD. Информация о расстояниях передачи и скоростях передачи данных для требований PMD приведена в Дополнении I.

Таблица 1 "Характеристики G.654" определяет базовую категорию одномодового оптического волокна со смещенной дисперсией и отсечкой и соответствующего кабеля. Этот класс пригоден для систем, определенных в Рекомендациях МСЭ-Т G.691, G.692, G.957 и G.977 в диапазоне длин волн 1550 нм.

Оптические волокна с параметрами, приведенными в таблице 2 "Характеристики G.654.B", пригодны для систем, описанных в Рекомендациях МСЭ-Т G.691, G.692, G.957, G.977 и G.959.1, для приложений передачи на большие расстояния при диапазоне длин волн 1550 нм. Этот класс может применяться в системах передачи WDM на большие расстояния и с повышенной пропускной способностью, например в подводных системах без повторителей, где используются усилители оптического диапазона с дистанционной накачкой, описанные в Рекомендации МСЭ-Т G.973, и в подводных системах с усилителями оптического диапазона, описанными в Рекомендации МСЭ-Т G.977.

Таблица 3 "Характеристики G.654.C" аналогична таблице "Характеристики G.654.A", но в ней снижены требования по PMD, она предназначена для поддержки передачи данных с более высокой скоростью и на большие расстояния, чем в приложениях, описанных в Рекомендации МСЭ-Т G.959.1.

Таблица 1/G.654 – G.654.A

Характеристики волокна		
Характеристика	Описание	Значение
Диаметр модового поля	Длина волны	1550 нм
	Диапазон номинальных значений	9,5–10,5 мкм
	Допуск	±0,7 мкм
Диаметр оболочки	Номинальное значение	125 мкм
	Допуск	±1 мкм
Погрешность concentричности сердцевины	Максимальное значение	0,8 мкм
Эллиптичность оболочки	Максимальное значение	2,0%
Длина волны отсечки кабеля	Максимальное значение	1530 нм
Затухание при макроизгибах	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимальное значение при 1550 нм	0,50 дБ
Допустимое напряжение	Минимальное значение	0,69 ГПа
Коэффициент хроматической дисперсии	$D_{1550\max}$	20 пс/нм·км
	$S_{1550\max}$	0,070 пс/нм ² ·км
Коэффициент PMD для некаблированного волокна	Максимальное значение	См. Примечание
Характеристики кабеля		
Коэффициент затухания	Максимальное значение при 1550 нм	0,22 дБ/км
Коэффициент PMD	M	20 кабелей
	Q	0,01%
	Максимальное значение PMD_Q	0,5 пс/√км
ПРИМЕЧАНИЕ. – Производители кабелей могут определять необязательное максимальное значение коэффициента PMD для некаблированного волокна для поддержки основного требования по PMD_Q к кабелю, если оно было продемонстрировано для конкретной конструкции кабеля.		

Таблица 2/G.654 – G.654.B

Характеристики волокна		
Характеристика	Описание	Значение
Диаметр модового поля	Длина волны	1550 нм
	Диапазон номинальных значений	9,5–13,0 мкм
	Допуск	±0,7 мкм
Диаметр оболочки	Номинальное значение	125 мкм
	Допуск	±1 мкм
Погрешность concentричности сердцевины	Максимальное значение	0,8 мкм
Эллиптичность оболочки	Максимальное значение	2,0%
Длина волны отсечки кабеля	Максимальное значение	1530 нм

Таблица 2/G.654 – G.654.B

Характеристики волокна		
Характеристика	Описание	Значение
Затухание при макроизгибах	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимальное значение при 1550 нм	0,50 дБ
Допустимое напряжение	Минимальное значение	0,69 ГПа
Коэффициент хроматической дисперсии	$D_{1550max}$	22 пс/нс·км
	$S_{1550max}$	0,070 пс/нм ² ·км
Коэффициент PMD для некаблированного волокна	Максимальное значение	См. Примечание
Характеристики кабеля		
Коэффициент затухания	Максимальное значение при 1550 нм	0,22 дБ/км
Коэффициент PMD	M	20 кабелей
	Q	0,01%
	Максимальное значение PMD _Q	0,20 пс/√км
ПРИМЕЧАНИЕ. – Производители кабелей могут определять необязательное максимальное значение коэффициента PMD для некаблированного волокна для поддержки основного требования по PMD _Q к кабелю, если оно было продемонстрировано для конкретной конструкции кабеля.		

