

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.657

(11/2016)

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, не чувствительного к
потерям на изгибе**

Рекомендация МСЭ-Т G.657

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ВЧ-СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	G.600–G.699
Общие положения	G.600–G.609
Симметричные кабельные пары	G.610–G.619
Наземные коаксиальные кабельные пары	G.620–G.629
Подводные кабели	G.630–G.639
Оптические системы в свободном пространстве	G.640–G.649
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 МУЛЬТИМЕДИА– ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

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

Рекомендация МСЭ-Т G.657

Характеристики одномодового волокна и кабеля, не чувствительного к потерям на изгибе

Резюме

Во всем мире происходит стремительное развитие технологий для транспортных сетей общего назначения и сетей широкополосного доступа. К таким технологиям относится технология применения одномодового волокна, обеспечивающая среду передачи с высокой пропускной способностью, которая может удовлетворять возрастающий спрос на высокоскоростные и широкополосные услуги.

Накоплен обширный опыт монтажа и эксплуатации сетей на базе одномодового волокна и кабеля, и Рекомендация МСЭ-Т G.652, в которой описаны его характеристики, обновляется в соответствии с этим опытом. Вместе с тем специфика использования в оптических сетях доступа обуславливает различные требования в отношении волокна и кабеля, влияющие на его оптимальные эксплуатационные характеристики. Отличия от использования в транспортных сетях общего назначения в основном объясняются высокой плотностью распределительных и ответвительных кабелей в сети доступа. Ограниченная площадь и большое число операций требуют удобных для оператора эксплуатационных характеристик волокна и низкой чувствительности к изгибу. Кроме того, соответствующим образом должна совершенствоваться укладка кабеля в тесных помещениях оборудования связи, где площадь является ограничивающим фактором. Наряду с этим определенные части транспортных сетей общего назначения тоже могут быть охарактеризованы как ограниченные в пространстве, где оптимизированная по изгибам укладка кабеля может составить преимущество.

Целью Рекомендации МСЭ-Т G.657 является поддержка такой оптимизации путем рекомендации существенно улучшенных эксплуатационных характеристик на изгибе по сравнению с характеристиками существующих одномодовых волокон и кабелей МСЭ-Т G.652. Это достигается введением двух категорий одномодовых волокон – категории А, волокна которой полностью соответствуют одномодовым волокнам МСЭ-Т G.652 и могут использоваться во всей транспортной сети общего назначения, а также сети доступа; и категории В, волокна которой необязательно соответствуют Рекомендации МСЭ-Т G.652, но могут обеспечивать низкие значения потерь на макроизгибе при очень малых радиусах изгиба и предназначены для использования в сети доступа внутри зданий или около зданий (т. е. укладка кабеля в стояках, расположенных вне зданий). Эти волокна категории В системно совместимы с волокнами МСЭ-Т G.657.А (и МСЭ-Т G.652.В), используемыми в сетях доступа.

В настоящее четвертое издание Рекомендации МСЭ-Т G.657 внесены изменения, касающиеся, в том числе, использования волокон категории А для всех приложений (сети доступа, а также транспортные сети общего назначения), в которых используются волокна МСЭ-Т G.652.В, теперь с улучшенными характеристиками изгиба.

Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный ID*
1.0	МСЭ-Т G.657	14.12.2006 г.	15	11.1002/1000/8976
2.0	МСЭ-Т G.657	13.11.2009 г.	15	11.1002/1000/10391
2.1	МСЭ-Т G.657 (2009) Попр. 1	11.06.2010 г.	15	11.1002/1000/10931

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

3.0	МСЭ-Т G.657	29.10.2012 г.	15	<p>Введены спецификации хроматической дисперсии и PMD волокна подкатегории G.657.B.</p> <p>Внесены изменения в спецификации затухания и MFD для волокна подкатегории B.</p> <p>Наряду с этим включено новое Дополнение I (согласованное в 2010 г. и опубликованное как Поправка 1 (06/2010)). 11.1002/1000/11769</p>
-----	-------------	---------------	----	---

4.0	МСЭ-Т G.657	13.11.2016 г.	15	<p>Изменены название и сфера применения, для того чтобы включить использование волокна подкатегории G.657.A с меньшими потерями на макроизгибе для всех приложений (сети доступа, а также транспортные сети общего назначения), где используются волокна G.652.D.</p> <p>Добавлен новый раздел 5 "Соглашения". Следующие далее разделы перенумерованы.</p> <p>В п. 6.10 внесены изменения в текст о хроматической дисперсии для волокон G.657.A, с тем чтобы согласовать его с волокнами G.652.D.</p> <p>В таблице 1 и 2 (G.657.A и B) снижен верхний предел номинального диаметра модового поля.</p> <p>В таблицу 1 (G.657.A) включена новая спецификация для хроматической дисперсии в целях согласования с волокнами G.652.D.</p> <p>Дополнение I издания 3 перенесено в Дополнение I [ITU-T G-Sup.59] 11.1002/1000/13078</p>
-----	-------------	---------------	----	---

Ключевые слова

Оптическое волокно, не чувствительное к потерям на изгибе, оптическое волокно с несмещенной дисперсией, оптическое волокно и кабель, одномодовое оптическое волокно.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

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

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

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

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

© ITU 2017

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

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения	1
2 Справочные документы	2
3 Определения	2
3.1 Термины, определенные в других документах	2
3.2 Термины, определенный в настоящей Рекомендации	2
4 Сокращения и акронимы	2
5 Соглашения.....	2
6 Атрибуты волокна.....	2
6.1 Диаметр модового поля.....	3
6.2 Диаметр оболочки.....	3
6.3 Погрешность концентричности сердцевины	3
6.4 Некруглость.....	3
6.5 Длина волны отсечки.....	3
6.6 Потери на макроизгибе	4
6.7 Свойства материала волокна	4
6.8 Профиль коэффициента преломления	5
6.9 Продольная однородность хроматической дисперсии.....	5
6.10 Хроматическая дисперсия.....	5
7 Атрибуты кабеля	6
7.1 Коэффициент затухания.....	6
7.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии	6
8 Таблицы рекомендованных значений	7
Дополнение I – Ожидаемый срок службы одномодового волокна в случае изгиба с малым радиусом	12
Библиография	13

Введение

Во всем мире происходит стремительное развитие технологий для сетей широкополосного доступа и транспортных сетей общего назначения. К таким технологиям относится технология применения одномодового волокна, обеспечивающая среду передачи с высокой пропускной способностью, которая может удовлетворять возрастающий спрос на высокоскоростные сети.

Накоплен обширный опыт монтажа и эксплуатации сетей на базе одномодового волокна и кабеля, и Рекомендация МСЭ-Т G.652, в которой описаны его характеристики, обновляется в соответствии с этим опытом. Вместе с тем, специфика использования в оптических сетях доступа и в некоторых определенных частях транспортных сетей общего назначения обуславливает различные требования в отношении волокна и кабеля. Учитывая высокую плотность распределительных и ответвительных кабелей в сети доступа, ограниченную площадь и большое число операций в частях этих сетей, требования, предъявляемые к волокну и кабелю, могут быть оптимизированы в целях снижения потерь на макроизгибе. Целью настоящей Рекомендации является поддержка такой оптимизации путем рекомендации различных значений атрибутов для существующих одномодовых волокна и кабелей МСЭ-Т G.652, а также рекомендации других категорий типов одномодового волокна.

В разделе "Библиография" представлен перечень справочных материалов, содержащих обширную информацию о сетевых структурах, в которых используется волоконно-оптический одномодовый кабель.

Рекомендация МСЭ-Т G.657

Характеристики одномодового волокна и кабеля, не чувствительного к потерям на изгибе

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержится описание двух категорий одномодового волоконно-оптического кабеля, имеющего лучшие характеристики потерь на изгибе по сравнению с волокнами МСЭ-Т G.652. Волокно МСЭ-Т G.657 первоначально было разработано для использования в сетях доступа, в том числе в помещениях в оконечной части таких сетей. Обе категории – А и В – разделяются на две подкатегории, различающиеся потерями на макроизгибе.

Волокна категории А оптимизированы для снижения потерь на макроизгибе по сравнению с волокнами МСЭ-Т G.652.D и могут использоваться во всей сети доступа. Эти волокна пригодны для использования в диапазонах O, E, S, C и L (т. е. во всем диапазоне от 1260 до 1625 нм). Волокна и требования, относящиеся к этой категории, являются подмножеством МСЭ-Т G.652.D и, следовательно, соответствуют¹ волокнам МСЭ-Т G.652.D и обладают теми же характеристиками передачи и соединения. Таким образом, волокна МСЭ-Т G.657.A могут использоваться для всех сетей, в которых определены волокна МСЭ-Т G.652.D.

Волокна подкатегории МСЭ-Т G.657.A1 подходят для минимального расчетного радиуса 10 мм.

Волокна подкатегории МСЭ-Т G.657.A2 подходят для минимального расчетного радиуса 7,5 мм.

Волокна категории В оптимизированы для большего снижения помех на макроизгибе и, следовательно, могут использоваться при весьма малых значениях радиуса изгиба. Эти волокна предназначены для малых расстояний досягаемости (менее 1000 м) в оконечной части сетей доступа, в особенности внутри зданий или около зданий (т. е. укладка кабеля в стояках, расположенных вне зданий). Длина применения волокна МСЭ-Т G.657.B зависит от стратегии развертывания каждого сетевого оператора. Эти волокна пригодны для использования в диапазонах O, E, S, C и L (т. е. во всем диапазоне от 1260 до 1625 нм). Волокна категории В необязательно соответствуют МСЭ-Т G.652.D по спецификациям коэффициента хроматической дисперсии и поляризационной модовой дисперсии (PMD). Эти волокна, однако, системно совместимы² с волокнами МСЭ-Т G.657.A (и МСЭ-Т G.652.D) в сетях доступа.

Волокна подкатегории МСЭ-Т G.657.B2 подходят для минимального расчетного радиуса 7,5 мм.

Волокна подкатегории МСЭ-Т G.657.B3 подходят для минимального расчетного радиуса 5 мм.

Настоящая Рекомендация и различные категории показателей работы, представленные в таблицах 1 и 2 раздела 8, предназначены для поддержки следующих связанных с ними системных Рекомендаций:

Категория	Рекомендации
Оптические линейные системы для местных сетей и сетей доступа	[b-ITU-T G.987.2], [b-ITU-T G.989.2]

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 волокна этих категорий, включая определения

¹ "Соответствует" в данном контексте означает соблюдение указанной Рекомендации ([ITU-T G.652], категория D) в части выполнения или превышения значений определенных атрибутов.

² "Совместимы" в данном контексте означает, что продукт данной категории будет вносить в систему незначительные ухудшения или создавать незначительные трудности для развертывания, но он может не соответствовать указанной Рекомендации ([ITU-T G.652], категория D).

относящихся к ним параметров, методы их тестирования и соответствующие значения будут уточняться по мере проведения исследований и накопления опыта.

2 Справочные документы

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

- [ITU-T G.650.1] Recommendation ITU-T G.650.1 (2010), *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 (2015 г.), *Определения и методы тестирования статистических и нелинейных взаимосвязанных атрибутов одномодового волокна и кабеля.*
- [ITU-T G.652] Recommendation ITU-T G.652 (2016), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*
- [ITU-T L.103] Recommendation ITU-T L.103 (2016), *Optical fibre cables for indoor applications.*
- [IEC 60793-1-47] IEC 60793-1-47:2009, *Optical fibres – Part 1-47: Measurement methods and test procedures – Macrobending loss.*
- [IEC 60793-2-50] IEC 60793-2-50:2015, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.*
- [ISO 80000-1] ISO 80000-1 (2009), *Quantities and units – Part 1: General.*

3 Определения

3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящей Рекомендации используются термины, определенные в [ITU-T G.650.1] и [ITU-T G.650.2].

3.2 Термины, определенный в настоящей Рекомендации

Отсутствуют.

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы:

DGD	Differential Group Delay	ДГЗ	Дифференциальная групповая задержка
PMD	Polarization Mode Dispersion		Поляризационная модовая дисперсия

5 Соглашения

Значения округляются до количества разрядов, указанных в таблицах 1 и 2 рекомендованных величин, до выполнения оценки соответствия. Используется обычное правило "половина округляется к ближайшему числу, которое дальше от нуля", описанное в правиле В Приложения В [ISO 80000-1]. При определении округления используется только первая цифра после числа значащих цифр.

6 Атрибуты волокна

Характеристики оптического волокна, которые обеспечивают необходимую при проектировании основу для изготовления волокна, разработки системы и использования в линейно-кабельных сетях, рекомендуются в [МСЭ-Т G.652]. В данном разделе основное внимание уделяется атрибутам, оптимизирующим характеристики волокна и кабеля на макроизгибе, которые поддерживают системы

организации волокон малого объема и укладку с малыми радиусами, например в помещениях оборудования связи и в помещениях абонентов в многоквартирных и отдельных одноквартирных жилых домах.

Наряду с этим, для полноты информации, в данном пункте рекомендуются те характеристики волокна, которые обеспечивают минимально необходимую при проектировании основу для изготовления волокна. Диапазоны или пределы величин представлены в таблицах 1 и 2 раздела 8. Из них значительное влияние на длину волны отсечки волокна в кабеле и его поляризационную модовую дисперсию (PMD) может оказывать изготовление или укладка кабеля. В остальном рекомендованные характеристики равно применимы к отдельным волокнам, волокнам, которые уложены в кабеле, намотанном на барабан, и волокнам в проложенном кабеле.

6.1 Диаметр модового поля

Номинальное значение и допуск на это номинальное значение должны определяться для длины волны 1310 нм. Указанное номинальное значение должно находиться в пределах диапазона, приведенного в таблицах 1 и 2 раздела 8. Указанный допуск не должен превышать значения, приведенного в таблицах 1 и 2 раздела 8. Отклонение от номинального значения не должно превышать указанного допуска.

6.2 Диаметр оболочки

Рекомендованное номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Определен также и допуск, и он не должен превышать значения, указанного в таблицах 1 и 2 раздела 8. Отклонение диаметра оболочки от номинального значения не должно превышать указанного допуска.

6.3 Погрешность концентричности сердцевин

Погрешность концентричности сердцевин не должна превышать значения, определенного в таблицах 1 и 2 раздела 8.

6.4 Некруглость

6.4.1 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 некруглость модового поля при приемочных испытаниях.

6.4.2 Некруглость оболочки

Некруглость оболочки не должна превышать значения, указанного в таблицах 1 и 2 раздела 8.

6.5 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 .

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 1260 нм, или, при наихудшем случае длины кабеля и изгибов, когда рекомендованная максимальная волоконная длина волны отсечки λ_c составляет 1250 нм.

Кабельная длина волны отсечки λ_{cc} не должна превышать максимального значения, определенного в таблицах 1 и 2 раздела 8.

6.6 Потери на макроизгибе

Потери на макроизгибе в свободном волокне 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 таблицах 1 и 2 раздела 8 для конкретных значений длины волны, радиуса изгиба и числа витков.

Реальное воздействие малого радиуса волокна проявляется только при относительно малых значениях длины. Учитывая, что, как правило, выбор радиуса изгиба и длина имеющего изгибы волокна может меняться в зависимости от проектного решения системы организации волокон и техники их укладки, спецификация только для одного радиуса изгиба более недостаточна. Результаты моделирования различных типов волокна публикуются, однако общеприменимой модели потерь на изгибе для описания зависимости величины потерь от радиуса не существует. По этой причине в таблицах 1 и 2 раздела 8 содержатся рекомендованные максимальные потери на макроизгибе для различных радиусов изгиба.

При том что могут быть установлены базовые значения показателей на макроизгибе для свободных волокон, реальное проектное решение и материалы конструкции кабеля могут влиять на конечные показатели в полевых условиях. Потери на макроизгибе в уложенном в кабеле волокне могут отличаться от показателей, полученных при измерениях в свободном волокне, из-за ограничивающего изгиб влияния кабельной структуры на изгиб волокна. В настоящее время ведутся исследования воздействия укладки кабеля на макроизгибы, результаты которых могут обусловить необходимость в будущем в каких-либо дополнительных спецификациях или параметрах кабеля.

Потери на макроизгибе уложенного в кабеле волокна в сетях, развернутых в зданиях, могут зависеть от используемой техники монтажа. Согласно [ITU-T L.103] рекомендуется, чтобы радиус любого изгиба волокна, остающийся после монтажа кабеля, был достаточно большим, чтобы ограничить потери на макроизгибе и деформацию в течение длительного времени, которые сократят срок службы волокна. По этой причине не рекомендуются определенные распространенные методы монтажа (например, сшивание кабеля в помещении с использованием проволочных скоб).

Оптические потери на изгибе увеличиваются с увеличением длины волны, поэтому достаточно спецификации потерь для максимальной предусмотренной длины волны, то есть либо для 1550 нм, либо для 1625 нм. При необходимости, клиент и поставщик могут согласовать спецификацию наименьшей и наибольшей длины волны.

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

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В случае выбора для реализации числа витков, отличающегося от рекомендованного, предполагается, что максимальные потери при таком развертывании пропорциональны указанному числу витков.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В случае если необходимо проведение планового тестирования, вместо рекомендованного тестирования может выполняться тестирование с измененным диаметром петли 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.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В общем, потери на макроизгибе зависят от выбора значений других атрибутов волокна, таких как диаметр модового поля, коэффициент хроматической дисперсии и волоконная длина волны отсечки. Оптимизация в аспекте потерь на макроизгибе заключается, как правило, в подборе оптимального соотношения значений этих атрибутов волокна.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Метод навивания на стержень (метод А), описанный в [IEC 60793-1-47], может использоваться в качестве метода измерения потерь на макроизгибе путем подстановки радиуса изгиба и количества витков, указанных в таблицах 1 и 2 раздела 8.

6.7 Свойства материала волокна

6.7.1 Материалы волокна

Необходимо указывать материалы, используемые при производстве 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.

6.7.2 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.

6.7.3 Уровень предела прочности

Определяемый предел прочности σ_p не должен быть меньше минимального значения, указанного в таблицах 1 и 2 раздела 8.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Определения механических параметров приведены в пп. 3.2 и 5.6 [ITU-T G.650.1].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – См. также Дополнение I, посвященное этой теме.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Вероятность отказа для волокна с радиусом изгиба менее 30 мм, как описано в [ITU-T G.652], возрастает с уменьшением радиуса изгиба. Механическая надежность оптического волокна при данном применении является функцией характеристик кабельной структуры, техники монтажа и условий развертывания. Следует обратить внимание на то, что в целях обеспечения полного расчетного срока службы для некоторых видов монтажа могут потребоваться дополнительные ограничения, такие как более высокие пределы прочности.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Рекомендуются, чтобы применяемый к волокну уровень предела прочности и требуемый уровень надежности в течение его срока службы согласовывались поставщиком и потребителем.

6.8 Профиль коэффициента преломления

Как правило, не требуется знать профиль коэффициента преломления волокна.

6.9 Продольная однородность хроматической дисперсии

Обычно, этот атрибут менее актуален для применений в сети доступа. Более подробно см. [ITU-T G.652].

6.10 Хроматическая дисперсия

Для волокон подкатегории МСЭ-Т G.657.А параметры хроматической дисперсии, приведенные в таблице 1 раздела 8, определяются в целях связывания значений хроматической дисперсии для 1260 нм с 1625 нм. Это обеспечивает возможность более точного проектирования системы, в которой используются схемы компенсации дисперсии. При определении параметров коэффициента хроматической дисперсии волокон МСЭ-Т G.657, используя только трехчленные коэффициенты Зельмейера в области 1310 нм, коэффициент дисперсии может быть недостаточно точным при экстраполяции на область 1550 нм. Для связывания минимальных/максимальных коэффициентов хроматической дисперсии волокон МСЭ-Т G.657.А целесообразно объединить первую производную аппроксимации трехчленного уравнения Зельмейера групповой задержки с 1260 нм на 1460 нм и линейную аппроксимацию хроматической дисперсии (то есть первую производную квадратичной аппроксимации групповой задержки) с 1460 нм на 1625 нм.

Для связи 1260 нм с 1460 нм: связь коэффициента хроматической дисперсии $D(\lambda)$ при длине волны λ выполняется с помощью трех следующих уравнений:

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\min}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda \leq \lambda_{0\min}) \quad (6-1a)$$

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda_{0\min} \leq \lambda \leq \lambda_{0\max}) \quad (6-1b)$$

$$\frac{\lambda S_{0\min}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right] \quad (\lambda_{0\max} \leq \lambda) \quad (6-1c)$$

Для связи как минимальных, так и максимальных коэффициентов хроматической дисперсии добавлен минимальный наклон хроматической дисперсии $S_{0\min}$.

Для связи 1460 нм с 1625 нм: связь коэффициента хроматической дисперсии $D(\lambda)$ при длине волны λ выполняется с помощью следующего неравенства:

$$8,625 + 0,052(\lambda - 1460) \leq D(\lambda) \leq 12,472 + 0,068(\lambda - 1460). \quad (6-2)$$

Для определения спецификаций параметров хроматической дисперсии и их влияния в форме огибающей зоны дисперсии было проведено обследование продуктов МСЭ-Т G.652.D (включая волокна МСЭ-Т G.657.A). Результаты представлены в Дополнении II [ITU-T G.652].

Для волокон подкатегории МСЭ-Т G.657.B коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda)$ определяется путем наложения пределов на параметры кривой хроматической дисперсии, которая является функцией длины волны в области 1310 нм. Предел коэффициента хроматической дисперсии для любой длины волны λ рассчитывается по минимальной длине волны нулевой дисперсии $\lambda_{0\min}$, максимальной длине волны нулевой дисперсии $\lambda_{0\max}$ и максимальному наклону нулевой дисперсии $S_{0\max}$ согласно следующему уравнению:

$$D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right]. \quad (6-3)$$

Величины $\lambda_{0\min}$, $\lambda_{0\max}$, и $S_{0\max}$ должны находиться в пределах, указанных в таблице 2 раздела 8.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Не требуется измерять коэффициент хроматической дисперсии одномодового волокна на регулярной основе.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Хроматическая дисперсия волокон категории В, как правило, не является определяющим параметром для применения волокон этой категории, и, следовательно, ее значение может быть более гибким по сравнению со значением для волокон категории А.

7 Атрибуты кабеля

Геометрические и оптические характеристики волокон, приведенные в разделе 6, практически не изменяются в зависимости от процесса укладки кабеля, поэтому в данном разделе приведены рекомендации, относящиеся, главным образом, к характеристикам передачи кабелей строительных длин.

Очень важны условия окружающей среды и условия тестирования; их описание приведено в руководящих указаниях по методам тестирования.

7.1 Коэффициент затухания

Коэффициент затухания задается максимальной величиной для волны одной или более длины в областях 1310 нм и 1550 нм. Величина коэффициента затухания волоконно-оптического кабеля не должна превышать величин, приведенных в таблицах 1 и 2 раздела 8.

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], пример приведен в Дополнении III [ITU-T G.650.1].

7.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии

При необходимости PMD 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 III [ITU-T G.650.1].

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 таблицах 1 и 2 раздела 8, величина PMD_Q не должна превышать максимального значения коэффициента PMD, определенного в таблицах 1 и 2 раздела 8.

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 [ITU-T G.652].

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Спецификация PMD_Q потребуется только в случае использования кабелей для систем, имеющих спецификацию максимальной ДГЗ, то есть, например спецификация PMD_Q не применяется к системам, рекомендованным в настоящей Рекомендации.

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 перемычки, кабели в помещениях и абонентские отводы.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Коэффициент PMD для волокон категории В, как правило, не является определяющим параметром для применения волокон этой категории, и, следовательно, его значение может быть более гибким по сравнению со значением для волокон категории А.

8 Таблицы рекомендованных значений

В таблицах 1 и 2 сведены рекомендованные значения для входящих в категории А и В подкатегорий волокон, которые отвечают целям настоящей Рекомендации.

В таблице 1 "Атрибуты МСЭ-Т G.654 категории А" содержатся рекомендованные атрибуты и величины, необходимые для поддержки установок сетей доступа и транспортных сетей общего назначения, оптимизированных в отношении потерь на макроизгибе, а рекомендованные значения других атрибутов по-прежнему остаются в диапазоне, рекомендованном в МСЭ-Т G.652D. В эту категорию входят две подкатегории, отличающиеся требованиями к макроизгибу: волокно подкатегории МСЭ-Т G.657.A1 и волокно подкатегории МСЭ-Т G.657.A2.

В таблице 2 "Атрибуты МСЭ-Т G.654 категории В", содержатся рекомендованные атрибуты и величины, необходимые для поддержки установки оптимизированной сети доступа с очень малыми радиусами изгиба, применяемыми в системах организации волокон и в основном используемыми в оконечных частях сетей доступа, в частности внутри зданий или около зданий. В эту категорию входят две подкатегории, отличающиеся требованиями к макроизгибу: волокно подкатегории МСЭ-Т G.657.B2 и волокно подкатегории МСЭ-Т G.657.B3.

Таблица 1 – Атрибуты МСЭ-Т G.654 категории А

Атрибуты волокна							
Атрибут	Элемент	Значение					Единица
Диаметр модового поля	Длина волны	1 310					нм
	Диапазон номинальных значений	8,6–9,2					мкм
	Допуск	±0,4					мкм
Диаметр оболочки	Номинал	125,0					мкм
	Допуск	±0,7					мкм
Погрешность концентричности сердцевин	Максимальное значение	0,5					мкм
Некруглость оболочки	Максимальное значение	1,0					%
Кабельная длина волны отсечки	Максимальное значение	1 260					нм
Потери на макроизгибе в свободном кабеле (Примечания 1 и 2)		МСЭ-Т G.657.A1		МСЭ-Т G.657.A2			
	Радиус	15	10	15	10	7,5	мм
	Количество витков	10	1	10	1	1	
	Максимальное значение при 1 550 нм	0,25	0,75	0,03	0,1	0,5	дБ
	Максимальное значение при 1 625 нм	1,0	1,5	0,1	0,2	1,0	дБ
		МСЭ-Т G.657 категории А					
Предел прочности	Минимум	0,69					ГПа
Параметр хроматической дисперсии Аппроксимации трехчленного уравнения Зельмейера (с 1 260 нм на 1 460 нм)	λ_{0min}	1 300					нм
	λ_{0max}	1 324					нм
	S_{0min}	0,073					пс/(нм ² × км)
	S_{0max}	0,092					пс/(нм ² × км)
Линейная аппроксимация (с 1 460 нм на 1 625 нм)	Мин. при 1 550 нм	13,3					пс/(нм × км)
	Макс. при 1 550 нм	18,6					пс/(нм × км)
	Мин. при 1 625 нм	17,2					пс/(нм × км)
	Макс. при 1 625 нм	23,7					пс/(нм × км)
Атрибуты кабеля							
Коэффициент затухания (Примечание 3)	Максимальное значение от 1 310 нм до 1 625 нм (Примечание 4)		0,40			дБ/км	
	Максимальное значение при 1 383 нм ±3 нм после водородного старения (Примечание 5)		0,40			дБ/км	
	Максимальное значение при 1 530–1 565 нм		0,30			дБ/км	
Коэффициент PMD	M		20			кабели	
	Q		0,01			%	
	Максимальное значение PMD _Q		0,20			пс/км ^{1/2}	

Таблица 1 – Атрибуты МСЭ-Т G.654 категории А

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Волокна МСЭ-Т G.652, укладываемые с радиусами, составляющими 15 мм, как правило, могут характеризоваться потерями на макроизгибе в несколько дБ на 10 витков при длине волны 1625 нм.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Потери на макроизгибе могут оцениваться с применением метода навивания на стержень (Метод А [IEC 60793-1-47]) путем подстановки значений радиуса изгиба и количества витков, указанных в настоящей таблице.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Вследствие недостаточной точности при измерении коэффициента затухания короткого кабеля в качестве его значения может быть взято значение, соответствующее исходному более длинному кабелю-донору.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Область данной длины волны может быть расширена до 1260 нм путем добавления наведенных потерь рэлеевского рассеяния, равных 0,07 дБ/км, к значению затухания при 1310 нм.

ПРИМЕЧАНИЕ 5 – Водородное старение – это тип испытаний, которые должны выполняться для набора отобранных волокон, согласно [IEC 60793-2-50] в отношении волокон категории В1.3.

Таблица 2 – Атрибуты G.657 категории В

Атрибуты волокна								
Атрибут	Элемент	Значение						Единица
Диаметр модового поля	Длина волны	1 310						нм
	Диапазон номинальных значений	8,6–9,2						мкм
	Допуск	±0,4						мкм
Диаметр оболочки	Номинал	125,0						мкм
	Допуск	±0,7						мкм
Погрешность концентричности сердцевин	Максимальное значение	0,5						мкм
Некруглость оболочки	Максимальное значение	1,0						%
Кабельная длина волны отсечки	Максимальное значение	1 260						нм
Потери на макроизгибе в свободном кабеле (Примечания 1 и 2)		МСЭ-Т G.657.B2			МСЭ-Т G.657.B3			
	Радиус (мм)	15	10	7,5	10	7,5	5	мм
	Количество витков	10	1	1	1	1	1	
	Максимальное значение при 1 550 нм	0,03	0,1	0,5	0,03	0,08	0,15	дБ
	Максимальное значение при 1 625 нм	0,1	0,2	1,0	0,1	0,25	0,45	дБ
Предел прочности	Минимум	0,69						ГПа
Параметр хроматической дисперсии	λ_{0min}	1 250						нм
	λ_{0max}	1 350						нм
	S_{0max}	0,11						пс/(нм ² × км)

Таблица 2 – Атрибуты G.657 категории В

Атрибуты кабеля			
Коэффициент затухания (Примечания 3 и 4)	Максимальное значение от 1 310 нм до 1 625 нм (Примечание 5)	0,40	дБ/км
	Максимальное значение при 1 383 нм ±3 нм после водородного старения (Примечание 6)	0,40	дБ/км
	Максимальное значение при 1 530–1 565 нм	0,30	дБ/км
Коэффициент PMD	M	20	кабели
	Q	0,01	%
	Максимальное значение PMD_Q	0,50	пс/км ^{1/2}
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Потери на макроизгибе могут оцениваться с применением метода навивания на стержень (Метод А [IEC 60793-1-47]) путем подстановки значений радиуса изгиба и количества витков, указанных в настоящей таблице.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – При том что могут быть установлены базовые значения показателей макроизгиба для свободных волокон, реальное проектное решение и материалы конструкции кабеля могут влиять на показатели в полевых условиях. В настоящее время ведутся исследования воздействия укладки кабеля на макроизгибы, результаты которых могут обусловить необходимость в будущем в каких-либо дополнительных спецификациях или параметрах кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Операторы могут принять решение о том, что в их (конкретных) сетях необязательно соответствие волокон категории МСЭ-Т G.657.В спектральным характеристикам затухания волокон категории [ITU-T G.657].А (или волокон МСЭ-Т G.652.D). Например, при применении этих волокон в оконечной части сети доступа малая разница в спецификации коэффициента затухания в области 1380 нм (например, как показано на рисунке 10-4 [b-ITU-T G-Sup.39]) может не вносить ухудшений в работу системы и не создавать трудности при развертывании (незначительное влияние на общие характеристики системы).</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Вследствие недостаточной точности при измерении коэффициента затухания короткого кабеля в качестве его значения может быть взято значение, соответствующее исходному более длинному кабелю-донору.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Область данной длины волны может быть расширена до 1260 нм путем добавления наведенных потерь рэлеевского рассеяния, равных 0,07 дБ/км, к значению затухания при 1310 нм.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 6. – Водородное старение – это тип испытаний, которые должны выполняться для набора отобранных волокон, согласно [IEC 60793-2-50] в отношении волокон категории В1.3.</p>			

Для иллюстрации спецификаций различных макроизгибов для разных подкатегорий, определенных в данном разделе, на рисунках 1 и 2 представлены рекомендованные значения.

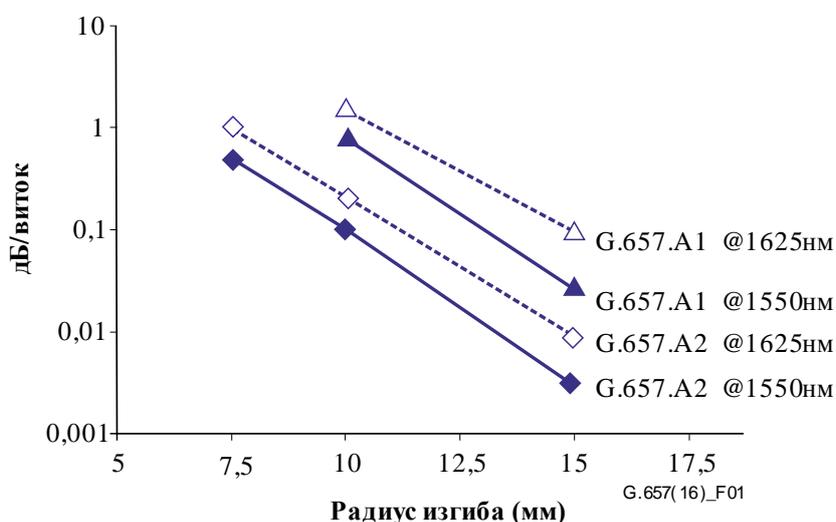


Рисунок 1 – Потери на макроизгибе по данным таблицы 1 для категории МСЭ-Т G.657.А

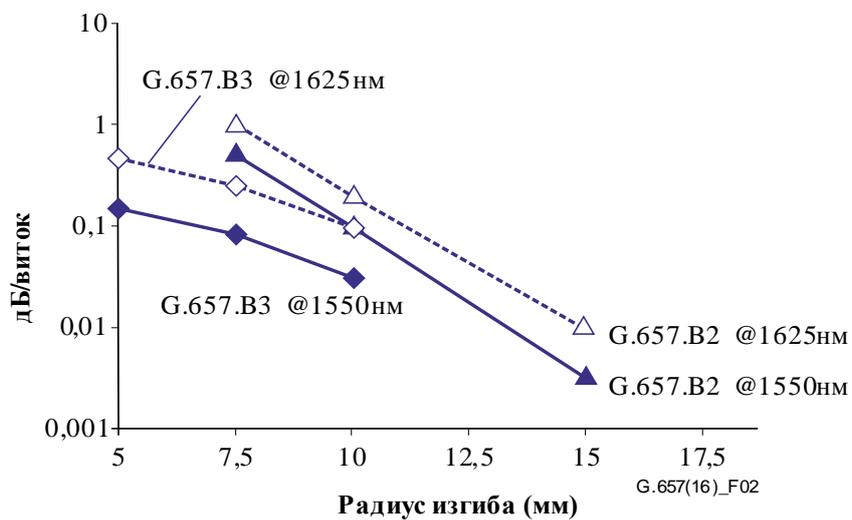


Рисунок 2 – Потери на макроизгибе по данным таблицы 2 для категории МСЭ-Т G.657.B

Дополнение I

Ожидаемый срок службы одномодового волокна в случае изгиба с малым радиусом

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

ПРИМЕЧАНИЕ. – Настоящее Дополнение перенесено в [b-ITU-T G-Sup.59].

Библиография

- [[b-ITU-T G.987.2] Recommendation ITU-T G.987.2 (2016), *10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification.*
- [b-ITU-T G.989.2] Recommendation ITU-T G.989.2 (2014), *40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification.*
- [b-ITU-T G-Sup.39] Supplement ITU-T G-Sup.39 (2016), *Optical system design and engineering considerations.*
- [b-ITU-T G-Sup.59] Supplement ITU-T G-Sup.59 (2016), *Guidance on optical fibre and cable reliability.*
- [b-IEC/TR 61282-3] IEC/TR 61282-3:2006, *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of link polarization mode dispersion.*

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Принципы тарификации и учета и экономические и стратегические вопросы международной электросвязи/ИКТ
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
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 межсетевых протоколов, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи