

# МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

# G.653

(07/2010)

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 со смещенной дисперсией**

Рекомендация МСЭ-Т G.653

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 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.653

### Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной дисперсией

#### Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.653 описаны геометрические, механические атрибуты и атрибуты передачи оптического волокна и кабеля с длиной волны нулевой дисперсии, смещенной в область длины волны 1550 нм. Это – актуальная версия Рекомендации, впервые выпущенной в 1988 году.

В настоящем пересмотре исключено определение критической длины волны кабельной перемычки и добавлены примечания, допускающие более высокое максимальное затухание в кабеле для коротких кабельных перемычек.

#### Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т G.653	25.11.1988 г.		<a href="http://11.1002/1000/884">11.1002/1000/884</a>
2.0	МСЭ-Т G.653	12.03.1993 г.	XV	<a href="http://11.1002/1000/885">11.1002/1000/885</a>
3.0	МСЭ-Т G.653	08.04.1997 г.	15-я	<a href="http://11.1002/1000/4019">11.1002/1000/4019</a>
4.0	МСЭ-Т G.653	06.10.2000 г.	15-я	<a href="http://11.1002/1000/5184">11.1002/1000/5184</a>
5.0	МСЭ-Т G.653	14.12.2003 г.	15-я	<a href="http://11.1002/1000/7054">11.1002/1000/7054</a>
6.0	МСЭ-Т G.653	14.12.2006 г.	15-я	<a href="http://11.1002/1000/8973">11.1002/1000/8973</a>
7.0	МСЭ-Т G.653	29.07.2010 г.	15-я	<a href="http://11.1002/1000/10869">11.1002/1000/10869</a>

---

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

## ПРЕДИСЛОВИЕ

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

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

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

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

## ПРИМЕЧАНИЕ

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

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

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

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

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

© ITU 2017

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

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Сфера применения .....	1
2 Справочные документы .....	1
3 Определения .....	2
4 Сокращения .....	2
5 Атрибуты волокна .....	2
5.1 Диаметр модового поля .....	2
5.2 Диаметр оболочки .....	2
5.3 Погрешность концентричности модового поля .....	2
5.4 Некруглость .....	3
5.5 Критическая длина волны .....	3
5.6 Затухание на макроизгибах .....	3
5.7 Свойства материалов волокна .....	4
5.8 Профиль показателя преломления .....	4
5.9 Линейная однородность хроматической дисперсии .....	4
5.10 Коэффициент хроматической дисперсии .....	4
6 Параметры кабеля .....	5
6.1 Коэффициент затухания .....	5
6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии (PMD) .....	5
7 Таблица рекомендованных значений .....	6
I.1 Затухание .....	9
I.2 Хроматическая дисперсия .....	9
I.3 Дифференциальная групповая задержка .....	10
I.4 Коэффициент нелинейности .....	10
I.5 Таблица типовых значений .....	10
I.6 Пределы коэффициента хроматической дисперсии для таблицы 2 .....	11
Библиография .....	13



### Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной дисперсией

#### 1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации описаны одномодовое оптическое волокно со смещенной дисперсией и кабель с номинальной длиной волны нулевой дисперсии, близкой к 1550 нм, и коэффициентом дисперсии, который равномерно растет с увеличением длины волны. Это волокно оптимизировано для использования в диапазоне длины волн около 1310 нм при условии выполнения ограничений, описанных в настоящей Рекомендации. Приведены некоторые сведения относительно обеспечения передачи на больших длинах волн – до 1625 нм и меньших длинах волн – до 1460 нм. На этих длинах волн можно определить значения коэффициента хроматической дисперсии для поддержки систем грубого мультиплексирования с разделением по длине волны (CWDM), которые не вносят существенных искажений из-за нелинейных эффектов. Геометрические, оптические, механические параметры, а также параметры передачи описываются далее в составе трех категорий параметров:

- характеристики волокна – это те атрибуты, которые не меняются в процессе производства и прокладки кабеля;
- параметры кабеля – это те атрибуты, по которым выбираются готовые кабели;
- параметры линии – это характеристики наращенных кабелей, описывающие методы оценки параметров интерфейса системы, основанные на результатах измерений, моделировании или других соображениях. Информация по параметрам линии и проектированию системы приведена в Дополнении I.

Настоящая Рекомендация и различные категории показателей работы, представленные в таблицах в п. 7, предназначены для поддержки следующих относящихся к ним системных рекомендаций:

- [b-ITU-T G.957];
- [b-ITU-T G.691];
- [b-ITU-T G.692];
- [b-ITU-T G.693];
- [b-ITU-T G.959.1];
- [b-ITU-T G.977];
- [b-ITU-T G.695];
- [b-ITU-T G.698.1].

Значение терминов, используемых в настоящей Рекомендации и руководящих указаниях, которые должны соблюдаться при проведении измерений для проверки различных характеристик, приведены в [ITU-T G.650.1] и [ITU-T G.650.2]. Характеристики волокна, включая определения соответствующих параметров, методы их измерения и соответствующие значения будут уточняться в процессе исследований и накопления опыта.