Таблица 3/G.654 – G.654.C

Характеристики волокна		
Характеристика	Описание	Значение
Диаметр модового поля	Длина волны	1550 нм
	Диапазон номинальных значений	9,5–10,5 мкм
	Допуск	±0,7 мкм
Диаметр оболочки	Номинальное значение	125 мкм
	Допуск	±1 мкм
Погрешность concentричности сердцевины	Максимальное значение	0,8 мкм
Эллиптичность оболочки	Максимальное значение	2,0%
Длина волны отсечки кабеля	Максимальное значение	1530 нм
Затухание при макроизгибах	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимальное значение при 1550 нм	0,50 дБ
Допустимое напряжение	Минимальное значение	0,69 ГПа
Коэффициент хроматической дисперсии	$D_{1550max}$	20 пс/нм·км
	$S_{1550max}$	0,070 пс/нм ² ·км
Коэффициент PMD для некаблированного волокна	Максимальное значение	См. Примечание

Таблица 3/G.654 – G.654.C

Характеристики волокна		
Характеристика	Описание	Значение
Характеристики кабеля		
Коэффициент затухания	Максимальное значение при 1550 нм	0,22 дБ/км
Коэффициент PMD	M	20 кабелей
	Q	0,01%
	Максимальное значение PMD _Q	0,20 пс/√км
ПРИМЕЧАНИЕ. – Производители кабелей могут определять необязательное максимальное значение коэффициента PMD для некаблированного волокна для поддержки основного требования по PMD _Q к кабелю, если оно было продемонстрировано для конкретной конструкции кабеля.		

Дополнение I

Информация по характеристикам линии и для проектирования системы

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

Характеристики передачи строительных участков волоконно-оптических кабелей имеют некоторое распределение вероятности, которое нередко должно учитываться для получения наиболее экономичных проектов. Приведенные ниже пункты данного Добавления следует рассматривать с учетом статистической природы различных параметров.

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

I.1 Затухание

Затухание A в линии равно:

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

где:

- α – типичный коэффициент затухания волоконно-оптических кабелей в линии;
- α_s – средние потери в сrostке;
- x – число сrostков 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 смотки, дополнительные участки кабеля, влияние старения, изменения температуры и т. д.). Уравнение I-1 не включает потери в разъемах оборудования. Типичные значения, приведенные в п. I.5, относятся к коэффициенту затухания волоконно-оптической линии. Запас по затуханию, используемый при проектировании фактической системы, должен учитывать статистические изменения этих параметров.

I.2 Хроматическая дисперсия

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

Если эти оптические волокна используются для передачи в диапазоне длин волн 1550 нм, то часто используются некоторые формы компенсации хроматической дисперсии. В этом случае для проектирования используется средняя хроматическая дисперсия линии. Измеренную дисперсию в окне 1550 нм можно описать как линейную функцию длины волны внутри окна 1550 нм. Эта функция задается как обычный коэффициент хроматической дисперсии и наклон коэффициента 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 приведены в п. I.5. Эти значения вместе с длиной линии L_{Link} можно использовать для вычисления типичной хроматической дисперсии с целью применения при проектировании оптической линии.

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

I.3 Дифференциальная групповая задержка (DGD)

Дифференциальная групповая задержка – это различие во времени прибытия для двух режимов поляризации при конкретной длине волны и времени. Для линии с определенным коэффициентом PMD распределение DGD линии 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 за определенное время при конкретной длине волны зависит от DGD для этого времени и длины волны. Поэтому были разработаны средства установления полезных пределов распределения DGD, поскольку это распределение связано с распределением коэффициента PMD волоконно-оптического кабеля и его пределами; они описаны в стандарте IEC 61282-3. Ниже приведена метрика ограничений распределения DGD:

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

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

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

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

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

I.4 Нелинейный коэффициент

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

I.5 Таблицы типичных значений

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

Таблица I.1/G.654 – Типичные значения для составных волоконно-оптических линий

Характеристика	Описание	Значение
Коэффициент затухания	Длина волны	Типичное значение для линии (см. Примечание)
	1550 нм	0,25 дБ/км
	1625	TBD
Параметры хроматической дисперсии	D_{1550}	TBD
	S_{1550}	TBD

ПРИМЕЧАНИЕ. – Типичное значение для линии соответствует коэффициенту затухания линии, используемому в Рекомендациях МСЭ-Т G.957 и G.691.

Таблица I.2/G.654 – Дифференциальная групповая задержка

Максимальная PMD_Q (пс/ $\sqrt{км}$)	Длина линии (км)	Предполагаемая максимальная DGD, обусловленная волокном (пс)	Скорость передачи в канале
Спецификация отсутствует			До 2,5 Гбит/с
0,5	400	25,0	10 Гбит/с
	40	19,0 (см. Примечание)	10 Гбит/с
	2	7,5	40 Гбит/с
0,20	3000	19,0	10 Гбит/с
	80	7,0	40 Гбит/с
0,10	>4000	12,0	10 Гбит/с
	400	5,0	40 Гбит/с

ПРИМЕЧАНИЕ. – Это значение также применимо к системам 10 Gigabit Ethernet.

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

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] IEC/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*

ИСТОРИЯ ПЕРЕСМОТРА Рекомендации МСЭ-Т G.654

- 1988 г. Рекомендация МСЭ-Т G.654 *"Характеристики одномодового волоконно-оптического кабеля с минимальными потерями при длине волны 1550 нм"* была разработана 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (1985–1988 гг.).
- 2000 г. Рекомендация МСЭ-Т G.654 была пересмотрена 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (1997–2000 гг.) и утверждена как 4-я версия Всемирной ассамблеей по стандартизации электросвязи (Монреаль, 27 сентября – 6 октября 2000 года). В этой пересмотренной версии изменена структура Рекомендации в соответствии с другими Рекомендациями по оптическим волокнам, такими как Рекомендации МСЭ-Т G.652, G.653 и G.655.
- 2002 г. Рекомендация МСЭ-Т G.654 была пересмотрена 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) и утверждена 29 июня 2002 года как 5-я версия согласно процедуре АПУ. В этой версии добавлен новый класс волокон с измененными характеристиками диаметра модового поля оптического волокна и коэффициента хроматической дисперсии – класс G.654.B. В соответствии с соглашением по спектральным диапазонам описание верхнего предела диапазона L было изменено с 16xx нм на 1625 нм. Термины "базовый подкласс" и "подкласс" были изменены на термины "базовый класс" и "класс", соответственно.
- 2004 г. Рекомендация МСЭ-Т G.654 была пересмотрена 15-й Исследовательской комиссией МСЭ (2001–2004 гг.) и утверждена 13 июня 2004 года как шестая версия согласно процедуре АПУ. В этой версии снижено предельное значение PMD_Q (по сравнению с 0,5 пс/ $\sqrt{\text{км}}$) в G.654.B и добавлен новый класс со сниженным предельным значением PMD_Q . Допуск на диаметр модового поля в G.654.B был снижен до $\pm 0,7$ мкм. При испытании на макроизгиб радиус оправки уменьшен до 30 мм.

Как уже отмечалось выше, настоящая Рекомендация претерпела значительные изменения за эти годы; поэтому читатель должен использовать соответствующую версию для определения характеристик уже развернутого продукта, принимая во внимание год выпуска. Предполагается, что продукты соответствуют Рекомендации, действовавшей на момент их изготовления, но они могут не полностью соответствовать последующим версиям данной Рекомендации.

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия В	Средства выражения: определения, символы, классификация
Серия С	Общая статистика электросвязи
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
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	TMN и техническое обслуживание сетей: международные системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
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 и взаимосвязь открытых систем
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты межсетевого протокола и сети последующих поколений
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи