

# УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ



## Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи



Э. Л. Портнов

**Э. Л. Портнов**

# **Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи**

Москва  
Горячая линия - Телеком  
2022

УДК 621.315  
ББК 32.889  
П60

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор *Б. П. Хромой*,  
доктор техн. наук *Ю.Т. Ларин*

**Портнов Э. Л.**

**П60** Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 544 с.; ил.

**ISBN 978-5-9912-0071-4.**

Систематизированы сведения о первичных сетях связи, принципах проектирования, строительства, измерений и эксплуатации, месте волоконно-оптических линий в этих сетях. Рассмотрены конструктивные особенности и технические характеристики существующих типов оптических волокон (ОВ) и оптических кабелей (ОК) применяемых на взаимоувязанной сети связи Российской Федерации (ВСС РФ), теоретические и практические вопросы, связанные с использованием ОК на различных линиях сети с применением оптических усилителей и регенераторов. Описаны основные передаточные характеристики ОВ и нелинейные эффекты, возникающие в ОВ при передаче сигналов по линии с учетом различных элементов, без которых данная линия не может функционировать. Рассмотрены основные принципы измерений, проектирования, строительства и эксплуатации кабельных оптических линий.

Для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров 11.03.02 и 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

**ББК 32.889**

Адрес издательства в Интернет [WWW.TECHBOOK.RU](http://WWW.TECHBOOK.RU)

*Учебное издание*

**Портнов Эдуард Львович**

**Принципы построения первичных сетей  
и оптические кабельные линии связи**

Учебное пособие для вузов

Редактор Ю. Н. Рысев  
Компьютерная верстка Ю. Н. Рысева  
Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 11.03.2017. Формат 70×100/16. Усл. печ. л. 46.  
Доп. тираж 200 экз. (1-й завод 50 экз.) Изд. № 170071  
ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

ISBN 978-5-9912-0071-4

© Э. Л. Портнов, 2009, 2017

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2009, 2017

## Оглавление

Предисловие .....	3
<b>Глава 1. Принципы построения первичных сетей электросвязи .....</b>	<b>4</b>
1.1. Основные положения развития сети связи .....	4
1.2. Принципы построения сетей связи .....	4
1.3. Магистральные и зоновые сети связи .....	6
1.4. Городские телефонные сети .....	8
1.5. Сети сельской связи и проводного вещания .....	10
1.6. Интеграция как закономерность развития электросвязи на современном этапе .....	11
1.7. Среды передачи на первичной сети .....	27
1.7.1. Электрические кабели связи .....	27
1.7.2. Стекловолокно .....	29
1.7.3. Инфракрасные лучи .....	29
1.7.4. Радиоволны .....	30
1.7.5. Топология компьютерных сетей .....	30
1.8. Базовые сетевые технологии и их интеграция в транспортной сети .....	36
1.9. Пассивные оптические сети .....	38
1.10. Перспективы развития первичных сетей .....	43
<b>Глава 2. Оптические кабельные линии связи .....</b>	<b>45</b>
2.1. Передача сигналов по волоконно-оптическим линиям связи .....	45
2.2. Активные элементы линии .....	55
2.2.1. Источники излучения .....	55
2.2.2. Характеристики приемников света .....	60
2.2.3. Характеристика оптических усилителей .....	62
2.2.4. Оптические модуляторы .....	63
2.3. Пассивные элементы линии .....	64
<b>Глава 3. Оптические кабели связи .....</b>	<b>79</b>
3.1. Классификация оптических кабелей связи .....	79
3.2. Основные конструктивные элементы ОКС .....	92
3.3. Функциональные свойства оптических волокон .....	97
3.4. Многомодовое оптическое волокно .....	106
3.5. Одномодовое оптическое волокно .....	114
3.6. Оптическое волокно с кварцевой сердцевиной и кварцевой оптической оболочкой .....	124
3.7. Оптическое волокно с кварцевой сердцевиной и полимерной оптической оболочкой .....	129
3.8. Оптическое волокно с сердцевиной и оптической оболочкой из многокомпонентного стекла .....	129
3.9. Оптическое волокно с сердцевиной и оптической оболочкой из полимерного материала .....	130
3.10. Оптическое волокно на основе фотонных кристаллов .....	134
3.11. Оптическое волокно для усилителей .....	140
3.12. Оптические волокна, работающие в средней и дальней инфракрасных областях .....	141

3.13. Изготовление оптических волокон.....	144
<b>Глава 4. Передаточные характеристики оптических волокон.....</b>	<b>151</b>
4.1. Полное внутреннее отражение.....	153
4.2. Числовая апертура и нормированная частота.....	154
4.3. Затухание в оптических волокнах.....	158
4.4. Дисперсия и полоса пропускания оптических волокон.....	167
4.4.1. Межмодовая дисперсия.....	168
4.4.2. Хроматическая дисперсия.....	170
4.4.3. Модовое двулучепреломление.....	185
4.4.4. Поляризационная модовая дисперсия.....	187
4.5. Определение длины участка регенерации.....	200
<b>Глава 5. Нелинейные эффекты в оптических волокнах.....</b>	<b>207</b>
5.1. Общие положения.....	207
5.2. Четырехволновое смешение.....	213
<b>Глава 6. Типы покрытий, элементов и конструкции оптических кабелей.....</b>	<b>223</b>
6.1. Типы покрытий оптических волокон.....	223
6.2. Гидрофобные материалы.....	226
6.3. Оболочки оптических кабелей связи.....	228
6.4. Типы и конструкции оптических кабелей связи.....	231
6.5. Требования, предъявляемые к оптическим кабелям связи.....	233
6.6. Магистральные оптические кабели связи.....	235
6.7. Зоновые оптические кабели связи.....	237
6.8. Оптические кабели ГТС.....	237
6.9. Оптические кабели сельской связи.....	247
6.10. Оптические кабели в конструкциях высоковольтных линий.....	250
6.11. Применение микрокабелей.....	252
6.12. Полевые оптические кабели.....	255
6.13. Оптические кабели внутренней прокладки.....	257
6.14. Кабели оптические судовые.....	270
6.15. Кодировка и маркировка оптических кабелей связи.....	274
<b>Глава 7. Пассивные оптические компоненты.....</b>	<b>288</b>
7.1. Оптические соединители.....	288
7.2. Характеристики промышленных оптических соединителей.....	307
7.3. Другие типы соединителей, розетки, адаптеры.....	319
7.4. Неразъемные соединения.....	321
7.4.1. Соединения плавлением.....	325
7.4.2. Механическое соединение.....	328
<b>Глава 8. Муфты для монтажа оптических кабелей.....</b>	<b>331</b>
8.1. Конструкции муфт для монтажа ОК.....	334
8.2. Комплект деталей защиты сростка.....	335
8.3. Кассеты.....	337
8.4. Примеры конструктивного исполнения муфт.....	338
8.5. Муфты российского производства для монтажа ОК.....	342
8.6. Муфты зарубежного производства для монтажа ОК.....	343
8.7. Кроссовые оптические шкафы.....	345
8.8. Оптические кабельные вставки.....	347
8.9. Методы испытаний.....	350



8.10. Эксплуатационная надежность .....	351
<b>Глава 9. Разветвители, адаптеры, аттенюаторы .....</b>	<b>355</b>
9.1. Разветвители.....	355
9.2. Конструкции оптических разветвителей.....	366
9.3. Применение оптических разветвителей.....	376
9.4. Оптические разветвители-аттенюаторы .....	377
9.5. Оптические разветвители как мультимплексоры и демультимплексоры .....	378
9.6. Аттенюаторы .....	380
9.7. Адаптеры .....	383
9.8. Коммутационные шнуры со смещенным вводом оптического излучения и другие шнуры .....	384
<b>Глава 10. Оптические коммутаторы, изоляторы, циркуляторы, электронные маркеры .....</b>	<b>386</b>
10.1. Оптические коммутаторы .....	386
10.2. Оптические изоляторы.....	395
10.3. Волоконо-оптические циркуляторы .....	399
10.4. Электронные маркеры .....	399
<b>Глава 11. Оптические фильтры, мультиплексоры и волновые конверторы .....</b>	<b>402</b>
11.1. Оптические фильтры .....	402
11.2. Оптические фильтры с мультиплексорами и волновыми конверторами.....	411
11.3. Применение волоконно-оптических фильтров .....	415
11.4. Устройства ввода-вывода , независимые от длины волны. ....	421
11.5. Устройства ввода-вывода, избирательные к длине волны.....	422
<b>Глава 12. Компенсация дисперсии .....</b>	<b>427</b>
12.1. Методы компенсации дисперсии .....	427
12.2. Назначение волокон для компенсации дисперсии .....	429
12.3. Модули компенсации дисперсии.....	433
12.4. Компенсатор поляризационной модовой дисперсии.....	436
12.5. Применение волокна для компенсации дисперсии .....	438
12.6. Компенсация дисперсии в широкой полосе частот .....	445
<b>Глава 13. Измерения волоконно-оптических кабельных линий .....</b>	<b>450</b>
13.1. Измерение затухания.....	456
13.2. Измерение полосы пропускания и дисперсии оптических волокон .....	467
13.3. Измерение числовой апертуры.....	469
13.4. Измерение профиля показателя преломления .....	469
<b>Глава 14. Основы проектирования кабельных линий .....</b>	<b>471</b>
14.1. Организация проектирования кабельных линий.....	471
14.2. Этапы проектирования .....	472
14.3. Оптимизация методов проектирования линий и сетей связи .....	476
14.4. Системы автоматизированного проектирования линейных сооружений связи .....	478
14.5. Рабочие чертежи.....	479
14.6. Основные положения проектирования подсистемы кабельных магистралей.....	480

14.7. Расположение абонентов на территории города и выбор места расположения станции .....	481
14.8. Выбор емкости шкафа и проектирование распределительной сети ГТС .....	482
14.9. Проектирование магистральной кабельной сети канализации ГТС.....	485
14.10. Многоканальные соединительные линии ГТС .....	485
14.11. Перспективы развития методов проектирования сетей ГТС .....	486
14.12. Выбор системы передачи, типа линии связи, кабеля и трассы строительства.....	487
14.13. Определение мест установки ОУ и длин регенерационных участков кабельных магистралей.....	489
<b>Глава 15. Основы строительства волоконно-оптических кабельных линий .....</b>	<b>490</b>
15.1. Подготовка к строительству .....	491
15.2. Прокладка оптического кабеля.....	492
15.2.1. Прокладка оптического кабеля в грунт .....	492
15.2.2. Прокладка ОК в кабельной канализации .....	499
15.3. Подвеска волоконно-оптического кабеля .....	503
15.4. Измерения в процессе строительства ВОЛС.....	512
15.4.1. Входной контроль оптических волокон .....	513
15.4.2. Измерения, проводимые в процессе прокладки ОК.....	515
15.4.3. Измерения, выполняемые в процессе монтажа ОК.....	517
15.4.4. Измерения на смонтированном регенерационном участке ВОЛС.....	519
15.4.5. Приемосдаточные измерения .....	519
<b>Глава 16. Основы технической эксплуатации волоконно-оптических линий связи .....</b>	<b>521</b>
16.1. Основные задачи и организация технической эксплуатации .....	521
16.2. Охрана кабельных линий связи .....	523
16.3. Техническое обслуживание и профилактика КЛС .....	523
16.4. Контроль за техническим состоянием КЛС .....	524
16.5. Ремонт и реконструкция КЛС .....	526
16.6. Вопросы эксплуатации ВОЛС.....	528
16.6.1. Общие вопросы эксплуатации ВОЛС .....	528
16.6.2. Эксплуатационный контроль параметров и характеристик ВОЛС .....	529
16.6.3. Аварийно-восстановительные работы на ВОЛС.....	531
16.7. Дистанционный контроль и мониторинг ВОЛС .....	536
16.8. Основные задачи мониторинга ВОЛС .....	537
Список литературы.....	538