#### 2 Справочные документы

Нижеследующие Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники являются предметом пересмотра; поэтому всем пользователям настоящей Рекомендации предлагается рассмотреть возможность применения последнего издания Рекомендаций и других ссылок, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус рекомендации.

- [ITU-T G.650.1] ITU-T Recommendation G.650.1 (2010), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- [ITU-T G.650.2] ITU-T Recommendation G.650.2 (2007), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*

### 3 Определения

Для целей настоящей Рекомендации применяются определения, изложенные в [ITU-T G.650.1] и [ITU-T G.650.2]. До оценки соответствия значения следует округлить до числа цифр, указанного в таблицах рекомендованных величин.

### 4 Сокращения

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения:

CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing		Грубое мультиплексирование с разделением по длине волны
DGD	Differential Group Delay	ДГЗ	Дифференциальная групповая задержка
GPa	GigaPascal	ГПа	Гигапаскаль
PMD	Polarization Mode Dispersion	PMD	Поляризационная модовая дисперсия
PMD <sub>Q</sub>	Statistical parameter for link PMD	PMD <sub>Q</sub>	Статистический параметр для PMD линии
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	СЦИ	Синхронная цифровая иерархия
TBD	To be determined		Подлежит определению
WDM	Wavelength Division Multiplexing		Мультиплексирование с разделением по длине волны

### 5 Атрибуты волокна

В данном разделе рекомендуются только те характеристики волокон, которые обеспечивают минимально необходимые для проектирования основы в целях их производства. Диапазоны или предельные значения приведены в таблицах п. 7. Из числа этих характеристик критическая длина волны волокна в кабеле и PMD могут существенно изменяться в процессе производства или при прокладке кабеля. Остальные рекомендуемые характеристики будут в равной мере относиться к отдельным волокнам, волокнам в кабеле, намотанном на барабан, и волокнам в проложенном кабеле.

#### 5.1 Диаметр модового поля

Номинальное значение и допуск на это номинальное значение должны устанавливаться при длине волны 1550 нм. Такое номинальное значение будет лежать в диапазоне, определенном в п. 7. Указанный допуск не должен превышать значения, определенного в п. 7. Отклонение от номинального значения не должно превышать заданного допуска.

#### 5.2 Диаметр оболочки

Рекомендуемое номинальное значение диаметра оболочки составляет 125 мкм. Определен также и допуск, и он не должен превышать значения, указанного в п. 7. Отклонение диаметра оболочки от номинального значения не должно превышать заданного допуска.

#### 5.3 Погрешность концентричности модового поля

Погрешность концентричности модового поля не должна превышать значения, определенного в п. 7.



## 5.4 Некруглость

### 5.4.1 Некруглость модового поля

На практике некруглость модового поля волокон, имеющих номинально круглые модовые поля, достаточно мала и не влияет на распространение и сращивание. Поэтому считается необязательным рекомендовать какое-либо конкретное значение для некруглости модового поля. Как правило, необязательно измерять эту некруглость при приемочных испытаниях.

### 5.4.2 Некруглость оболочки

Некруглость оболочки поля не должна превышать значения, определенного в п. 7.

## 5.5 Критическая длина волны

Можно выделить два полезных типа критическая длины волны:

- a) критическая длина волны кабеля  $\lambda_{cc}$ ;
- b) критическая длина волны волокна  $\lambda_c$ .

Соотношение измеренных значений  $\lambda_c$  и  $\lambda_{cc}$  зависит от конкретного волокна и конструкции кабеля, а также от условий измерений. Как правило,  $\lambda_{cc} < \lambda_c$ , но количественное соотношение установить трудно. Чрезвычайно важно обеспечить одномодовую передачу при минимальной длине кабеля между стыками. Этого можно добиться, когда рекомендованная максимальная критическая длина волны кабеля  $\lambda_{cc}$  в кабельном одномодовом волокне равна 1270 нм, или при наихудшем варианте длины кабеля и изгибах при рекомендованной максимальной критической длине волны волокна  $\lambda_c$ .

Критическая длина волны кабеля  $\lambda_{cc}$  не должна превышать максимума, определенного в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Для некоторых специфических подводных кабельных линий могут требоваться другие значения критическая длины волны кабеля.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Для обеспечения одномодовой передачи в диапазоне 1310 нм при любом допустимом сочетании рабочей длины волны системы, длины кабеля и условий его прокладки приведенной выше рекомендации недостаточно. В случае передачи в диапазоне 1310 нм должны быть установлены приемлемые ограничения на значения  $\lambda_c$  или  $\lambda_{cc}$ , при этом должно быть обращено внимание на уменьшение влияния модового шума в кабелях минимальной длины между восстановительными стыками и кабельными перемычками.

## 5.6 Затухание на макроизгибах

Затухание на макроизгибах изменяется с изменением длины волны, радиуса изгиба, числа витков вокруг сердечника определенного радиуса. Затухание на микроизгибах не должно превышать максимума, определенного в п. 7 для конкретных значений длины волны, радиуса изгиба и числа витков.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Чтобы убедиться в выполнении данного требования, может быть достаточно провести квалификационные испытания.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Указанное число витков соответствует приблизительному числу витков, которые используются во всех муфтах для сращивания на типовом регенерационном участке. Рекомендованный радиус эквивалентен минимальному радиусу изгиба, принятому для перспективного применения волокон в используемых на практике системах во избежание отказов из-за статической усталости.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Если по практическим соображениям для выполнения этого испытания используется число витков меньше рекомендованного, то предлагается использовать не менее 40 витков, и потребуется пропорционально меньший рост затухания.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Рекомендация, касающаяся затухания на микроизгибах, относится к прокладке волокон в практических устройствах для одномодовых волокон. Влияние радиусов изгиба, связанных со скручиванием одномодовых волокон в кабель, на показатели работы при затухании включается в характеристику затухания волокна в кабеле.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – В случае необходимости проведения плановых испытаний вместо рекомендованного испытания может выполняться испытание с петлей малого диаметра и одним или несколькими витками для обеспечения точности и легкости измерений. В этом случае диаметр петли, число витков и максимально допустимое затухание вследствие изгиба при выполнении испытаний с несколькими витками должны выбираться таким образом, чтобы соответствовать рекомендованному и допустимому испытанию.

## **5.7 Свойства материалов волокна**

### **5.7.1 Материалы волокна**

Необходимо указывать материалы, используемые при производстве волокна.

ПРИМЕЧАНИЕ. – При сварке волокон, выполненных из различных материалов, необходимы меры предосторожности. Предварительные результаты показывают, что приемлемые потери и прочность соединений можно получить при сращивании волокон с высоким содержанием кремния.

### **5.7.2 Защитные материалы**

Необходимо указывать физические и химические свойства материала, используемого для первичного покрытия волокна, а также наилучший способ его снятия (в случае необходимости). Аналогичные указания следует давать и в случае однослойного покрытия волокон.

### **5.7.3 Уровень напряжения растяжения**

Напряжение растяжения  $\sigma_r$  не должно быть меньше минимального значения, указанного в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определение механических параметров дается в пп. 3.2 и 5.7 [ITU-T G.650.1].

## **5.8 Профиль показателя преломления**

Как правило, нет необходимости знать профиль показателя преломления волокна.

## **5.9 Линейная однородность хроматической дисперсии**

Вопрос находится в стадии изучения.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Для конкретной длины волны местное абсолютное значение коэффициента дисперсии может отличаться от значения, измеренного для большой длины. Если это значение уменьшается и становится совсем небольшим при длине волны, близкой к рабочей длине волны в системе МРДВ, смешивание четырех сигналов может стимулировать распространение энергии при других значениях длины волны, включая другие рабочие длины волны, но не ограничиваясь ими. Амплитуда мощности при смешивании четырех сигналов зависит от абсолютного значения коэффициента дисперсии, наклона дисперсии, значений рабочих длин волн, оптической мощности и расстояния, на котором происходит смешивание четырех сигналов.

## **5.10 Коэффициент хроматической дисперсии**

Измеренная групповая задержка или хроматическая дисперсия для единичной длины волокна в зависимости от длины волны должны описываться квадратным уравнением, описанным в Приложении А к [ITU-T G.650.1]. (См. п. 5.5 [ITU-T G.650.1] для руководства по интерполяции значений дисперсии на неизмеренные длины волн.)

В зависимости от требований к точности при интервалах длин волн до 35 нм допускается использование квадратного уравнения в области 1550 нм. В случае более длинных интервалов рекомендуется либо пятичленная формула Селлмейера или полиномиальная модель четвертого порядка. Она не предназначена для использования в области длин волн 1310 нм.

Для определения пределов существует два метода – первоначально использовавшийся метод "прямоугольных" характеристик и новый метод, в котором два значения коэффициента дисперсии ограничены парой кривой.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Не требуется измерять в рабочем порядке коэффициент хроматической дисперсии и длину волны нулевой дисперсии.

### **5.10.1 Исходный вид характеристики**

Данный вид характеристики относится к таблице 1 в п. 7.

Коэффициент хроматической дисперсии  $D(\lambda)$  определяется в пределах диапазона длин волн путем указания допустимых абсолютных значений коэффициента хроматической дисперсии. Характеристика имеет следующий вид:

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

где:

$$1525 \text{ нм} \leq \lambda_{\min} \leq \lambda_{\max} \leq 1575 \text{ нм}.$$

В то же время длина волны нулевой дисперсии  $\lambda_0$  и наклон при нулевой дисперсии  $S_0$  определяются следующими уравнениями:

$$\lambda_{0\min} \leq \lambda_0 \leq \lambda_{0\max}$$

$$S_0 \leq S_{0\max}.$$

Значения для  $D_{\max}$ ,  $\lambda_{\min}$ ,  $\lambda_{\max}$ ,  $\lambda_{0\min}$ ,  $\lambda_{0\max}$  и  $S_{0\max}$  должны находиться в пределах диапазона, заданного в п. 7.

### 5.10.2 Характеристика на основе пары ограничивающих кривых

Данная характеристика относится к таблице 2 в п. 7.

Для каждой длины волны  $\lambda$  коэффициент хроматической дисперсии  $D(\lambda)$  должен быть ограничен диапазоном значений, связанных с двумя ограничивающими кривыми  $D_{\min}(\lambda)$  и  $D_{\max}(\lambda)$  в определенной диапозоне длин волн  $\lambda_{\min} - \lambda_{\max}$ . Кроме того, пределы дисперсии могут быть заданы в явном виде для одной или нескольких длин волн.

Примерный набор кривых символически представляет собой пару прямых линий:

$$D_{\min}(\lambda) = a_{\min} + b_{\min} (\lambda - 1525) \quad (\text{пс/нм} \cdot \text{км})$$

$$D_{\max}(\lambda) = a_{\max} + b_{\max} (\lambda - 1575) \quad (\text{пс/нм} \cdot \text{км})$$

$$D_{\min}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{\max}(\lambda) \quad (\text{пс/нм} \cdot \text{км})$$

Ограничивающие кривые могут изменяться в зависимости от длины волны.

## 6 Параметры кабеля

Поскольку геометрические и оптические характеристики волокон, приведенные в п. 5, практически не изменяются в процессе прокладки кабеля, в данном пункте даются рекомендации, которые в основном относятся к характеристикам передачи строительных длин кабеля.

Очень важны условия окружающей среды и условия, в которых выполняются измерения; их описание приведено в руководящих указаниях по методам измерения.

### 6.1 Коэффициент затухания

Коэффициент затухания определяется максимальным значением на одной или нескольких длинах волн в области 1550 нм. Если кабели предназначены для применения с длинами волн в регионе 1300 нм, то их коэффициент затухания в этом регионе, как правило, менее 0,55 дБ/км. Коэффициент затухания волоконно-оптического кабеля не должен превышать значений, указанных в п. 7.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Коэффициент затухания может быть рассчитан по спектру длин волн на основе измерений, выполненных на нескольких (3–4) прогнозируемых длинах волн. Данная процедура описана в п. 5.4 [ITU-T G.650.1], а в Приложении III к [ITU-T G.650.1] приведен пример для волокна [b-ITU-T G.652].

### 6.2 Коэффициент поляризационной модовой дисперсии (PMD)

В случае необходимости поляризационная модовая дисперсия кабельного волокна должна определяться статистически, а не для каждого отдельного волокна. Это требование относится только к параметрам линии, рассчитанным по информации о кабеле. Метрические значения статистической спецификации приводятся далее. Методики расчетов определены в документе [b-IEC/TR 61282-3] и кратко изложены в Приложении IV к [ITU-T G.650.2].

Производитель должен указывать  $PMD_Q$  – проектное значение PMD линии, которое является верхней статистической границей коэффициента PMD наращенных волоконно-оптических кабелей в пределах определенной возможной линии из  $M$  кабельных участков. Эта верхняя граница определяется в значениях малого уровня вероятности  $Q$ , которая представляет собой вероятность того, что значение коэффициента

PMD наращенного кабеля превзойдет величину  $PMD_Q$ . Для значений  $M$  и  $Q$ , приведенных в п. 7, величина  $PMD_Q$  не должна превышать максимального значения коэффициента PMD, указанного в п. 7.

Измерения и характеристики свободного волокна необходимы, но не достаточны для того, чтобы гарантировать характеристики волокна в кабеле. Максимальное значение для проектирования линии, определенное для свободного волокна, должно быть меньше или равно значению, определенному для волокна в кабеле. Отношение значений PMD свободного волокна к значениям для волокна в кабеле зависит от деталей конструкции кабеля и обработки, а также условий связи мод в свободном волокне. В [ITU-T G.650.2] рекомендуется обеспечивать расположение волокон при слабой связи мод, что требует намотки с небольшим натяжением на катушке большого диаметра при проведении измерений PMD свободного волокна.

Пределы разброса значений коэффициента PMD можно считать почти равными пределам статистического изменения дифференциальной групповой задержки (ДГЗ), которая изменяется случайным образом с изменением времени и длины волны. Когда для волоконно-оптического кабеля определен разброс значений коэффициента PMD, можно определить эквивалентные пределы изменения ДГЗ. Метрики и значения пределов разброса ДГЗ в линии приводятся в Дополнении I.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Характеристика  $PMD_Q$  может потребоваться только в случае, когда кабели используются для систем, которые имеют характеристику максимальной PMD; например, характеристика  $PMD_Q$  не будет применяться к системам, рекомендованным в [b-ITU-T G.957].

ПРИМЕЧАНИЕ 2. –  $PMD_Q$  должна рассчитываться для различных типов кабелей, которые обычно рассчитываются с использованием выборочных значений PMD. Берутся выборки, полученные для кабелей аналогичной конструкции.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Характеристика  $PMD_Q$  не должна применяться к коротким кабелям, таким как кабельные перемычки, кабели в помещениях и абонентские отводы.

## 7 Таблица рекомендованных значений

Приведенные ниже таблицы содержат рекомендованные значения для ряда категорий волокон, которые отвечают требованиям настоящей Рекомендации. Эти категории существенно отличаются от базовых требований к PMD и характеристик хроматической дисперсии. Информация о расстояниях передачи и скоростях передачи данных, связанных с требованием к PMD, содержится в Дополнении I. В таблице 1 "Атрибуты G.653.A" приведены данные в отношении базовой категории одномодовых волокон и кабелей со смещенной дисперсией и сохранена исходная "прямоугольная" характеристика коэффициента дисперсии. Данная категория пригодна для систем, описанных в [b-ITU-T G.691], [b-ITU-T G.692], [b-ITU-T G.693], [b-ITU-T G.957] и [b-ITU-T G.977], с неравным разносом каналов в области длин волн 1550 нм.

Эта категория может использоваться во многих приложениях подводной кабельной связи. Для ряда таких приложений полная оптимизация может привести к выбору пределов, отличных от указанных здесь. Например, можно допустить применение кабеля, с критическая длина волны которых достигает величины 1500 нм.

Таблица 2 "Атрибуты G.653.B" аналогична таблице с атрибутами G.653.A, однако более строгие требования к PMD допускают в системах STM-64 расстояния больше 400 км и приложения STM-256 [b-ITU T G.959.1].

Таблица 2 "Атрибуты G.653.B" определяет требования к коэффициенту хроматической дисперсии парой ограничивающих кривых в зависимости от длины волны для длин волн от 1460 нм до 1625 нм. Данная категория может поддерживать приложения CWDM, а также приложения, упомянутые в таблице 1. Требования к PMD позволяют системам STM-64 работать на расстояния больше 400 км и использовать приложения STM-256 [b-ITU T G.959.1].

**Таблица 1 – Атрибуты G.653.A**

<b>Атрибуты волокна</b>		
<b>Атрибут</b>	<b>Подробности</b>	<b>Значение</b>
Диаметр модового поля	Длина волны	1 550 нм
	Диапазон номинальных значений	7,8–8,5 мкм
	Допуск	±0,8 мкм
Диаметр оболочки	Номинал	125 мкм
	Допуск	±1 мкм
Погрешность концентричности сердцевины	Максимум	0,8 мкм
Некруглость оплетки	Максимум	2,0%
Критическая длина волны кабеля	Максимум	1 270 нм
Затухание на микроизгибах	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимум на длине волны 1 550 нм	0,5 дБ
Напряжение растяжения	Минимум	0,69 ГПа
Коэффициент хроматической дисперсии	$\lambda_{\min}$	1 525 нм
	$\lambda_{\max}$	1 575 нм
	$D_{\max}$	3,5 пс/(нм × км)
	$\lambda_{0\min}$	1 500 нм
	$\lambda_{0\max}$	1 600 нм
	$S_{0\max}$	0,085 пс/(нм <sup>2</sup> × км)
Коэффициент PMD свободного волокна	Максимум	(Примечание 1)
<b>Атрибуты кабеля</b>		
<b>Атрибут</b>	<b>Подробности</b>	<b>Значение</b>
Коэффициент затухания (Примечание 2)	Максимум на длине волны 1 550 нм	0,35 дБ/км
Коэффициент PMD	M	20 кабельн. участков
	Q	0,01%
	Максимум PMD <sub>Q</sub>	0,5 пс/√км
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В соответствии с п. 6.2, указывается максимальное значение PMD<sub>Q</sub> свободного волокна для поддержки основного требования к PMD<sub>Q</sub> кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Значения коэффициента затухания, перечисленные в данной таблице, не должны применяться к коротким кабелям, таким как кабельные переемы. Например, в [b-IEC 60794-2-11] определен коэффициент затухания для кабеля в помещении, равный 1,0 дБ/км и менее при длине волны 1310 нм и 1550 нм.</p>		

**Таблица 2 – Атрибуты G.653.B**

<b>Атрибуты волокна</b>		
<b>Атрибут</b>	<b>Подробности</b>	<b>Значение</b>
Диаметр модового поля	Длина волны	1 550 нм
	Диапазон номинальных значений	7,8–8,5 мкм
	Допуск	± 0,6 мкм
Диаметр оболочки	Номинал	125 мкм
	Допуск	±1 мкм
Погрешность концентричности сердцевины	Максимум	0,6 мкм
Некруглость оплетки	Максимум	1,0%
Критическая длина волны кабеля	Максимум	1 270 нм
Затухание на микроизгибах	Радиус	30 мм
	Число витков	100
	Максимум на длине волны 1 550 нм	0,1 дБ
Напряжение растяжения	Минимум	0,69 ГПа
Коэффициент хроматической дисперсии (пс/нм × км)	$D_{\min}(\lambda)$ : 1 460–1 525 нм	$0,085 * (\lambda - 1 525) - 3,5$
	$D_{\min}(\lambda)$ : 1 525–1 625 нм	$3,5/75 * (\lambda - 1 600)$
	$D_{\max}(\lambda)$ : 1 460–1 575 нм	$3,5/75 * (\lambda - 1 500)$
	$D_{\max}(\lambda)$ : 1 575–1 625 нм	$0,085 * (\lambda - 1 575) + 3,5$
Коэффициент PMD свободного волокна	Максимум	(Примечание)
<b>Атрибуты кабеля</b>		
<b>Атрибут</b>	<b>Подробности</b>	<b>Значение</b>
Коэффициент затухания (Примечание 3)	Максимум на длине волны 1 550 нм	0,35 дБ/км
Коэффициент PMD	M	20 кабельн. участков
	Q	0,01%
	Максимум PMD <sub>Q</sub> (Примечание 2)	0,20 пс/√км
<p>ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В соответствии с п. 6.2, указывается максимальное значение PMD<sub>Q</sub> свободного волокна для поддержки основного требования к PMD<sub>Q</sub> кабеля.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Производитель и пользователь могут согласовать большие значения PMD<sub>Q</sub> (например, ≤ 0,5 пс/√км) для конкретных приложений.</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Значения коэффициента затухания, перечисленные в данной таблице, не должны применяться к коротким кабелям, таким как кабельные перемычки. Например, в [b-IEC 60794-2-11] определен коэффициент затухания для кабеля в помещении, равный 1,0 дБ/км и менее при длине волны 1310 нм и 1550 нм.</p>		

## Дополнение I

### Информация по параметрам линии и проектированию системы

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Как правило, составная линия состоит из нескольких сращенных строительных длин кабеля. Требования, предъявляемые к строительным длинам кабеля, приведены в пп. 5 и 6. Параметры передачи для элементарных кабельных участков должны учитывать не только рабочие характеристики отдельных длин кабеля, но также статистические параметры соединения.

Характеристикам передачи волокон строительной длины свойственно определенное распределение вероятностей, которое должно приниматься во внимание, для того чтобы получить наиболее экономичные конструкции. Поэтому нижеследующие пункты данного приложения следует читать, имея в виду статистический характер различных параметров.

На значения атрибутов линии влияют также факторы, не связанные с параметрами оптических кабелей, например характеристики сращивания, соединителей и прокладки. Эти факторы не могут быть определены в настоящей Рекомендации. Для оценки значений параметров линии в п. I.5 приведены типичные значения для волоконно-оптических линий.

Приводится метод оценки параметров волокна, необходимой для проектирования линии, основанный на результатах измерений, моделирования или иных действиях.

#### I.1 Затухание

Затухание  $A$  линии определяется по формуле:

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

где:

$\alpha$  : типовой коэффициент затухания волокна кабеля в линии;

$L$  : длина линии;

$\alpha_s$  : среднее затухание на сростках;

$x$  : число сростков на линии;

$\alpha_c$  : среднее затухание, обусловленное линейными соединителями;

$y$  : число линейных соединителей на линии (если таковые имеются).

Необходимо предусмотреть достаточный запас на затухание кабеля с учетом будущих изменений его конфигураций (дополнительные сростки, дополнительные длины кабеля, эффекты старения, температурные колебания и т. п.). Приведенное выше выражение не учитывает затухания на устройствах подключения аппаратуры. Типовые значения, приведенные в п. I.5, относятся к коэффициенту затухания волоконно-оптической линии. Суммарное затухание, которое используется при проектировании реальных систем, должно учитывать статистические изменения этих параметров.

#### I.2 Хроматическая дисперсия

Хроматическая дисперсия, выраженная в единицах пс/нм, может быть рассчитана с помощью коэффициентов хроматической дисперсии строительных длин, исходя из линейной зависимости от длины и с учетом знаков коэффициентов и исходных характеристик системы (см. п. 5.10).

Значения длины волны  $\lambda_{0typ}$  нулевой дисперсии и коэффициента наклона дисперсии  $S_{0typ}$  при длине волны  $\lambda_{0typ}$  приведены в п. I.5. Эти значения вместе с длиной линии  $L_{Link}$  можно использовать для расчета типовой дисперсии при проектировании оптической линии.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link}[S_{0typ}(\lambda - \lambda_{0typ})] \quad (\text{пс/нм})$$

### I.3 Дифференциальная групповая задержка

Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ) – это различие времени прибытия двух мод поляризации для конкретных значений длины волны и времени. Для линии с конкретным значением коэффициента PMD, ДГЗ линии случайно изменяется с изменением времени и длины волны в соответствии с распределением Максвелла, которое содержит единственный параметр, являющийся произведением коэффициента PMD линии и корня квадратного из длины линии. Искажения в системе из-за PMD при конкретных значениях времени и длины волны зависят от ДГЗ при этих значениях времени и длины волны. Поэтому разработаны средства определения приемлемых пределов разброса ДГЗ относительно разброса коэффициента PMD в волоконно-оптическом кабеле, которые опубликованы в документе [b-IEC/TR 61282-3]. Далее приводятся метрики ограничений распределения ДГЗ:

ПРИМЕЧАНИЕ. – Определение влияния компонентов, отличных от волоконно-оптического кабеля, находится вне сферы применения настоящей Рекомендации, но обсуждается в документе [b-IEC/TR 61282-3].

Эталонная длина линии  $L_{Ref}$ : Максимальная длина линии, к которой применяются максимальные ДГЗ и вероятность. При больших значениях длины линии максимальная ДГЗ умножается на корень квадратный отношения действительной длины к эталонной длине.

Типичная максимальная длина кабеля  $L_{Cab}$ : Максимальные значения гарантируются, когда типичные отдельные кабельные участки линии или длины кабелей, которые измерялись при определении распределения коэффициента PMD, меньше этого значения.

Максимальная ДГЗ,  $ДГЗ_{max}$ : Значение ДГЗ, которое может использоваться при проектировании оптической системы.

Максимальная вероятность  $P_F$ : Вероятность того, что реальное значение ДГЗ превысит  $ДГЗ_{max}$ .

### I.4 Коэффициент нелинейности

Влияние хроматической дисперсии находится во взаимодействии с коэффициентом нелинейности  $n_2/A_{eff}$  в отношении искажений в системе, вносимых нелинейными оптическими явлениями (см. [b-ITU-T G.663] и [ITU-T G.650.2]). Типовые значения изменяются в зависимости от реализации. Методы измерений коэффициента нелинейности все еще исследуются.

### I.5 Таблица типовых значений

Значения, приведенные в таблицах I.1 и I.2, относятся к составным волоконно-оптическим линиям, согласно пп. I.1 и I.3, соответственно. Соответствующие значения максимальной ДГЗ, внесенной в волокно, которые приведены в таблице I.2, предназначены для использования в качестве руководства в отношении требования к другим оптическим элементам, которые могут находиться на линии.

**Таблица I.1 – Типовое значение наращенной волоконно-оптической линии**

Атрибут	Подробности	Значение
Коэффициент затухания	Длина волны	Типовое значение (Примечание)
	1 550 нм	0,275 дБ/км
	1 625 нм	Требуется определить
Параметры хроматической дисперсии	$\lambda_{0гур}$	1 550 нм
	$S_{0гур}$	0,07 пс/(нм <sup>2</sup> × км)

ПРИМЕЧАНИЕ. – Значение для типичной линии соответствует коэффициенту затухания линии, используемому в [b-ITU-T G.957] и [b-ITU-T G.691].



**Таблица I.2 – Дифференциальная групповая задержка**

Максимальное значение $PMD_Q$ (пс/ $\sqrt{км}$ )	Длина линии (км)	Соответствующая максимальная ДГЗ, внесенная в волокно (пс)	Скорости передачи данных по каналу
Характеристика отсутствует			до 2,5 Гбит/с
0,5	400	25,0	10 Гбит/с
	40	19,0 (Примечание)	10 Гбит/с
	2	7,5	40 Гбит/с
0,20	3 000	19,0	10 Гбит/с
	80	7,0	40 Гбит/с
0,10	> 4 000	12,0	10 Гбит/с
	400	5,0	40 Гбит/с
ПРИМЕЧАНИЕ. – Данное значение применяется также к системам Ethernet со скоростью 10 Гбит/с.			

ПРИМЕЧАНИЕ. – Длина кабельного участка равна 10 км за исключением случая линии 0,10 пс/ $\sqrt{км}$  / > 4000 км, в котором оно устанавливается равным 25 км; уровень вероятности составляет  $6,5 \times 10^{-8}$ .

### **I.6 Пределы коэффициента хроматической дисперсии для таблицы 2**

Уравнения, связывающие коэффициент хроматической дисперсии с длиной волны, установлены с использованием исходной "прямоугольной" характеристики коэффициента хроматической дисперсии  $D_{max}$ ,  $\lambda_{min}$ ,  $\lambda_{max}$ ,  $\lambda_{0min}$ ,  $\lambda_{0max}$  и  $S_{0max}$ . Максимальные значения между  $\lambda_{0min} = 1500$  нм и  $\lambda_{max} = 1575$  нм связаны линейной зависимостью от нулевой дисперсии на 1500 нм до максимальной дисперсии  $D_{max} = 3,5$  пс/нм  $\times$  км на 1575 нм. Значение наклона данной линейной зависимости соответствует  $0,0467$  пс/нм<sup>2</sup>  $\times$  км. Для длин волн ниже 1500 нм эта линия продолжается с тем же наклоном. Максимальные значения свыше 1575 нм были добавлены с помощью линии, наклон которой равна максимальному наклону  $S_{0max} = 0,085$  пс/нм<sup>2</sup>  $\times$  км. Минимальные значения коэффициента дисперсии были также получены аналогичным образом с помощью пары прямых линий. Сплошные линии на рисунке I.1 являются ограничивающими кривыми. Штриховые линии представляют собой исходную "прямоугольную" характеристику, в которой коэффициент хроматической дисперсии имеет абсолютные значения меньше  $D_{max} = 3,5$  пс/нм  $\times$  км между  $\lambda_{min} = 1525$  нм и  $\lambda_{max} = 1575$  нм. Характеристика на основе ограничивающих кривых для таблицы 2 сравнима с исходной "прямоугольной" характеристикой для таблицы 1.

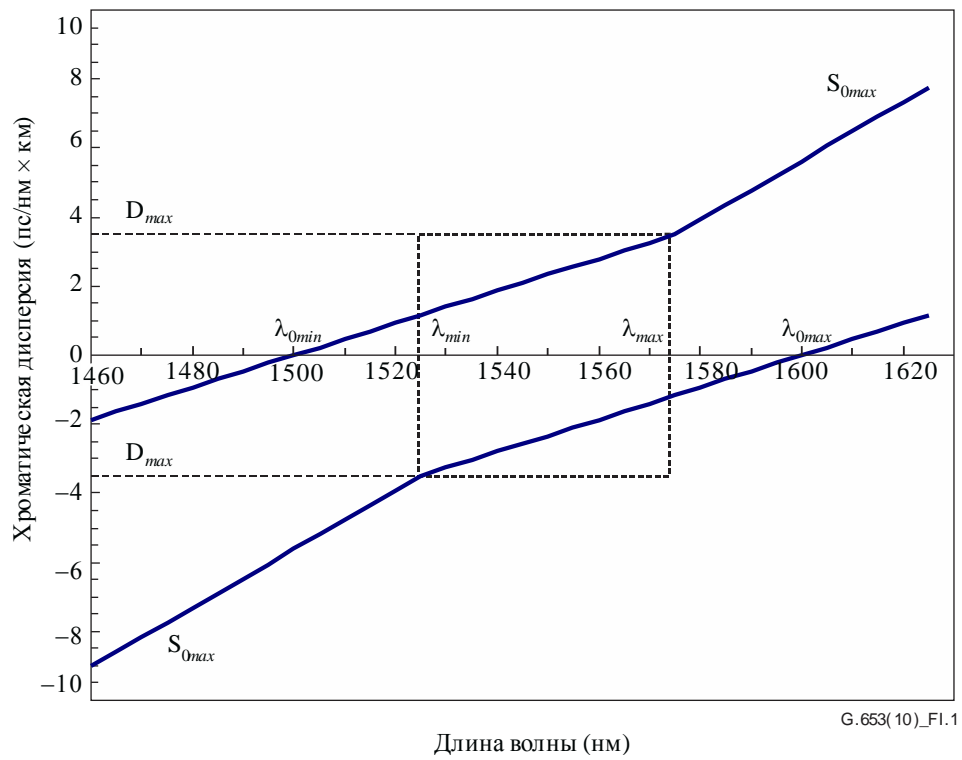


Рисунок I.1 – Границы дисперсии волокна, соответствующего таблице 2

## Библиография

- [b-ITU-T G.652] Recommendation ITU-T G.652 (2009), *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.*
- [b-ITU-T G.653] Рекомендация МСЭ-Т G.653 (2010), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со смещенной дисперсией.*
- [b-ITU-T G.691] Рекомендация МСЭ-Т G.691 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для одноканальных STM-64 и других систем СЦИ с оптическими усилителями.*
- [b-ITU-T G.692] Recommendation ITU-T G.692 (1998), *Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.*
- [b-ITU-T G.693] Рекомендация МСЭ-Т G.693 (2009 г.), *Оптические интерфейсы для внутристанционных систем.*
- [b-ITU-T G.695] Рекомендация МСЭ-Т G.695 (2009 г.), *Оптические интерфейсы для приложений, использующих грубое мультиплексирование с разделением по длине волны.*
- [b-ITU-T G.698.1] Рекомендация МСЭ-Т G.698.1 (2009 г.), *Многоканальные приложения, в которых используется DWDM, с одноканальными оптическими интерфейсами.*
- [b-ITU-T G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [b-ITU-T G.959.1] Recommendation ITU-T G.959.1 (2009), *Optical transport network physical layer interfaces.*
- [b-ITU-T G.977] Recommendation ITU-T G.977 (2006), *Characteristics of optically amplified optical fibre submarine cable systems.*
- [b-IEC 60794-2-11] IEC 60794-2-11 (2005), *Optical fibre cables – Part 2-11: Indoor cables – Detailed specification for simplex and duplex cables for use in premises cabling.*
- [b-IEC/TR 61282-3] IEC/TR 61282-3 (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 межсетевого протокола, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
- Серия Z Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи