

Э.Л. Портнов

ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ ИХ МОНТАЖ И ИЗМЕРЕНИЕ

*Рекомендовано УМО по образованию
в области телекоммуникаций в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по специальностям 210401 –
«Физика и техника оптической связи»*

Москва
Горячая линия - Телеком
2012

УДК 621.315

ББК 32.889

П60

Портнов Э. Л.

П60

Оптические кабели связи их монтаж и измерение. Учебное пособие для вузов. – М: Горячая линия–Телеком, 2012. – 448 с: ил.

ISBN 978-5-9912-0219-0.

На современном уровне рассмотрены теоретические и практические вопросы, связанные с использованием оптических кабелей и пассивных компонентов волоконно-оптических линий связи. Представлена классификация оптических кабелей связи (ОКС) и их основные конструктивные элементы, в том числе приведены конструкции оптических кабелей для грозозащитных тросов, для пневмозадувки, комбинированные конструкции оптических кабелей, подводных оптических кабелей. Рассмотрены оптические волокна (ОВ) – как применяемые на сети России, так и разрабатываемые для будущей реализации. Описаны основные передаточные характеристики ОВ и нелинейные эффекты, возникающие в ОВ при передаче сигналов по пассивным оптическим компонентам, куда по определению МСЭ-Т входят оптические соединители, разветвители, аттенюаторы, адаптеры, соединительные шнуры, коммутаторы, изоляторы, циркуляторы, фильтры, мультиплексоры и волновые конверторы, соединительные муфты различного назначения, кабельные вставки, компенсаторы дисперсии. Приведены основные методики монтажа и измерений оптических волокон и кабелей как при строительстве ВОЛС, так и при монтаже и в процессе эксплуатации.

Для студентов, обучающихся по специальности 210401 – «Физика и техника оптической связи» и другим телекоммуникационным специальностям, может быть использовано для повышения квалификации работников предприятий связи.

ББК 32.889

Адрес издательства в Интернет www.techbook.ru

Учебное издание

Портнов Эдуард Львович

Оптические кабели связи их монтаж и измерение

Учебное пособие

Редактор Ю. Н. Чернышов

Компьютерная верстка Ю. Н. Чернышова

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано к печати 30.06.2011. Формат 60х88 1/16. Усл. печ. л. 26. Изд. № 110219. Тираж 1000 экз.

ISBN 978-5-9912-0219-0

© Э. Л. Портнов, 2012

© Издательство «Горячая линия–Телеком», 2012

Предисловие

Учебное пособие «Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи» (Э.Л. Портнов) было опубликовано в 2007 году. В книге были рассмотрены конструкции оптических кабелей связи, их передаточные характеристики и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи. Однако за прошедший период разработаны и внедрены новые конструкции оптических кабелей связи, новые технологические решения по монтажу муфт и оптических волокон; в изданной книге не рассматривались измерения оптических волокон и кабелей как при строительстве, так и при монтаже и эксплуатации.

Книга «Оптические кабели связи, их монтаж и измерения» посвящена тематике построения линий связи (волоконно-оптических) независимо от принципов коммутации и передачи различных видов информации. В настоящее время построена Единая первичная сеть России на симметричных, коаксиальных и волоконно-оптических кабелях связи, которые используются как на магистральных участках сети, так и на внутризоновых, городских и сельских. Волоконно-оптические линии вытесняют с магистральных, внутризоновых и местных сетей симметричные и коаксиальные кабели, оставляя им только возможности развития на городских абонентских участках, на распределительных коаксиальных участках кабельного телевидения и на локальных сетях внутри зданий, при этом волоконно-оптические линии гармонично вписываются в существующую структуру сети на медных кабельных линиях, постепенно вытесняя их с различных участков сети. На базе волоконно-оптических линий связи созданы и внедрены в эксплуатацию кабельные магистрали протяженностью в несколько тысяч километров, в том числе и кабельные магистрали, проложенные через океаны и морские глубины.

В 3-й главе дополнительно рассмотрены модовое двулучепреломление и поляризационная модовая дисперсия в оптических кварцевых волокнах. В 4-й главе дано расширенное описание нелинейных эффектов в оптическом волокне. В 5-й главе более широко рассмотрены конструкции оптических кабелей для грозозащитных тросов, для пневмозадувки, комбинированные конструкции оптических кабелей, подводных оптических кабелей. В 9-й главе и в приложениях 1–5 широко представлен монтаж оптических кабелей с учетом новых технологий. Главы 10–12 посвящены измерениям на оптическом волокне и оптическом кабеле как в процессе монтажа, так и в процессе строительства и эксплуатации.

Э.Л. Портновым написаны 1–12 главы, Приложения 1–3 подготовлены А.Л. Зубилевичем, а приложения 4–5 — С.А. Чижановым.

Книга предназначена для студентов и аспирантов, обучающихся по направлению подготовки 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Книга может быть также полезна для повышения квалификации работников предприятий связи.

Введение

В третьем тысячелетии стоит цель создания единой сети электросвязи на основе волоконно-оптических линий связи [1]. В настоящее время первичная сеть электросвязи базируется на симметричных, коаксиальных и волоконно-оптических линиях связи. На магистральных и внутризоновых первичных сетях всех министерств и ведомств преобладают симметричные и коаксиальные кабели связи, однако все новое строительство в настоящее время выполняется на оптических кабелях связи. Другими словами, транспортный участок сети (междугородный, внутризоновый и городской) базируется на волоконно-оптических технологиях. Строительство и модернизация сетей доступа (городская и сельская связь) также планируется выполнять на волоконно-оптических кабелях (волокно в кабельный шкаф, волокно к дому, волокно к абоненту, волокно на рабочий стол).

Технология «волокно в кабельный шкаф» предполагает, что к абоненту от шкафа идет кабель с медными жилами; при «волокне к дому» распределительный и абонентский участки здания выполнены кабелем с медными жилами (симметричным или коаксиальным); при «волокне к абоненту» от распределительной коробки будет идти медный кабель к компьютеру, а к телевизору — коаксиальный радиочастотный кабель; при «волокне на стол» реализуется волоконно-оптическая технология при сохранении медной абонентской проводки и радиочастотного коаксиального кабеля к телевизору.

До 2015 года в России предполагается полная интеграция существующих сетей (включая сети подвижной связи, вещания и Интернета) в единую федеральную сеть. Интернет-трафик в мире уже в 2007 году составил 6 Петабайт в день, при этом суммарная скорость по одному оптическому волокну достигла 4 Тбит/с, а по медному кабелю 1 Гбит/с.

Согласно международному стандарту (рекомендации G.65х) Международного союза электросвязи (МСЭ) выпускается большое количество видов одномодовых оптических кварцевых волокон.

Появление систем с расстоянием между каналами в 100 и 50 ГГц привело к увеличению допустимого диапазона дисперсии.

При создании ВОЛС применяются различные виды передатчиков. Для улучшения характеристик хроматической дисперсии наибо-

Таблица В.1

Оптические диапазоны одномодовых оптических кварцевых волокон

Обозначение	Название	Диапазон длин волн, нм	Ширина полосы, ТГц
О-диапазон	Основной	1260...1360	17,5
Е-диапазон	Расширенный	1360...1460	15,1
С-диапазон	Коротковолновый	1460...1530	9,4
С-диапазон	Стандартный	1530...1565	4,4
L-диапазон	Длинноволновый	1565...1625	7,1
U-диапазон	Сверхдлинноволновый	1625...1675	5,5
	Итого	1260...1675= 415 нм	59,0

более совершенным является применение DFB-лазеров с внешней модуляцией.

Согласно рекомендациям МСЭ-Т проведено уточнение или расширение числа окон прозрачности по применяемым диапазонам для одномодовых оптических волокон от трех до шести (табл. В.1).

Спектральное уплотнение, увеличение числа каналов в оптическом волокне, появление систем с расстоянием между каналами 100 и 50 ГГц привели к необходимости увеличения спектрального диапазона ОВ. Полоса пропускания ОВ достигает 59 ТГц.

В настоящее время по оптическому волокну получены суммарные рекордные скорости передачи 14 Тбит/с, при этом в одном канале была достигнута скорость передачи 1 Тбит/с; количество каналов в одном волокне составило 1000 при скорости передачи 3,25 Гбит/с. Однако для коммерческого применения используется не более 100 каналов при скорости передачи 40 Гбит/с.

Учитывая рост потребностей в телекоммуникационных и мультисервисных услугах, спрос на оптическое волокно (и, следовательно, на оптический кабель) не уменьшается и составляет 70 млн км при ежегодном приросте в 15 %. Оптические волокна применяются для кабелей дальней наземной и подводной связи, сетей доступа, внутризоновых, городских, сельских и локальных сетей и структурированных кабельных систем. Потребности на данные кабели возрастают, в том числе:

- для кабелей магистральных (наземных и подводных) сетей связи — на 30 %;
- для кабелей сетей доступа — на 25 %;
- для кабелей внутризоновых, городских и сельских сетей — на 40 %;
- для кабелей локальных и структурированных кабельных сетей — на 5 %.

Несомненно, приоритетным направлением является широкое внедрение волоконно-оптических кабелей на всех уровнях первичных сетей: транспортных и доступа, дальнейшее развитие медных кабелей на сети общего пользования, на сети доступа, кабелей структурированных кабельных систем, радиочастотных коаксиальных кабелей для сети кабельного телевидения.

Россия является самой большой страной по территории — она занимает 12,5 % земной суши, а проживает на этой территории всего 2 % населения Земли, т.е. плотность населения составляет всего 8,1 человек на квадратный километр*. Следовательно, для обеспечения населения средствами и услугами связи необходимо строить очень длинные линии связи, что требует больших капитальных затрат.

Суровый климат России, демографическая и экономическая неоднородность усугубляют трудности в развитии связи в России в целом.

С начала 90-х годов прошлого века на магистральной и внутризоновой сетях общего пользования прекратилось строительство новых линий связи на кабелях с медными жилами, однако огромная сеть, создаваемая десятилетиями на кабелях с медными жилами, в 2...3 раза превышает современную сеть на оптических кабелях связи. Транспортная сеть на медном кабеле не может конкурировать с оптической транспортной сетью ни по пропускной способности, ни по качеству цифрового сигнала, ни по протяженности и по ряду других характеристик.

Поэтому первоочередной задачей на транспортной сети является замена кабельных линий с медными жилами на оптические кабельные линии. За десятилетний период времени на магистральных и внутризоновых сетях общего пользования и технологических сетях было построено 140 тыс. км оптических линий связи. При сохранении темпов строительства заменить кабельные линии с медными жилами на оптические на указанных выше сетях удастся только к 2030 году. Но есть еще большая группа кабельных линий на сети доступа общего пользования с медными жилами, и их протяженность тоже немалая.

Другими словами, к 2030 году может быть решена транспортная инфраструктура оптических кабельных линий, которая по протяженности к этому времени будет составлять 1260 тыс. км.

Существующая транспортная и технологическая инфраструктура России без учета ее развития и замены отслуживших свой срок кабелей представлена ниже и в табл. В.2.

* По данным сайта www.iformatsiya.ru на 2010 год. — *Прим. ред.*

Оглавление

Предисловие.....	3
Введение.....	4
1. Оптические кабельные линии связи.....	8
1.1. Передача сигналов по волоконно-оптическим линиям связи	8
1.2. Классификация оптических кабелей связи.....	11
2. Оптические волокна.....	25
2.1. Классификация оптических волокон.....	25
2.2. Многомодовое оптическое волокно	30
2.3. Одномодовое оптическое волокно	39
2.4. Оптическое волокно с кварцевой сердцевинной и кварцевой оптической оболочкой.....	46
2.5. Оптическое волокно с кварцевой сердцевинной и полимерной кварцевой оболочкой.....	56
2.6. Оптические волокна для компенсации дисперсии	59
2.7. Оптическое волокно с кварцевой сердцевинной и полимерной оптической оболочкой.....	68
2.8. Оптическое волокно с сердцевинной и оптической оболочкой из многокомпонентного стекла.....	69
2.9. Оптическое волокно с сердцевинной и оптической оболочкой из полимерного материала	69
2.10. Оптическое волокно на основе фотонных кристаллов..	73
2.11. Оптическое волокно для усилителей.....	80
2.12. Оптические волокна, работающие в средней и дальней инфракрасных областях	81
2.13. Изготовление оптических волокон.....	82
3. Передаточные характеристики ОВ.....	94
3.1. Полное внутреннее отражение.....	96
3.2. Числовая апертура и нормированная частота	97
3.3. Затухание.....	102
3.4. Дисперсия и полоса пропускания.....	110
4. Нелинейные эффекты.....	142
5. Типы покрытий, элементов и конструкции ОК.....	149

5.1. Типы покрытий ОВ	149
5.2. Гидрофобные материалы	151
5.3. Оболочки ОКС	153
5.4. Типы и конструкции ОКС	156
6. Цветовая кодировка и маркировка ОКС	217
7. Пассивные оптические компоненты	229
7.1. Оптические соединители	229
7.2. Другие типы соединителей, розетки, адаптеры	261
8. Соединительные муфты для оптических кабелей связи	264
8.1. Конструкции соединительных муфт	269
8.2. Отечественное производство кабельных муфт	271
8.3. Кабельные муфты разных производителей	274
8.4. Методы испытаний	276
8.5. Комплекты КДЗС	277
8.6. Надёжность муфт	278
8.7. Эксплуатационная надёжность муфт	280
8.8. Настенные распределительные муфты	281
8.9. Организаторы волокон	284
8.10. Кабельная ремонтная вставка	290
9. Монтаж оптических кабелей и муфт	295
9.1. Неразъёмные соединения	295
9.2. Соединения плавлением	296
9.3. Стандартная сварная технология	300
9.4. Современные технологии монтажа оптических разъемов	307
9.5. Стандартная клеевая технология монтажа оптических разъемов	313
9.6. Соединители оптических волокон	320
10. Измерения волоконно-оптических кабельных линий	331
10.1. Измерение затухания	337
10.2. Измерение полосы пропускания и дисперсии оптиче- ских волокон	350
10.3. Измерение числовой апертуры	352
10.4. Измерение профиля показателя преломления	353
11. Измерения в процессе строительства ВОЛС	355
11.1. Входной контроль оптических волокон	356
11.2. Измерения в процессе прокладки ОК	357
11.3. Измерения в процессе монтажа ОК	360

11.4. Измерения на смонтированном регенерационном участке ВОЛС.....	363
11.5. Приемодаточные измерения	364
12. Измерения при технической эксплуатации ВОЛС....	368
12.1. Классификация измерений	368
12.2. Состав измерений на ВОЛС.....	370
12.3. Измерение характеристик наружных покровов оптических кабелей.....	373
12.4. Поиск трассы прокладки оптических кабелей.....	379
12.5. Система автоматического мониторинга линейно-кабельных сооружений ВОЛС.....	380
Литература.....	385
Приложения	389