

Международный союз электросвязи

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.650.3

(03/2008)

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

Характеристики среды передачи и оптических систем –
Волоконно-оптические кабели

**Методы тестирования для проложенных
линий одномодового оптического кабеля**

Рекомендация МСЭ-Т G.650.3

ITU-T



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 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 связи 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 МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ СИСТЕМ – 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.650.3

Методы тестирования для проложенных линий одномодового оптического кабеля

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.650.3 приведено краткое описание испытаний, которые обычно проводятся на проложенных одномодовых волоконно-оптических кабельных линиях связи. Рекомендация включает подборку справочных материалов по основным методам измерений и указывает, какие из них являются наиболее подходящими для проложенных кабельных линий связи, в зависимости от требуемого уровня контроля. Волоконно-оптические кабельные линии связи состоят из множества кабельных секций, соединителей и других элементов кабеля. В настоящей Рекомендации приведено более полное определение данного термина.

В Рекомендации применяется многоуровневый подход. Измерения первого уровня обычно проводятся при вводе в эксплуатацию новых волоконно-оптических кабельных линий связи. Второй уровень – это измерения, которые могут проводиться в целях выполнения условий соглашений об уровне обслуживания (например, если подписан контракт по "темным волокнам") или проверки качественных характеристик старых линий связи, которые могут быть использованы на более высоких скоростях передачи данных или в расширенных диапазонах волн.

Источник

Рекомендация МСЭ-Т G.650.3 утверждена 29 марта 2008 года 15-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2005–2008 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

Ключевые слова

Характеристика волокна.

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 Область применения	1
2 Справочные документы	1
3 Термины и определения	2
3.1 Термины, определенные в других документах	2
3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации	2
4 Сокращения и акронимы	3
5 Методы тестирования	4
5.1 Методы тестирования для определения параметров проложенных волоконно-оптических кабельных линий связи	4
5.2 Методы тестирования для контроля исполнения договоров на оказание услуг и передачи данных с определенной скоростью	6
Дополнение I – Анализ с помощью OTDR	9
I.1 Пример рефлекторграммы OTDR	9
I.2 Пример таблицы событий OTDR	11
I.3 Двухнаправленный анализ с применением OTDR	11
Дополнение II – Параметры оптических трасс, определенные в Рекомендациях МСЭ-Т	13
Библиография	14

Методы тестирования для проложенных линий одномодового оптического кабеля

1 Область применения

В настоящей Рекомендации приводятся методы испытаний, которые являются наиболее подходящими для определения характеристик одномодовых оптоволоконных кабельных линий связи. Эти методы не предназначены для применения на линиях, на которых установлены оптические сетевые элементы, усилители, компенсаторы дисперсии, а также пассивные делители и сумматоры. Методы измерений для оптоволоконных кабельных линий, на которых установлены указанные устройства, описаны в других документах. В этих документах также приведены методы измерения характеристик кабельных линий между этими устройствами, а также методы расчета для объединения результатов испытаний составных кабельных линий.

В настоящей Рекомендации применяется многоуровневый подход. Измерения первого уровня обычно проводятся при вводе в эксплуатацию новых волоконно-оптических кабельных линий связи. Второй уровень – это измерения, которые могут проводиться в целях выполнения условий соглашений об уровне обслуживания (например, если подписан контракт по "темным волокнам") или проверки качественных характеристик старых линий связи, которые могут быть использованы на более высоких скоростях передачи данных или в расширенных диапазонах волн.

2 Справочные документы

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] Recommendation ITU-T G.650.1 (2004), *Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable.*
- [ITU-T G.650.2] Recommendation ITU-T G.650.2 (2007), *Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.*
- [ITU-T G.652] Рекомендация МСЭ-Т G.652 (2005 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля.*
- [ITU-T G.653] Рекомендация МСЭ-Т G.653 (2006 г.), *Характеристики одномодового оптического волокна и кабеля со сдвигом дисперсии.*
- [ITU-T G.655] Рекомендация МСЭ-Т G.655 (2006 г.), *Характеристики одномодового волоконно-оптического волокна и кабеля с ненулевым дисперсионным смещением.*
- [ITU-T G.671] Рекомендация МСЭ-Т G.671 (2005 г.), *Характеристики передачи оптических компонентов и подсистем.*
- [ITU-T G.957] Рекомендация МСЭ-Т G.957 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для оборудования и систем, относящихся к синхронной цифровой иерархии.*
- [IEC 61280-4-2] IEC 61280-4-2 (1999), *Fibre optic communication subsystem basic test procedures – Part 4-2: Fibre optic cable plant – Single-mode fibre optic cable plant attenuation.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/025328>>

- [IEC 61280-4-4] IEC 61280-4-4 (2006), *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 4-4: Cable plants and links – Polarization mode dispersion measurement for installed links.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/035644>>
- [IEC 61281-1] IEC 61281-1 (1999), *Fibre optic communication subsystems – Part 1: Generic specification.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/023497>>
- [IEC/TR 61282-7] IEC/TR 61282-7 (2003), *Fibre optic communication system design guides – Part 7: Statistical calculation of chromatic dispersion.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/029662>>
- [IEC/TR 61282-9] IEC/TR 61282-9 (2006), *Fibre optic communication system design guides – Part 9: Guidance on polarization mode dispersion measurements and theory.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/036332>>
- [IEC/TR 61931] IEC/TR 61931 (1998), *Fibre optic – Terminology.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/023183>>
- [IEC 61300-3-6] IEC 61300-3-6 (2003), *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-6: Examinations and measurements – Return loss.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/033600>>
- [IEC 61300-3-35] IEC/PAS 61300-3-35 (2007), *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-35: Examinations and measurements – Fibre optic cylindrical connector endface visual inspection.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/029058>>

3 Термины и определения

3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящей Рекомендации используются следующие термины, определенные в других документах.

- 3.1.1 Дифференциальная групповая задержка (ДГЗ) (differential group delay (DGD))** [ITU-T G.650.2]
- 3.1.2 Волоконно-оптическая кабельная система (fibre optic cable plant (FOCP))** [IEC 61281-1]
- 3.1.3 Соединение сплавлением (fusion splice)** [IEC/TR 61931]
- 3.1.4 Механическое соединение (mechanical splice)** [IEC/TR 61931]
- 3.1.5 Оптический соединитель (optical connector)** [IEC 61281-1]
- 3.1.6 Оптическое устройство (optical device)** [IEC 61281-1]
- 3.1.7 Оптические потери на отражение (optical return loss (ORL))** [IEC 61281-1]
- 3.1.8 Оптическое соединение (optical splice)** [IEC/TR 61931]
- 3.1.9 Поляризационная модовая дисперсия (polarization mode dispersion (PMD))** [ITU-T G.650.2]
- 3.1.10 Коэффициент отражения (reflectance)** [ITU-T G.671]

3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины:

- 3.2.1 затухание волоконно-оптической кабельной линии связи:** Затухание волоконно-оптической кабельной линии связи – это сумма затуханий на участках оптического кабеля, в местах сращивания кабеля, в соединениях между участками кабелей и на их концах. Определение затухания приведено в Рекомендации ITU-T G.650.1. Примеры результатов измерения затухания в линии связи приведены в [b-ITU-T G-Sup.39].

3.2.2 хроматическая дисперсия волоконно-оптической кабельной линии связи: Общая хроматическая дисперсия волоконно-оптической кабельной линии связи представляет собой сумму хроматических дисперсий отдельных кабелей, входящих в состав линии, при требуемых значениях длины волны. Дополнительная информация по суммированию дисперсии на разных участках кабелей приведена в [b-ITU-T G-Sup.39].

3.2.3 характеристика волокна: Полный комплекс измерений, проводимых на волоконно-оптической кабельной линии связи для определения ключевых рабочих характеристик линии, которые могут повлиять на существующие и будущие приложения, работающие на этой линии. Определение характеристик волоконного кабеля также позволяет оценить качество волоконно-оптической кабельной линии связи, в том числе определить тип и класс проложенного волокна. Полная процедура определения характеристик волокна включает проверку торцов соединителей кабелей, измерение вносимых потерь, измерение потерь на отражение, рефлектографические испытания, проверку хроматической дисперсии, измерение поляризационной модовой дисперсии и спектрального затухания.

3.2.4 одномодовая волоконно-оптическая кабельная линия связи: Одномодовая волоконно-оптическая кабельная линия связи – это совокупность пассивных волоконно-оптических компонентов, которые в совокупности образуют непрерывную волоконно-оптическую трассу между двумя конечными точками. Типовые конечные точки представляют собой коммутационные панели или оптические распределительные щиты, на которых установлены соединители на концах волокна. Типовая линия связи состоит из большого количества участков волоконно-оптического кабеля, соединенных впритык. Составная линия связи может содержать дополнительные соединители на промежуточных коммутационных панелях и, следовательно, состоять из двух и более последовательно соединенных простых линий связи.

3.2.5 однородность волоконно-оптической кабельной линии связи: Однородность волоконно-оптической линии связи определяется продольным отклонением коэффициента затухания или коэффициента хроматической дисперсии вдоль данной линии связи.

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

CD	Chromatic Dispersion		Хроматическая дисперсия
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing		Разреженное мультиплексирование с разделением по длине волны
DGD	Differential Group Delay	ДГЗ	Дифференциальная групповая задержка
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing		Плотное мультиплексирование с разделением по длине волны
ffs	for further study		Подлежит дальнейшему изучению
GINTY	Generalized INTerferometrY		Стандартная интерферометрия
JME	Jones Matrix Eigenanalysis		Анализ на основе матриц Джонса
LSPM	Light Source and Power Meter		Источник света и измеритель мощности
OCWR	Optical Continuous-Wave Reflectometer		Оптический рефлектометр постоянного излучения
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer		Оптический временной рефлектометр
PMD	Polarization Mode Dispersion		Поляризационная модовая дисперсия
RMS	Root Mean Square		Среднеквадратичное значение
SLA	Service Level Agreement		Соглашение об уровне обслуживания
TINTY	Traditional INTerferometrY		Традиционная интерферометрия

5 Методы тестирования

5.1 Методы тестирования для определения параметров проложенных волоконно-оптических кабельных линий связи

Основной целью испытаний проложенных волоконно-оптических кабельных линий связи является подтверждение того, что все компоненты линии связи (оптические волокна, соединители и т. д.) соответствуют техническим требованиям, а прокладка и монтаж были выполнены с соблюдением стандартов качества (например, потери в местах соединения находятся в пределах нормы, а кабельная линия связи не повреждена).

При вводе в эксплуатацию новой линии связи чаще всего в первую очередь проводятся испытания характеристик затухания, так как именно эти параметры в наибольшей степени зависят от соблюдения стандартов качества в процессе прокладки и монтажа линии.

Критерии для новых проложенных волоконно-оптических линий связи определяет эксплуатирующая компания. Например что касается затухания, эти критерии могут относиться не только к суммарному затуханию в линии, но и к потерям на отдельных участках кабеля и в волокнах, в отдельных местах сращивания и соединителях, а также к другим характеристиками однородности. Один из подходов к определению предела суммарного затухания предусматривает учет коэффициента затухания и длины отдельных участков кабеля, количества мест сращивания или соединителей и максимально допустимых потерь в них, а также сложение этих значений согласно формулам, приведенным в Дополнении I к Рекомендации МСЭ-Т G.652.

В пункте 5.2 приведена информация о дополнительных испытаниях, которые могут понадобиться для проверки соблюдения условий договора на оказание услуг или для обеспечения передачи данных на более высокой скорости (10 Гбит/с на канал и выше) или в расширенных диапазонах волн. Документ [b-ITU-T G-Sup.40] служит руководством по взаимосвязи и определению различных атрибутов и методов измерений, существующих в МСЭ-Т, и их сопоставлению с версией МЭК.

5.1.1 Проверка торцов соединителей

Перед началом испытаний рекомендуется убедиться в том, что торцы соединителей на каждом конце линии связи не имеют загрязнений и повреждений. Если торец соединителя загрязнен, то его необходимо очистить (согласно инструкции производителя соединителей), что позволит обеспечить достоверность результатов проверки и достаточный срок службы с удовлетворительными характеристиками. После очистки целесообразно повторить проверку и убедиться в эффективности проведенной процедуры.

В целях безопасности (чтобы находящееся в работе оптоволокно не повредило зрение) при проведении данной проверки могут применяться датчики видеоконтроля. Они также позволяют производить осмотр торцов соединителей, установленных за коммутационными панелями, без риска повреждения соседних волокон и прерывания трафика.

При необходимости изображения торцов могут быть сохранены для последующего анализа. В документе [IEC/PAS 61300-3-35] приводятся допустимые уровни повреждений и дефектов, при которых не происходит ухудшения характеристик передачи данных по волоконно-оптическим линиям.

5.1.2 Затухание в линии связи

Затухание в линии связи имеет очень большое значение для работы всех приложений независимо от скорости передачи данных. Суммарное затухание в линии связи обычно измеряется для тех значений длины волны, на которых эта линия будет работать. Как правило, это измерение проводится при длине волн 1310 нм и 1550 нм, однако если предполагается использование приложений, работающих в диапазоне L (1565–1625 нм), то испытание рекомендуется проводить также при длине волны 1625 нм (информация о распределении значений длины волны при проведении технического обслуживания приведена в [b-ITU-T L.66]). Рекомендательный метод, подробное описание которого приведено в [IEC 61280-4-2], предусматривает использование источника света и измерителя мощности. Этот метод позволяет сравнить уровень мощности на входе одного конца линии с уровнем мощности на выходе другого конца линии. Разница между этими двумя уровнями мощности представляет собой суммарное затухание в линии связи, измеряемое в децибелах. Поскольку при

использовании этого метода воспроизводится процесс работы самой системы, он является предпочтительным для определения суммарного затухания в линии связи. Однако на этом этапе неизвестно, в каком направлении будет работать каждое из волокон, поэтому может потребоваться измерение во всех волокнах линии в обоих направлениях. При этом следует отметить, что суммарное затухание в линии связи при измерении данным методом должно быть одинаковым в обоих направлениях.

Хотя основным способом измерения затухания в линиях связи является определение вносимых потерь, для двунаправленного или однонаправленного измерения часто используется рефлектометр OTDR (см. пункт 5.1.3). Рефлектометр OTDR позволяет сократить время измерения, однако его применение сопряжено с некоторыми рисками. Например, рефлектометр может не обнаружить поврежденное волокно вблизи конца линии в том случае, если не используются концевые кабели. Кроме того, рефлектометр может не обнаружить перекрещивание волокон. Известно, что двунаправленное измерение с помощью рефлектометра OTDR дает более точные результаты, однако при проведении начальной проверки часто используются однонаправленные измерения. Если в результате такой проверки получены предельные значения, рекомендуется провести двунаправленное измерение. Дополнительная информация по интерпретации кривых обратного рассеяния приведена в [b-IEC/TR 62316].

Если составная линия связи формируется путем соединения нескольких простых линий, то суммарное затухание на составной линии может быть получено простым сложением значений затухания простых линий в децибелах.

5.1.3 Потери в точках сращивания, расположение точек сращивания, однородность волокна, длина участков кабеля и линий связи

Измерение этих характеристик рекомендуется проводить с использованием рефлектометра OTDR. В зависимости от конфигурации измерения метод можно также использовать для измерения суммарного затухания в линии связи. Применение метода для измерения затухания на проложенных линиях описано в [IEC 61280-4-2], а для измерения характеристик волокон и кабелей – в [ITU-T G.650.1]. Рефлектометр OTDR способен измерять оптическую мощность, рассеиваемую в обратном направлении вдоль волокна, как функцию расстояния. Методика, оборудование и процедура измерений подробно описаны в [IEC 61280-4-2].

Как правило, при вводе в эксплуатацию новой кабельной линии рефлектография OTDR проводится в обоих направлениях по каждому волокну с использованием как минимум двух значений длины волны. Эти значения длины волны должны быть типичными длинами, при которых могут работать оптоволоконные линии, например 1310 нм и 1550 нм для волокон типа [ITU-T G.652]; 1550 нм и 1625 нм для волокон типа [ITU-T G.655].

Рефлектография OTDR должна выполняться при помощи достаточно длинного (как правило, 1–2 км) согласующего проводника, что позволяет измерить потери в первом соединителе линии связи. Кроме того, к дальнему концу исследуемого волокна должен быть присоединен оконечный проводник аналогичной длины, что позволит измерить потери в соединителе на дальнем конце линии.

Последующий подробный анализ рефлектограмм OTDR позволяет точно измерить суммарное затухание в линии, суммарные потери на оптическое отражение, а также провести полное исследование структуры потерь в компонентах вдоль всей линии, включая затухание в участках волокна, потери в местах сращивания, вносимые потери и потери на отражение в соединителях. Кроме того, можно определить несогласованность волокон в различных участках кабеля вдоль линии, а также выявить другие проблемы, например перегибы волокна. Примеры рефлектограмм и их анализ приведены в Дополнении I.

Если рефлектометр OTDR используется только для измерения длины или проверки суммарного затухания на кабельной линии связи с использованием согласующего и оконечного проводников, то можно использовать результаты однонаправленной рефлектографии OTDR. Если требуется более тщательное и подробное изучение неоднородностей, для оценки следует использовать результаты двунаправленной рефлектографии OTDR. Пример анализа результатов двунаправленного измерения приведен в Дополнении I.

На практике результаты однонаправленной рефлектографии OTDR могут применяться для грубой оценки качества сращивания волокон, однако точные измерения потерь в местах сращивания должны проводиться с использованием двунаправленной рефлектографии OTDR. Потери в точках сращивания рассчитываются по формуле

$$\text{Потери в точках сращивания} = \frac{\alpha_{A-B} + \alpha_{B-A}}{2},$$

где:

α_{A-B} : отображаемый (не действительный) результат измерений потерь в точках сращивания участков кабелей в направлении от конца *A* до конца *B*;

α_{B-A} : отображаемый (не действительный) результат измерений потерь в точках сращивания участков кабелей в направлении от конца *B* до конца *A*.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Рефлектометры OTDR, обладающие соответствующими характеристиками, могут использоваться для проверки затухания в кабеле для всех значений длины линии связи, поддерживаемых приложениями МСЭ-Т. Пригодность модулей OTDR для проверки тех или иных линий связи можно выяснить, обратившись к спецификациям, предоставляемым производителями оборудования. Для составных линий связи величина суммарного затухания может быть получена непосредственно путем суммирования затуханий отдельных кабельных линий.

5.1.4 Другие параметры, которые необходимо измерить после прокладки линии

Время от времени проводятся такие испытания, как проверка изоляции оболочки и измерение пневматического сопротивления соединительных муфт. Эти характеристики не имеют прямого отношения к качеству передачи данных по участкам оптического кабеля, однако могут повлиять на механическую надежность линии. Стандартные испытания для измерения этих параметров в настоящее время находятся в стадии разработки.

5.2 Методы тестирования для контроля исполнения договоров на оказание услуг и передачи данных с определенной скоростью

Второй уровень испытаний, называемый определением характеристик волокна, включает измерения, которые могут проводиться в целях выполнения условий соглашений об уровне обслуживания (например, если подписан контракт по "темным волокнам") или проверки характеристик устаревших линий связи, которые могут быть использованы на более высоких скоростях передачи данных (10 Гбит и выше) или в расширенных диапазонах длины волны (например, DWDM в полосе L или CWDM в полосах O, E, S, C и L).

Помимо испытаний, подробно описанных в пункте 5.1, определение характеристик волокна включает измерение дисперсии (CD и PMD). При этом диапазоны длин волн, охватываемые измерениями, связанными с затуханием (см. пункт 5.1), могут быть расширены. Например, могут быть включены рефлектография OTDR на длине волны 1625 нм или измерения спектрального затухания в полосах O, E, S, C и L.

Определение характеристик волокна приведено в пункте 3.2.3. Зачастую требуется полномасштабное определение характеристик волокна, особенно при наличии контракта по "темным волокнам", поскольку доступ к волокнам, уже введенным в эксплуатацию, может оказаться закрытым, что затрудняет оценку возможности их модернизации в будущем.

5.2.1 Проверка торца соединителя

Требуется согласно пункту 5.1.1.

5.2.2 Суммарное затухание в линии связи

Требуется согласно пункту 5.1.2. Могут потребоваться также измерения на дополнительных длинах волны.

5.2.3 Затухание и связанные с ним характеристики

Для повышения скорости передачи после прокладки кабеля необходимо проверять затухание, потери в местах сращивания, однородность и длину участка затухания. Измерение указанных характеристик

производится методом обратного рассеяния, как это описано в пункте 5.1.3. Могут потребоваться также измерения на дополнительных длинах волн.

5.2.4 Спектральное затухание

Если волоконно-оптическая кабельная линия связи используется для приложений CWDM, то может возникать значительный разброс значений затухания в линии в широком диапазоне используемых длин волн. В этом случае измерение затухания в линии рекомендуется проводить на всех используемых длинах волны. Методика измерения описана в пункте 5.4.3 Рекомендации МСЭ-Т G.650.1. При помощи подходящего широкополосного источника света и анализатора оптического спектра сравниваются входной и выходной спектры линии связи и определяется затухание как функция длины волны по всему используемому диапазону длин волн. Этот вид измерения достаточно проводить только в одном направлении в линии связи.

5.2.5 Поляризационная модовая дисперсия (PMD)

Если передача данных производится со скоростью менее 10 Гбит/с или на малые расстояния, измерение PMD кабельных линий связи может не потребоваться. Измерения PMD линий связи подробно описаны в документе [IEC 61280-4-4], а в документе [IEC/TR 61282-9] приведены дополнительные указания по измерению PMD.

В документах [IEC 61280-4-4] и [IEC/TR 61282-9] приведено несколько методов испытаний, рекомендуемых для измерения PMD проложенных линий связи. Особое внимание следует уделить выбору метода. При этом необходимо учитывать такие аспекты, как возможное перемещение кабеля в процессе измерения.

Измерение PMD волокна достаточно проводить только в одном направлении. Используемые значения длины волны должны быть типичными длинами волн, при которых могут работать волоконные линии.

Приведенные выше методы испытаний могут использоваться для проверки отдельных кабельных линий, а некоторые устройства могут также использоваться для проверки через усилители. Суммарная PMD составной линии связи, состоящей из соединенных вместе простых линий, вычисляется путем извлечения квадратного корня из суммы квадратов значений PMD отдельных линий связи. Подробно метод расчета описан в [b-IEC 61282-3]. Например, если три простые линии образуют составную линию, то суммарная PMD составной линии может быть рассчитана следующим образом:

$$PMD_{\text{Total}} = \sqrt{(PMD_1^2 + PMD_2^2 + PMD_3^2)}.$$

5.2.6 Хроматическая дисперсия

Измерение хроматической дисперсии не является обязательным при передаче данных с небольшой скоростью и на малые расстояния, однако помогает определить тип проложенного волокна, то есть G.652, или G.653, или G.655.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если участок кабеля длиной менее 40 км входит в состав оптической линии связи, используемой для передачи данных со скоростью 2,5 Гбит/с, измерение хроматической дисперсии не требуется. Необходимость проведения данного измерения обусловлена планируемой скоростью передачи данных, расстоянием и типом волокна.

Для измерения хроматической дисперсии существует ряд методов, подробно описанных в пункте 5.5 Рекомендации МСЭ-Т G.650.1. Многие производители выпускают оборудование для испытаний в эксплуатационных условиях, с помощью которого осуществляется проверка проложенных линий связи с использованием следующих методов:

- метод фазового сдвига и метод дифференциального фазового сдвига;
- времяпролетный метод, включающий в себя односторонний (на базе рефлектометра OTDR) и двусторонний методы.

Проведение данного вида измерения с обоих концов линии связи не является обязательным.

Диапазон длин волн, в котором проводится измерение, должен включать в себя предполагаемые диапазоны длин волн всех систем передачи данных, которые могут работать на данной линии связи.

Для систем DWDM может оказаться достаточным измерение полосы С или полос С и L; однако для систем CWDM диапазон длин волн должен целиком охватывать полосы O, E, S, C и L.

Приведенные выше методы испытаний могут использоваться для проверки отдельных кабельных линий; некоторые устройства могут использоваться для проверки через усилители и некоторые виды модулей компенсации дисперсии. Суммарная хроматическая дисперсия (пс/нм) составной линии связи, состоящей из соединенных вместе простых линий, на заданной длине волны вычисляется путем простого сложения отдельных значений хроматической дисперсии. Следует отметить, что для типовых модулей компенсации дисперсии и для стандартных волокон, работающих на длине волны ниже длины волны нулевой дисперсии, значения дисперсии будут отрицательными. Дополнительные указания по расчету суммарной хроматической дисперсии приведены в пункте 10.3 [b-ITU-T G-Sup.39] и [IEC/TR 61282-7].

5.2.7 Оптические потери на отражение (ORL)

В Дополнении I Рекомендации МСЭ-Т G.957 описаны два метода измерения отражений на оптической трассе (участках оптического кабеля). Один метод предусматривает применение оптического рефлектометра постоянного излучения (OCWR), другой – рефлектометра OTDR. Рефлектометр OCWR позволяет проводить измерения суммарных оптических потерь на отражение (ORL) всей линии, а рефлектометр OTDR – измерения отражающей способности дискретных событий, в частности соединителей, а также производить расчет суммарных потерь ORL в линии связи. Подробная информация об измерении потерь ORL компонентов волоконно-оптических линий приведена в [IEC 61300-3-6].

Дополнение I

Анализ с помощью OTDR

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

I.1 Пример рефлектограммы OTDR

На рисунке I.1 показан пример рефлектограммы OTDR, снятой при длине волны 1550 нм на линии связи длиной примерно 20 км. Измерения на линии проводились с использованием согласующего и оконечного проводников длиной около 3,8 км каждый. Линия связи состоит из участков кабеля длиной 2 км, а также из нескольких участков меньшей длины. Следует отметить, что расположение маркеров А и В отображает суммарные потери в линии, включая потери в соединителях на обоих концах линии.

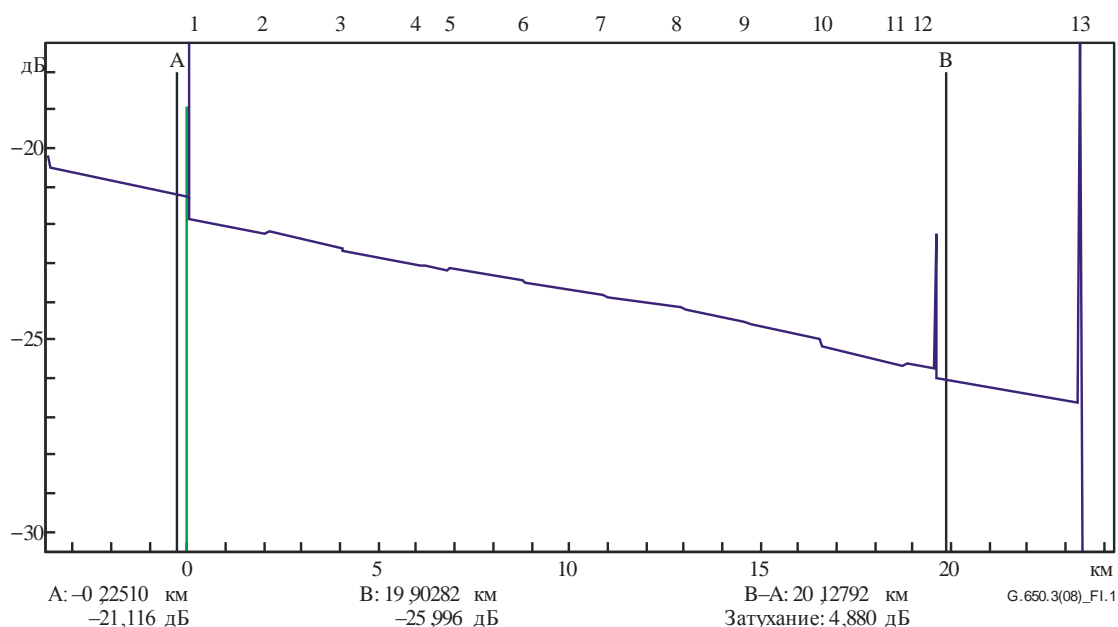

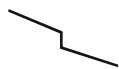
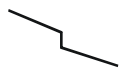
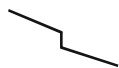
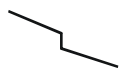
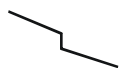
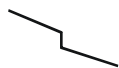
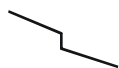
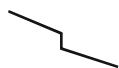
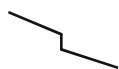
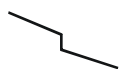



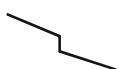
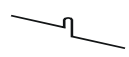



Рисунок I.1 – Пример рефлектограммы OTDR

Таблица I.1 – Таблица событий OTDR на основе рефлектограммы (рисунок I.1)

Событие (13)	Расстояние (км)	Затухание (дБ)	Коэффициент отражения (дБ)	Наклон кривой (дБ/км)	Отн. расст. (км)	Бюджет линии (дБ)
	0,00000	0,534	-52,39	0,200	3,68282	
	2,07258	-0,038		0,198	2,07258	0,944
	4,10104	0,076		0,190	2,02846	1,291
	6,15188	0,007		0,196	2,05084	1,768
	6,82591	-0,094		0,203	0,67402	1,912
	8,83262	0,004		0,191	2,00672	2,202
	10,96404	-0,034		0,194	2,13142	2,619
	12,94837	0,029		0,192	1,98433	2,966
	14,82975	0,025		0,190	1,88138	3,353
	16,65293	0,362		0,184	1,82318	3,714
	18,71848	-0,062		0,190	2,06555	4,468
	19,61185		-53,69	0,187	0,89337	4,574
	23,40722			0,193	3,79537	5,484

ПРИМЕЧАНИЕ. – В столбце "Событие" графические символы применяются для обозначения определенных типов событий – как правило, используются следующие значки:

-  обозначает интерфейс соединителя в начале или конце согласующего или оконечного проводника;
-  обозначает неразъемное соединение оптических волокон (событие потерь, не связанных с отражением) в исследуемой линии связи;
-  обозначает соединитель (событие потерь, связанных с отражением) в исследуемой линии связи;
-  обозначает конец исследуемого волокна (в случае, когда оконечный проводник не используется).

I.2 Пример таблицы событий OTDR

В таблице I.1 приведен полный анализ событий на рефлектограмме, изображенной на рисунке I.1. Следует отметить, что в некоторых точках срачивания (например, событие 5) обозначены отрицательные потери. Это связано с небольшими отклонениями характеристик обратного рассеяния в волокне с каждой стороны точки срачивания. Если волокно после точки срачивания рассеивает больше света, чем до точки срачивания, наблюдаемые потери снижаются и могут в ряде случаев выглядеть как усиление сигнала. В обратной ситуации (то есть если волокно до точки срачивания рассеивает больше света, чем после точки срачивания) наблюдаемые потери могут превышать истинные потери. Это относится к соединителю на первой коммутационной панели (событие 2) и к событию 10 на рисунке I.1 и в таблице I.1. Именно поэтому необходимо проводить рефлектографию OTDR с обоих концов волокна с использованием согласующего и оконечного проводников, а также усреднять результаты по обоим направлениям. Некоторые рефлектометры OTDR позволяют проводить эту процедуру в реальном времени, при этом рефлектометр OTDR применяется на каждом конце линии связи. Как вариант, двунаправленный анализ может быть проведен при помощи компьютерных программ.

I.3 Двунаправленный анализ с применением OTDR

На рисунке I.2 показано типичное отображение данных двунаправленного измерения OTDR – рефлектограмма с рисунка I.1 изображена в перевернутом виде и наложена на рефлектограмму, снятую с противоположного конца того же самого волокна. Таким образом коррелируется расположение всех событий. В таблице событий показаны результаты, усредненные по обоим направлениям. Отметим, например, что точка срачивания с высокими потерями, которая в таблице I.1 обозначена как событие 10, теперь обозначается как событие 3, а при проведении измерений с противоположного конца появляется "усиление" (отрицательные потери в точке срачивания). Следует также отметить, что потери в соединителе (в данном случае событие 12) существенно ниже при измерении в данном направлении, что значительно снижает потери в соединителе, усредненные по обоим направлениям.

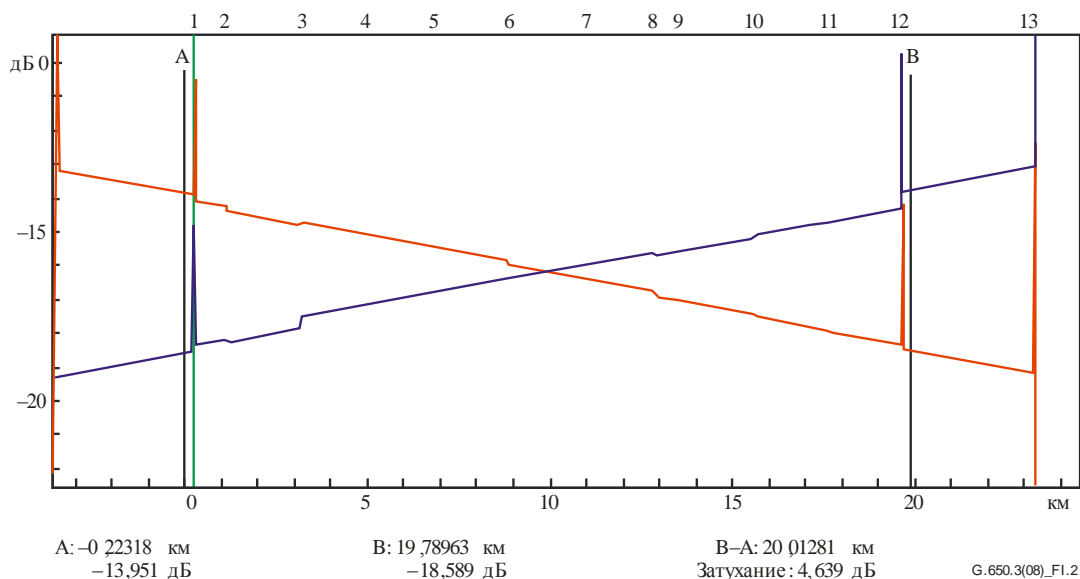


Рисунок I.2 – Изображение двунаправленной рефлектограммы OTDR

Таблица I.2 – Анализ потерь по двунаправленной рефлектограмме OTDR

Путь О → Е (13)	Путь О ← Е (13)	Расстояние (км)	Затухание (дБ)	Затухание (дБ)	Среднее значение (дБ)	Наклон кривой (дБ/км)	Наклон кривой (дБ/км)	Среднее значение (дБ/км)
	13							
1*	12*	0,00000	0,169			0,193	0,193	0,193
2*	11	0,91447	0,136	-0,062	0,037	0,195	0,187	0,191
3*	10	2,97362	-0,062	0,362	0,150	0,190	0,190	0,190
4*	9	4,81407	0,009	0,025	0,017	0,192	0,184	0,188
5*	8	6,67754	-0,006	0,029	0,011	0,190	0,190	0,190
6*	7	8,67659	0,177	-0,034	0,071	0,190	0,192	0,191
7*	6	10,79521	0,014	0,004	0,009	0,188	0,194	0,191
8*	5	12,81600	0,110	-0,094	0,008	0,191	0,191	0,191
9*	4	13,47659	0,034	0,007	0,021	0,186	0,203	0,195
10*	3	15,53191	0,077	0,076	0,077	0,187	0,196	0,191
11*	2	17,52776	0,067	-0,038	0,014	0,187	0,190	0,189
12*	1	19,62528	0,136	0,534	0,335	0,182	0,198	0,190
13*						0,197	0,200	0,199

Дополнение II

Параметры оптических трасс, определенные в Рекомендациях МСЭ-Т

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

Заданные параметры	Соответствующий пункт	МСЭ-Т G.691	МСЭ-Т G.692	МСЭ-Т G.693	МСЭ-Т G.695	МСЭ-Т G.696.1	МСЭ-Т G.698.1	МСЭ-Т G.959.1
		STM-64 и другие системы SDH	Многоканальная линия	Внутристанционная связь	CWDM	Внутридоменные DWDM	DWDM	OTN
Затухание (макс./мин.)	5.1.2 5.2.2	S	S	S	S	S	S	S
Хроматическая дисперсия (макс./мин.)	5.2.6	S	S	S	S	S/ffs	S	S
ДГЗ (макс.)	5.2.5	S	NS	S	S	S	S	S
Отражения (мин. потери, макс. дискретные)	5.2.7	S	S	S	S	S	S	S
<p>S – определено</p> <p>NS – не определено</p> <p>ffs – подлежит дальнейшему изучению</p> <p>ПРИМЕЧАНИЕ. – Минимальная хроматическая дисперсия не указана в [b-ITU-T G.691]. В [b-ITU-T G.696.1] она приведена с пометкой "для дальнейшего изучения", однако ни одна сетка частот не определена.</p>								

Библиография

- [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 (2006 г.), *Оптические интерфейсы для внутростанционных систем.*
- [b-ITU-T G.695] Recommendation ITU-T G.695 (2006), *Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications.*
- [b-ITU-T G.696.1] Рекомендация МСЭ-Т G.696.1 (2005 г.), *Внутридоменные приложения плотного волнового уплотнения (DWDM), совместимые в продольном направлении.*
- [b-ITU-T G.698.1] Recommendation ITU-T G.698.1 (2006), *Multichannel DWDM applications with single-channel optical interfaces.*
- [b-ITU-T G.959.1] Рекомендация МСЭ-Т G.959.1 (2006 г.), *Интерфейсы физического уровня оптической транспортной сети.*
- [b-ITU-T L.66] Recommendation ITU-T L.66 (2007), *Optical fibre cable maintenance criteria for in-service fibre testing in access networks.*
- [b-ITU-T G-Sup.39] МСЭ-Т. Серия G. Добавление 39 (2006 г.), *Рассмотрение вопросов расчета и проектирования оптических систем.*
- [b-ITU-T G-Sup.40] ITU-T. Series G. Supplement 40 (2004), *Optical fibre and cable Recommendations and standards guideline.*
- [b-IEC 60793-1-40] IEC 60793-1-40 (2001), *Optical fibres – Part 1-40: Measurement methods and test procedures – Attenuation.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/027433>>
- [b-IEC 60793-1-42] IEC 60793-1-42 (2007), *Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/038089>>
- [b-IEC 61282-3] IEC 61282-3 (2006), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of link polarization mode dispersion.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/037065>>
- [b-IEC/TR 62316] IEC/TR 62316 (2007), *Guidance for the interpretation of OTDR backscattering traces.*
<<http://webstore.iec.ch/webstore/webstore.nsf/artnum/037447>>

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