



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

**МСЭ-Т**

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

**G.657**

(12/2006)

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 макроизгибе, для использования  
в сетях доступа**

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
<b>Волоконно-оптические кабели</b>	<b>G.650–G.659</b>
Характеристики оптических компонентов и подсистем	G.660–G.679
Характеристики оптических систем	G.680–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999

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

## Рекомендация МСЭ-Т G.657

### Характеристики одномодового волокна и кабеля, не чувствительного к потерям на изгибе, для использования в сетях доступа

#### Резюме

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

Накоплен обширный опыт установки и эксплуатации сетей на базе одномодового волокна и кабеля, и Рекомендация МСЭ-Т G.652, в которой описываются 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 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 многочисленные операции требуют ориентированных на 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.

Целью Рекомендации МСЭ-Т G.657 является поддержка такой оптимизации путем рекомендации существенно улучшенных рабочих характеристик изгиба по сравнению с характеристиками существующих одномодовых волокон и кабелей G.652. Это достигается введением двух классов одномодовых волокон, – волокна класса А полностью соответствуют одномодовым волокнам G.652 и могут также использоваться в других частях сети. Волокна другого класса, класса В, необязательно соответствуют G.652, но могут обеспечивать низкие значения потерь на макроизгибе при очень малых радиусах изгиба и предназначены в основном для использования внутри помещений.

#### Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.657 утверждена 14 декабря 2006 года 15-й Исследовательской комиссией (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации А.8.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

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

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

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

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

## ПРИМЕЧАНИЕ

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

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

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

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

© ITU 2007

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

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения .....	1
2 Ссылки .....	1
3 Термины и определения .....	1
4 Сокращения .....	2
5 Атрибуты волокна.....	2
5.1 Диаметр модового пятна.....	2
5.2 Диаметр оболочки.....	2
5.3 Эксцентриситет сердцевины.....	2
5.4 Сплюсненность .....	2
5.5 Длина волны среза.....	2
5.6 Потери на макроизгибе .....	3
5.7 Свойства материала волокна .....	3
5.8 Профиль коэффициента преломления .....	4
5.9 Продольная однородность хроматической дисперсии.....	4
5.10 Коэффициент хроматической дисперсии .....	4
6 Атрибуты кабеля .....	5
6.1 Коэффициент затухания.....	5
6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии для волокон класса А.....	5
7 Таблицы рекомендуемых величин .....	6
Дополнение I – Ожидаемый срок службы одномодового волокна в случае укладки с малым радиусом .....	10
I.1 Введение .....	10
I.2 Сеть и отказ сети.....	10
I.3 Соображения относительно срока службы .....	10
I.4 Выводы .....	11
БИБЛИОГРАФИЯ.....	12

## **Введение**

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

Накоплен обширный опыт установки и эксплуатации сетей на базе одномодового волокна и кабеля, и [МСЭ-Т G.652], в которой описываются 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. Требования, предъявляемые к волокну и кабелю, могут быть оптимизированы иначе, чем для транспортных сетей общего назначения, что объясняется наличием плотной сети распределительных и ответвительных кабелей, ограниченной площадью и большим числом операций в этой части сети. Целью настоящей Рекомендации является поддержка такой оптимизации путем рекомендации различных значений атрибутов для существующих одномодовых волокон и кабелей G.652, а также рекомендации других классов типов одномодового волокна.

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

## Рекомендация МСЭ-Т G.657

### Характеристики одномодового волокна и кабеля, не чувствительного к потерям на изгибе, для использования в сетях доступа

#### 1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации содержится описание двух категорий волоконно-оптических одномодовых кабелей, пригодных для использования в сетях доступа, в том числе в помещениях в оконечной части таких сетей.

Волокна категории А применимы в спектральных полосах O, E, S, C и L (то есть во всем диапазоне от 1260 до 1625 нм). Волокна и требования, относящиеся к этой категории, являются подмножеством волокон G.652.D и обладают теми же характеристиками передачи и соединения. К основным усовершенствованиям относятся улучшенные характеристики потерь на изгибе и спецификации, допускающие более плотное размещение, – оба эти фактора способствуют связности.

Волокна категории В пригодны для передач на волнах длиной 1310, 1550 и 1625 нм на ограниченные расстояния, связанных с транспортом сигналов внутри помещений. Эти волокна характеризуются иными, по сравнению с волокнами G.652, свойствами сращивания и соединения, но допускают очень малые радиусы изгибов.

Значение терминов, используемых в настоящей Рекомендации, и руководящие указания, которым необходимо следовать при проведении измерений для проверки различных характеристик, содержатся в [МСЭ-Т G.650.1] и [МСЭ-Т G.650.2]. Характеристики волокна этих категорий, включая определения относящихся к ним параметров, методы их испытаний и соответствующие значения будут уточняться по мере проведения исследований и 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.

- [ITU-T G.650.1] ITU-T Recommendation G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- [ITU-T G.650.2] Рекомендация МСЭ-Т G.650.2 (2005 г.), *Определения и методы тестирования статистических и нелинейных взаимосвязанных атрибутов одномодового волокна и кабеля.*
- [ITU-T G.652] Рекомендация МСЭ-Т G.652 (2005 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля.*
- [IEC 60793-1-47] IEC 60793-1-47 (2006), *Optical fibres – Part 1-47; Measurement methods and test procedures – Macrobending loss.*

#### 3 Термины и определения

Для целей настоящей Рекомендации применяются определения и руководящие принципы, которым необходимо следовать при проведении измерений для проверки различных характеристик, данные в [МСЭ-Т G.650.1] и [МСЭ-Т G.650.2]. Значения округляются до количества разрядов, указанных в таблицах рекомендуемых величин, до выполнения оценки соответствия.

## 4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

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

## 5 Атрибуты волокна

Характеристики оптического волокна, которые обеспечивают необходимую при проектировании структуру для производства волокна, проектирования систем и использования в наружных линейно-кабельных сооружениях, рекомендуются в [МСЭ-Т G.652]. В данном разделе основное внимание уделяется атрибутам, которые оптимизируют волокно и кабель для использования в широкополосных оптических сетях доступа, особенно их *улучшенным характеристикам на макроизгибе*, которые поддерживают системы организации волокон малого объема и укладку с малыми радиусами в помещениях оборудования связи и в помещениях абонентов в многоквартирных и отдельных многоквартирных жилых домах.

В этом пункте рекомендуются только те характеристики волокна, которые обеспечивают минимально необходимую при проектировании основу для изготовления волокна. Диапазоны или пределы по величинам представлены в таблицах п. 7. Из них значительное влияние на длину волны среза волокна в кабеле и на PMD может оказывать изготовление кабеля или установка. В ином случае рекомендуемые характеристики будут одинаково применяться к отдельным волокнам, волокнам, которые заключены в кабель, намотанным на барабане, и волокнам в проложенном кабеле.

### 5.1 Диаметр модового пятна

Номинальное значение и допуск на это номинальное значение определяются для длины волны 1310 нм. Определяемый номинал находится в пределах диапазона, указанного в п. 7. Определяемый допуск не превышает значения, указанного в п. 7. Отклонение от номинала не превышает установленного допуска.

### 5.2 Диаметр оболочки

Рекомендуемое номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Также определяется допуск, и он не должен превышать величины, указанной в п. 7. Отклонение оболочки от номинала не превышает установленного допуска.

### 5.3 Эксцентриситет сердцевины

Эксцентриситет сердцевины не превышает величины, определенной в п. 7.

### 5.4 Сплюсненность

#### 5.4.1 Сплюсненность модового пятна

На практике сплюсненность модового пятна волокон, номинально имеющих круглые модовые пятна, считается достаточно низкой и потому не влияющей на распространение и сращивание. Следовательно, не считается необходимым рекомендовать конкретное значение сплюсненности модового пятна. Как правило, нет необходимости измерять сплюсненность модового пятна для целей приемки.

#### 5.4.2 Сплюсненность оболочки

Сплюсненность оболочки не превышает величины, указанной в п. 7.

### 5.5 Длина волны среза

Различают три имеющих практическое значение типа длины волны среза:

- длина волны среза кабеля  $\lambda_{cc}$ ;
- длина волны среза волокна  $\lambda_c$ ;

с) длина волны среза кабельной перемычки  $\lambda_{cj}$ .

Взаимосвязь измеренных величин  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  и  $\lambda_{cj}$  зависит от конкретного конструктивного исполнения волокна и кабеля и условий испытаний. При том, что в общем случае  $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ , установить общее количественное соотношение непросто. Наибольшее значение имеет обеспечение одномодовой передачи при минимальной длине кабеля между стыками при минимальной рабочей длине волны. Это может быть осуществлено путем рекомендации максимальной длины волны среза кабеля  $\lambda_{cc}$  одномодового волокна, заключенного в кабель, которая должна составлять 1260 нм, или – для типовых перемычек – путем рекомендации максимальной длины волны среза кабельной перемычки, которая должна составлять 1250 нм, или – для худшего случая протяженности и изгибов – путем рекомендации максимальной длины волны среза волокна, которая должна составлять 1250 нм.

Длина волны среза кабеля  $\lambda_{cc}$  должна быть ниже максимума, указанного в п. 7.

## 5.6 Потери на макроизгибе

Потери на макроизгибе изменяются в зависимости от длины волны, радиуса изгиба и числа витков на стержне конкретного радиуса. Потери на макроизгибе не превышают максимума, приведенного в п. 7 для указанных длин(ы) волн, радиуса изгиба и числа витков.

Реальное воздействие малого радиуса волокна проявляется только при относительно малых значениях длины. Поскольку, как правило, выбор радиуса изгиба и длина имеющего изгибы волокна может меняться в зависимости от конструкции системы организации волокон и практики их прокладки, спецификация только одного радиуса изгиба более недостаточна. Несмотря на то что публикуются результаты моделирования различных типов волокна, общеприменимая модель потерь на изгибе для описания зависимости величины потерь от радиуса отсутствует. По этой причине в п. 7 содержатся рекомендуемые максимальные потери на макроизгибе для различных радиусов изгиба.

Поскольку оптические потери на сгибе увеличиваются с увеличением длины волны, 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 может быть достаточно проведения испытания на соответствие техническим условиям.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – В случае выбора для реализации числа витков, превышающего рекомендуемое число, предполагается, что максимальные потери при таком развертывании пропорциональны указанному числу витков.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – При необходимости проведения обычных испытаний для точности и удобства измерений могут использоваться меняющиеся диаметры петли вместо рекомендуемого испытания. В этом случае для испытания с несколькими витками диаметр петли, число витков и максимальные допустимые потери на изгибе выбираются таким образом, чтобы привести их в соответствие с рекомендуемым испытанием и допустимыми потерями.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – В общем, потери на макроизгибе зависят от выбора значений других атрибутов волокна, таких как диаметр модового пятна, коэффициент хроматической дисперсии и длина волны среза волокна. 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 7-1 и 7-2.

## 5.7 Свойства материала волокна

### 5.7.1 Материалы волокна

Должны быть указаны вещества, из которых изготовлены волокна.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Следует проявлять осторожность при сваривании сращиваемых волокон, изготовленных из различных веществ. Предварительные результаты указывают, что требования в отношении потерь при сращивании и прочности могут выполняться при сращивании волокон с большим содержанием кварца.

## 5.7.2 Защитные материалы

Следует указывать физические и химические свойства материалов, используемых для первичного покрытия волокон, и наилучший способ его удаления (при необходимости). Аналогичные указания даются для одиночного волокна в оболочке.

## 5.7.3 Уровень проверочного напряжения

Определяемое проверочное напряжение  $\sigma_p$  не должно быть ниже минимума, указанного в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Определения механических параметров содержатся в пп. 3.2 и 5.6 [МСЭ-Т G.650.1].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – См. также Дополнение I, ниже, содержащее информацию по этой теме.

## 5.8 Профиль коэффициента преломления

Обычно не требуется знать профиль коэффициента преломления волокна.

## 5.9 Продольная однородность хроматической дисперсии

Этот атрибут обычно менее актуален для применений в сети доступа. Более подробно см. [МСЭ-Т G.652].

## 5.10 Коэффициент хроматической дисперсии для волокон класса А

Как определено в Приложении А [МСЭ-Т G.650.1] измеряемое групповое запаздывание или коэффициент хроматической дисперсии в зависимости от длины волны подбираются с помощью трехчленного уравнения Зельмеера. (Руководящие указания по интерполяции значений дисперсии на неизмеряемых длинах волн см. в п. 5.5 [МСЭ-Т G.650.1]).

Уравнение Зельмеера может использоваться для подбора данных в каждом диапазоне (1310 нм и 1550 нм) двумя подборками по отдельности или общим подбором с данными из обоих диапазонов.

Подбор Зельмеера в области 1310 нм может быть недостаточно точным при экстраполяции на область 1550 нм. Поскольку в последней хроматическая дисперсия шире, уменьшенная точность может быть приемлемой; если же это не так, точность может быть повышена путем включения данных из области 1550 нм при осуществлении общего подбора или путем использования отдельного подбора в области 1550 нм. Следует отметить, что общий подбор может уменьшить точность в области 1310 нм.

Коэффициент хроматической дисперсии  $D$  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  $\lambda$  рассчитывается при минимальной длине волны нулевой дисперсии  $\lambda_{0\min}$ , максимальной длине волны нулевой дисперсии  $\lambda_{0\max}$  и максимальном коэффициенте нулевой дисперсии  $S_{0\max}$  согласно следующему уравнению:

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

Величины  $\lambda_{0\min}$ ,  $\lambda_{0\max}$ , и  $S_{0\max}$  находятся в пределах, указанных в таблицах п. 7.

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

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Хроматическая дисперсия волокон класса В, как правило, не является определяющим параметром для применения волокон этого класса, и, следовательно, ее значение не включается в атрибуты, перечисленные для Класса В в таблице 7-2.

## 6 Атрибуты кабеля

Поскольку на геометрические и оптические характеристики волокон, приведенные в п. 5, процесс укладки кабеля практически не влияет, в данном пункте приводятся рекомендации, относящиеся, главным образом, к характеристикам передачи изготовленных в заводских условиях кабельных длин.

Наиболее важное значение имеют условия окружающей среды и условия во время испытаний, которые описываются в руководящих указаниях относительно методов испытаний.

### 6.1 Коэффициент затухания

Коэффициент затухания задается максимальной величиной для волны одной или более длинны в областях 1310 нм и 1550 нм. Величины коэффициента затухания волоконно-оптического кабеля не превышают величин, приведенных в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Коэффициент усиления может быть рассчитан по спектру длин волн на основе измерений на нескольких (трех-четырёх) предсказываемых длинах волны. Эта процедура описана в п. 5.4.4. [МСЭ-Т G.650.1], пример приведен в Дополнении III [МСЭ-Т G.650.1].

### 6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии для волокон класса А

При необходимости поляризационная модовая дисперсия задается на статистической основе, а не на основе отдельного волокна. Требования относятся только к сигналу линии, рассчитанной на основе информации о кабеле. Метрики статистической спецификации приведены ниже. Методы расчетов представлены в Технической рекомендации МЭК 61282-3, а в Дополнении III [МСЭ-Т G.650.1] содержится пример расчетов.

Изготовитель предоставляет расчетные величины линии  $PMD$ ,  $PMD_Q$ , которые служат в качестве верхней границы для коэффициента  $PMD$  каскадно соединенных волоконно-оптических кабелей в пределах определенной возможной линии, состоящей из  $M$  кабельных секций. Верхняя граница определяется как уровень малой вероятности  $Q$ , являющейся вероятностью того, что величина коэффициента объединенной  $PMD$  превысит  $PMD_Q$ . Для значений  $M$  и  $Q$ , указанных в п. 7, величина  $PMD_Q$  не превышает максимального значения коэффициента  $PMD$ , определенного в п. 7.

Измерения и технические характеристики не заключенного в кабель волокна необходимы, но недостаточны для обеспечения полной спецификации волоконного кабеля. Максимальные расчетные величины линии, заданные для не заключенного в кабель волокна, не превышают величин, указанных для волоконного кабеля. Соотношение величин  $PMD$  для не заключенного в кабель волокна и волоконного кабеля зависит от особенностей конструкции кабеля и обработки, а также от условия связи мод не заключенного в кабель волокна. В [МСЭ-Т G.650.2] для измерений  $PMD$  не заключенного в кабель волокна рекомендуется применение низкой связи мод, требующей слабого натяжения намотки на катушке большого диаметра.

Ограничения на распределение величин коэффициента  $PMD$  могут быть интерпретированы как приблизительно эквивалентные ограничения, наложенным на статистическое изменение дифференциальной групповой задержки (ДГЗ), изменяющейся случайно во времени и в зависимости от длины волны. Если распределение коэффициента  $PMD$  задано для волоконно-оптического кабеля, могут быть определены эквивалентные пределы изменения ДГЗ. Метрики и величины для распределения линии с ДГЗ приведены в Дополнении I [МСЭ-Т G.652].

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Спецификация  $PMD_Q$  может потребоваться только в случае использования кабелей для систем, имеющих спецификацию максимальной ДГЗ, то есть, например спецификация на  $PMD_Q$  не применяется к системам, рекомендованным в Рек. МСЭ-Т G.957.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. –  $PMD_Q$  должна рассчитываться для различных типов кабелей, и они, как правило, должны быть рассчитаны с использованием выборочных значений  $PMD$ . Выборки берутся по данным для кабелей аналогичной конструкции.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Спецификация  $PMD_Q$  не должна применяться к коротким кабелям, например к перемычкам, кабелям для прокладки в помещениях и отводным кабелям.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Коэффициент  $PMD$  для волокон класса В, как правило, не является определяющим параметром для применения волокон этого класса, и, следовательно, его значение не включается в атрибуты, перечисленные для Класса В в таблице 7-2.

## **7        Таблицы рекомендуемых величин**

В следующие таблицы сведены рекомендуемые значения для тех категорий волокон, которые отвечают целям настоящей Рекомендации.

В таблице 7-1, Атрибуты для класса А, содержатся рекомендуемые атрибуты и величины, необходимые для поддержки установки сети доступа, оптимизированной в отношении потерь на макроизгибе, а рекомендуемые значения других атрибутов по-прежнему остаются в диапазоне, рекомендованном в G.652D

В таблице 7-2, Атрибуты для класса В, содержатся рекомендуемые атрибуты и величины, необходимые для поддержки установки оптимизированной сети доступа с очень малыми радиусами изгиба, применяемыми в системе организации волокон и, в частности, для установок в помещениях и для наружной установки. Для значений диаметра модового пятна и коэффициента хроматической дисперсии данный рекомендованный диапазон значений может превышать диапазон значений, рекомендованный в [МСЭ-Т G.652].

**Таблица 7-1 – Атрибуты G.657 класса А**

<b>Атрибуты волокна</b>			
<b>Атрибут</b>	<b>Элемент</b>	<b>Значение</b>	
Диаметр модового пятна	Длина волны	1310 нм	
	Диапазон номинальных значений	8,6–9,5 мкм	
	Допуск	±0,4 мкм	
Диаметр оболочки	Номинал	125,0 мкм	
	Допуск	±0,7 мкм	
Эксцентриситет сердцевины	Максимум	0,5 мкм	
Сплюснутость оболочки	Максимум	1,0%	
Длина волны среза кабеля	Максимум	1260 нм	
Потери на макроизгибе (Примечания 1 и 2)	Радиус (мм)	15	10
	Количество витков	10	1
	Максимум при 1550 нм (дБ)	0,25	0,75
	Максимум при 1625 нм (дБ)	1,0	1,5
Проверочное напряжение	Минимум	0,69 ГПа	
Коэффициент хроматической дисперсии	$\lambda_{0min}$	1300 нм	
	$\lambda_{0max}$	1324 нм	
	$S_{0max}$	0,092 пс/нм <sup>2</sup> × км	
<b>Атрибуты кабеля</b>			
Коэффициент затухания	Максимум от 1310 нм до 1625 нм (Примечание 3)	0,4 дБ/км	
	Максимум при 1383 нм ±3 нм	(Примечание 4)	
	Максимум при 1550 нм	0,3 дБ/км	
Коэффициент PMD	М	20 кабелей	
	Q	0,01%	
	Максимум PMD <sub>Q</sub>	0,20 пс/√км	
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Волокна G.652, применяемые для радиусов, составляющих 15 мм, как правило, могут характеризоваться потерями на макроизгибе в несколько дБ для 10 витков и при длине волны 1625 нм.</p> <p>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.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Область данной длины волны может быть расширена до 1260 нм путем добавления наведенных потерь рассеяния Релея, равных 0,07 дБ/км, к значению затухания на 1310 нм. В этом случае длина волны среза не должна превышать 1250 нм.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Средняя выборочная величина затухания на этой длине волны меньше или равна максимальному значению, указанному для диапазона 1310–1625 нм, после водородного старения согласно [b-IEC 60793-2-50] в отношении категории волокон B1.3.</p>			

**Таблица 7-2 – Атрибуты G.657 класса В**

<b>Атрибуты волокна</b>				
<b>Атрибут</b>	<b>Элемент</b>	<b>Значение</b>		
Диаметр модового пятна	Длина волны	1310 нм		
	Диапазон номинальных значений	6,3–9,5 мкм		
	Допуск	±0,4 мкм		
Диаметр оболочки	Номинал	125,0 мкм		
	Допуск	±0,7 мкм		
Эксцентриситет сердцевины	Максимум	0,5 мкм		
Сплюснутость оболочки	Максимум	1,0%		
Длина волны среза кабеля	Максимум	1260 нм		
Потери на макроизгибе (Примечание 1)	Радиус (мм)	15	10	7,5
	Количество витков	10	1	1
	Максимум при 1550 нм (дБ)	0,03	0,1	0,5
	Максимум при 1625 нм (дБ)	0,1	0,2	1,0
Проверочное напряжение	Минимум	0,69 ГПа		
Коэффициент хроматической дисперсии (Примечание 2)		TBD		
<b>Атрибуты кабеля</b>				
Коэффициент затухания	Максимум при 1310 нм	0,5 дБ/км		
	Максимум при 1550 нм	0,3 дБ/км		
	Максимум при 1625 нм	0,4 дБ/км		
Коэффициент PMD (Примечание 3)		TBD		
<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. – Коэффициенты хроматической дисперсии не являются определяющими параметрами, поскольку волокно класса В поддерживает часть установки оптимизированной сети доступа с очень малыми радиусами изгиба. Минимальная и максимальная длина волны нулевой дисперсии может рассматриваться равной <math>\lambda_{0min} = 1300</math> нм и <math>\lambda_{0max} = 1420</math> нм, соответственно, при максимальном коэффициенте нулевой дисперсии <math>S_{0max} = 0,10</math> пс/нм<sup>2</sup> · км.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Коэффициенты PMD не являются определяющими параметрами, поскольку волокно класса В поддерживает часть установки оптимизированной сети доступа с очень малыми радиусами изгиба.</p>				

Для иллюстрации спецификаций различных макроизгибов для разных определенных в данном пункте классов на рисунке 7-1 представлены рекомендуемые значения.

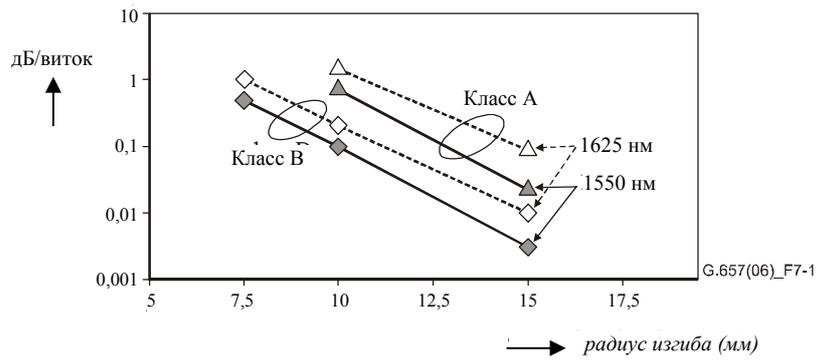


Рисунок 7-1 – Потери на макроизгибе по данным таблиц 7-1 и 7-2 для классов А и В

## Дополнение I

### Ожидаемый срок службы одномодового волокна в случае укладки с малым радиусом

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

#### I.1 Введение

Укладка волокна с уменьшенным радиусом в системе организации волокон и в муфтах может оказывать воздействие на ожидаемый срок службы. Важными параметрами, определяющими ожидаемый срок службы, являются уровень прикладываемого проверочного напряжения во время производства волокна и истинная сила волокна. Требуемые значения этих параметров следует перерассчитывать с учетом допустимой интенсивности отказов в сети. При оценке результатов этого основным является вопрос о том, удовлетворяют ли одномодовые волокна, определенные в настоящей Рекомендации, требованиям в течение достаточно длительного ожидаемого срока службы. В данном Дополнении содержится более полная справочная информация по этому вопросу.

#### I.2 Сеть и отказ сети

Для расчета срока службы рассматривается простая сеть, состоящая из распределительного кабеля с 1000 волокон и имеющая древовидную архитектуру, показанная на рисунке I.1. В зависимости от процедур установки и подсоединения абонентов, применяемых оператором, отдельные волокна или группы волокон укладываются в кассетах в основном распределительном кабеле или разветвителях. Для простоты изложения и представления наихудшего случая принимается, что все 1000 волокон проходят через 5 шкафов или кожухов с кассетой для укладки в каждом отдельном волоконном звене и в каждом шкафу или кожухе.

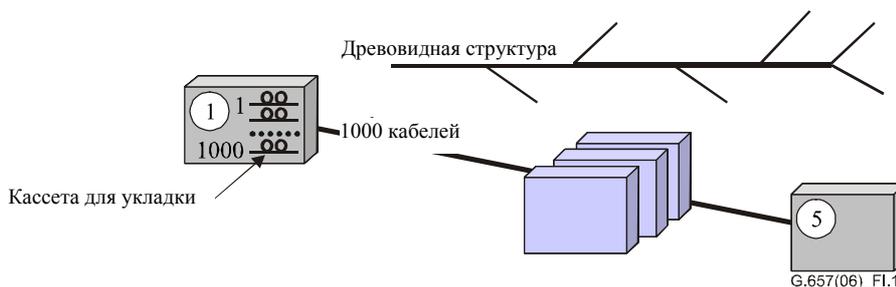


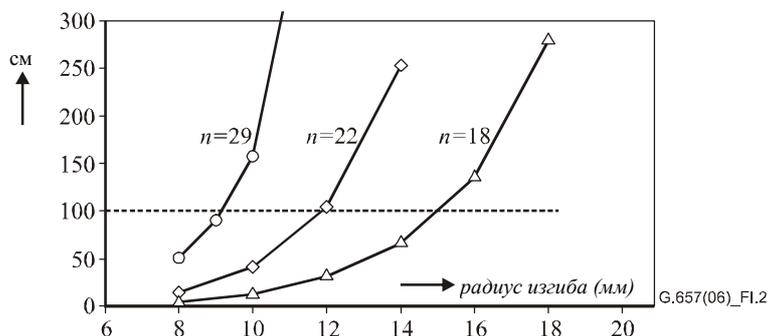
Рисунок I.1 – Упрощенная структура сети

Для данной конкретной структуры сети интенсивность отказов в *одной отдельной кассете с волоконном составляет 0,001% в 20 лет*, и это означает 5%-вероятность того, что за 20 лет во всей сети произойдет один самопроизвольный разрыв. Эта вероятность должна быть сравнима с вероятностью других отказов, которые могут возникнуть в распределительной сети в течение 20 лет эксплуатационного срока службы. Причинами таких отказов могут стать повторные работы в звене или реконфигурация звена или иные случаи повреждения кабеля или шкафа. Для большинства ситуаций в сети доступа можно допустить, что объявленная вероятность обрыва волокна значительно ниже вероятности отказов по другим причинам. Каждый оператор должен определять допустимое значение интенсивности отказов, используя более точные данные по статистике интенсивности отказов в наружных линейно-кабельных сооружениях.

#### I.3 Соображения относительно срока службы

Кроме характеристик истинной силы волокна и условий эксплуатации волокна основными параметрами, определяющими интенсивность отказов в одной кассете, являются *длина* уложенного волокна и *радиус изгиба R* в укладке. Меньшая длина укладки будет иметь положительное воздействие, а уменьшенный радиус – отрицательное воздействие. Применяя модель срока службы [b-IEC/TR 62048] с использованием более подробной информации [b-OFT] по современным волокнам

со стандартной установкой проверочного напряжения и нормальным режимом проверочных испытаний, получены показанные на рисунке I.2 значения максимальной длины укладки для 20-летнего срока службы как функция радиуса изгиба волокна для различных значений коэффициента  $n$  чувствительности к коррозии при статическом напряжении (параметр усталости).



**Рисунок I.2 – Максимальная длина укладки для волокна с изгибом и различные значения параметра  $n$  усталости**

Следует отметить, что значение  $n = 18$  является минимальным значением, объявленным в [b-IEC 60793-2-50] и общих требованиях Telcordia GR-20-CORE. Для длины укладки кабеля в одной кассете, равной, например 100 см, то есть  $2 \times 50$  см на одно одиночное волокно, радиус изгиба может уменьшаться с текущего значения 30 мм до 15 и даже 9 мм в зависимости от гарантированного значения  $n$  при условии не ухудшения уровня интенсивности отказов, равного 0,001% на одну кассету в течение 20 лет.

Вторым вопросом укладки являются порты входа и выхода в системе организации волокон. Требуемые малые размеры оптических компонентов сети обуславливаются не только областью укладки, но и минимальным радиусом укладки во входных и выходных портах. Влияние этого фактора можно учесть несколькими способами. Для целей настоящего Дополнения принимается, что в каждой кассете требуются по **четыре** дополнительных 90-градусных изгиба для направления волокна в и из областей укладки. Также принимается, что дополнительное значение интенсивности отказов за счет этих дополнительных изгибов должно быть ограничено и не превышать 10% от допустимого значения интенсивности отказов, которое составляет 0,001% для кассеты. В результате определяются минимальные значения, показанные в среднем столбце таблицы I.1.

**Таблица I.1 – Минимальные значения радиусов изгибов кабеля не в укладке**

значение $n$	четыре 90° изгиба	один 180° изгиб
18	$R_{\min} = 15,0$ мм	$R_{\min} = 12,6$ мм
22	$R_{\min} = 11,1$ мм	$R_{\min} = 9,2$ мм
29	$R_{\min} = 8,0$ мм	$R_{\min} = 6,6$ мм

В правом столбце показаны минимальные значения радиуса в случае одного 180-градусного ложного изгиба. Также для этой ситуации принимается максимальная *дополнительная* интенсивность отказов для отдельной кассеты, составляющая  $0,1 \times 0,001\%$ . Все цифры относятся к организации одного волокна и приведены для трех различных значений параметра  $n$  усталости.

#### I.4 Выводы

Приведенные в п. I.3 примеры показывают, что для достоверного прогнозирования эксплуатационного срока службы требуется знание в деталях практического развертывания волокна в реальных распределительных сетях. Но даже при довольно жестких допущениях, использованных в этих примерах, показано также, что при уменьшении радиуса укладки кабеля до значительно более низкого диапазона, чем применявшийся здесь, который составлял 30 мм, характеристики срока службы одномодового волокна, указанные в настоящее время в [МСЭ-Т G.652], достаточны для обеспечения 20-летнего эксплуатационного срока службы.

## БИБЛИОГРАФИЯ

- [b-ITU-T ANT] Access Network Transport Standards Overview, Issue 14, June 2007, <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/Com15/ant/>
- [b-ITU-T G.671] Рекомендация МСЭ-Т G.671 (2005), *Характеристики передачи оптических компонентов и подсистем.*
- [b-ITU-T G-Sup.39] Рекомендация МСЭ-Т – Добавление 39 (2006), *Рассмотрение вопросов расчета и проектирования оптических систем.*
- [b-ITU-T L.13] Рекомендация МСЭ-Т L.13 (2003), *Требования к эксплуатационным характеристикам пассивных оптических узлов: герметичные муфты для условий наружного размещения.*
- [b-ITU-T L.42] ITU-T Recommendation L.42 (2003), *Extending optical fibre solutions into the access network.*
- [b-ITU-T L.65] ITU-T Recommendation L.65 (2006), *Optical fibre distribution of access networks.*
- [b-ITU-T L.66] ITU-T Recommendation L.66 (2007), *Optical fibre cable maintenance criteria for in-service fibre testing in access networks.*
- [b-IEC 60793-2-50] IEC 60793-2-50 (2004), *Волокна оптические. Часть 2-50. Технические условия на изделия. Групповые технические условия на одномодовые волокна категории В.*
- [b-IEC/TR 62048] IEC 62048 (2002), *Оптическое волокно. Надежность. Теория степенной зависимости.*
- [b-OFT] Matching Optical Fibre Lifetime and Bend-loss Limits for Optimized Local Loop Fibre Storage, *Optical Fibre Technology*, Vol. 11, pp. 92-99, 2005.



## 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
<b>Серия G</b>	<b>Системы и среда передачи, цифровые системы и сети</b>
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