

УДК 621.315.21
ББК 32.845.6
С30

Семенов А. Б.

С30 Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / Семенов А. Б. — М.: Академия АйТи; ДМК Пресс. — 632 с., 2017, ил.

ISBN 978-5-97060-442-7

В книге даются общие сведения о структурированных кабельных системах и о функциональных возможностях волоконно-оптической подсистемы структурированной проводки. Проведено обоснование областей применения оптической подсистемы и выбора параметров волокон линейных кабельных изделий. Представлены характеристики и конструктивные особенности одномодовых и многомодовых волоконных световодов и оптических кабелей на их основе, коммутационных панелей и розеток, шнуровых изделий и прочего оборудования различного назначения, используемого в процессе построения оптических трактов передачи информации. Затронуты вопросы выбора проектирования магистральных оптических подсистем и проводки на уровне горизонтальной подсистемы, описаны процедуры строительства и измерений, а также рассмотрены используемые при этом технологические и измерительные приборы.

Представленный материал базируется на практическом опыте реализации волоконно-оптических подсистем СКС и рассчитан на довольно широкий круг читателей — от студентов и слушателей курсов СКС до монтажников, сотрудников проектных отделов и технических специалистов.

УДК 621.315.21
ББК 32.845.6

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-97060-442-7

© Семенов А. Б. и др.

© Оформление. издание, ДМК Пресс

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	9
ВВЕДЕНИЕ	11
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СКС И ЕЕ ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЕ	26
1.1. Структура СКС	26
1.1.1. Подсистемы СКС	26
1.1.2. Технические помещения	28
1.1.3. Топология СКС	30
1.1.4. Кабели СКС	32
1.2. Категории оптических волокон, классы и предельные длины оптических кабельных трактов	34
1.2.1. Классы кабельных трактов и категории волокон	34
1.2.2. Ограничения на длины кабелей и шнуров оптической подсистемы СКС	38
1.2.3. Разновидности стационарных линий и трактов передачи оптической подсистемы	40
1.2.4. Особенности нормирования параметров оптических трактов СКС	41
1.3. Администрирование СКС	46
1.3.1. Варианты администрирования	46
1.3.2. Схемы коммутации в СКС	47
1.3.3. Волоконно-оптические кабельные системы с централизованным администрированием	48

1.4. Проблема «поляжности» оптических трактов передачи и способы ее решения	50
1.4.1. Выбор схемы построения оптических кабельных трактов СКС	51
1.4.2. Мероприятия по обеспечению правильной поляжности стандартных оптических трактов	54
1.4.3. Особые случаи построения проводки	55
1.5. Область применения оптической подсистемы СКС	56
1.5.1. Постановка задачи	56
1.5.2. Схема расчета и расчетная модель	58
1.5.3. Пропускная способность тракта передачи на основе витой пары	61
1.5.4. Оценка степени влияния теплового шума на пропускную способность тракта	64
1.5.5. Стоимостные характеристики различных вариантов построения трактов передачи	65
1.6. Выводы	67

ГЛАВА 2. ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ ПО ВОЛОКОННЫМ СВЕТОВОДАМ

2.1. Распространение излучения в волоконных световодах и их типы	69
2.1.1. Принцип действия волоконного световода, его числовая апература и моды излучения	69
2.1.2. Френелевские отражения	72
2.1.3. Типы волоконных световодов	73
2.1.4. Геометрические параметры волокон	75
2.1.5. Варианты возбуждения многомодовых волокон	77
2.2. Дисперсия одномодовых световодов	79
2.2.1. Явление дисперсии оптического излучения в волоконных световодах ...	79
2.2.2. Разновидности дисперсии	80
2.2.3. Разновидности одномодовых световодов по дисперсионным параметрам	82
2.3. Дисперсия многомодовых световодов	84
2.3.1. Межмодовая дисперсия	84
2.3.2. Дифференциальная модовая задержка	86
2.3.3. Коэффициент широкополосности, его связь с дисперсией и оценка потенциальной пропускной способности многомодовых световодов	88
2.3.4. Дисперсионный штраф по мощности	90

2.4. Затухание сигналов в световодах	94
2.4.1. Механизмы возникновения потерь	94
2.4.2. Окна прозрачности и спектральные диапазоны	97
2.4.3. Выбор типа многомодового волокна для применения в оптических кабелях СКС	99
2.5. Особенности передачи цифровой информации по оптическим трактам СКС	102
2.5.1. Линейные коды оптической сетевой аппаратуры	103
2.5.2. Системы со спектральным разделением оптических каналов	107
2.6. Выводы	109
ГЛАВА 3. ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СКС	111
3.1. Система международной стандартизации оптических волокон	111
3.1.1. Общие положения	111
3.1.2. Геометрические параметры	114
3.1.3. Механические параметры	115
3.1.4. Передаточные параметры	116
3.1.5. Параметры стойкости к воздействиям окружающей среды	117
3.2. Принцип нормирования параметров и особенности конструкции волокон для кабелей СКС	120
3.2.1. Нормирование параметров	120
3.2.2. Широкополосные многомодовые световоды для работы с лазерными передатчиками	124
3.2.3. Градации широкополосного многомодового волокна по дисперсионным параметрам	132
3.3. Световоды со специальными свойствами по оптическим и механическим параметрам	135
3.3.1. Мномодовые оптические волокна со смещенной полосой нормирования параметров	135
3.3.2. Световоды с расширенным спектральным диапазоном нормирования параметров	136
3.3.3. Волокна проекта категории OS2	139
3.3.4. Специализированные волокна для коммутационных шнуров	140

3.4. Защитные покрытия	141
3.4.1. Первичные защитные покрытия	141
3.4.2. Вторичные защитные покрытия	143
3.5. Выводы	147
ГЛАВА 4. ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ	150
4.1. Общие положения	150
4.1.1. Области применения, классификация и требования к оптическим кабелям СКС	150
4.1.2. Нормируемые параметры	152
4.1.3. Принцип конструктивной однородности	153
4.2. Кабели внешней прокладки	154
4.2.1. Технические требования к конструкции	154
4.2.2. Конструктивные особенности различных видов кабелей внешней прокладки	154
4.2.3. Упрочняющие покрытия и элементы	158
4.2.4. Средства обеспечения влагостойкости	162
4.2.5. Прочие элементы конструкции	165
4.3. Магистральные кабели внутренней прокладки и их разновидности	166
4.3.1. Технические требования к конструкции	166
4.3.2. Кабели для применения в подсистеме внутренних магистралей офисных зданий	166
4.3.3. Кабели внутренней прокладки промышленного назначения	170
4.3.4. Кабели для соединения зданий	171
4.4. Кабели для применения на нижних уровнях СКС и кабели для шнуров	174
4.4.1. Кабели для применения на нижних уровнях СКС	174
4.4.2. Кабели для шнуров	175
4.5. Комбинированные кабели	180
4.5.1. Общие положения	180
4.5.2. Комбинированные конструкции с витой парой	181
4.5.3. Комбинированные оптические кабели	182
4.5.4. Прочие разновидности комбинированных кабелей	183

4.5.5. Перспективы применения комбинированных кабелей в технике СКС	184
4.6. Цветовая кодировка и символьная маркировка оптических кабелей	185
4.6.1. Цветовая кодировка	185
4.6.2. Символьная маркировка кабельной продукции	189
4.7. Упаковка оптической кабельной продукции	190
4.7.1. Разновидности упаковки	190
4.7.2. Маркировка кабельных барабанов	191
4.8. Выводы	192
ГЛАВА 5. ОПТИЧЕСКИЕ РАЗЪЕМЫ	194
5.1. Общие положения	195
5.1.1. Назначение и основные требования	195
5.1.2. Цветовая кодировка корпусных элементов	198
5.1.3. Основные схемы реализации	199
5.1.4. Система международной стандартизации оптических разъемов	203
5.2. Параметры оптических разъемов	203
5.2.1. Вносимые потери	203
5.2.2. Схема физического контакта в оптических разъемах	205
5.2.3. Принцип отнесения потерь	206
5.2.4. Обратные отражения	208
5.3. Основные компоненты оптических разъемов и их конструктивные особенности	210
5.3.1. Наконечники вилок	211
5.3.2. Элементы защиты от вращения цилиндрических наконечников и неправильного подключения вилок	214
5.3.3. Элементы и способы крепления вилки к кабелю	215
5.3.4. Хвостовики вилок	218
5.3.5. Розетки	219
5.3.6. Защитные колпачки и крышки	223
5.3.7. Методы уменьшения потерь в оптических разъемах	225
5.4. Разъемы с обычной плотностью конструкции	228
5.4.1. Разъемы типа SC	228

5.4.2. Разъемы типа ST	231
5.4.3. Разъемы типа FC	234
5.4.4. Разъемы типа MIC и ESCON	235
5.4.5. Разъемы типа SMA	238
5.4.6. Разъемы типа DIN	239
5.5. Разъемы с увеличенной плотностью конструкции	239
5.5.1. Конструкции с наконечниками диаметром 1,25 мм	240
5.5.2. Малогабаритные разъемы с наконечниками диаметром 2,5 мм	245
5.5.3. Разъемы группового типа	250
5.5.4. Конструкции без центрирующего наконечника	252
5.6. Элементы разъемов специального назначения	254
5.6.1. Переходные розетки	257
5.6.2. Адаптеры на обнаженное волокно	259
5.6.3. FM-адаптер	263
5.6.4. Атенюаторы	264
5.6.5. Терминаторы	266
5.6.6. Вилки-перемычки	267
5.6.7. MCP-адаптеры	269
5.6.8. Мини-пигтейлы	270
5.7. Установка и монтаж элементов оптических разъемов	271
5.7.1. Особенности монтажа оптических разъемов в технике СКС	271
5.7.2. Формы исполнения элементной базы оптических разъемов	272
5.7.3. Клеевые и механические методы фиксации волокна в наконечнике	273
5.7.4. Иммерсионные разъемы	276
5.7.5. Технологии механического и сварного сращивания	278
5.8. Выводы	281
ГЛАВА 6. КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	283
6.1. Общие положения	283
6.1.1. Назначение	283
6.1.2. Технические требования	284
6.1.3. Конструктивные особенности	285
6.1.4. Варианты организации внутренней разводки	292

6.2. Коммутационное оборудование стоечного типа	293
6.2.1. Коммутационные полки с фиксированным корпусом	294
6.2.2. Коммутационные полки с подвижным корпусом	295
6.2.3. Другие разновидности пассивного оптического коммутационного оборудования стоечного типа	296
6.3. Настенные муфты	298
6.3.1. Классические конструкции	298
6.3.2. Особенности конструктивного исполнения	299
6.3.3. Специальные конструкции	300
6.4. Информационные розетки	301
6.4.1. Общие положения	301
6.4.2. Классические конструкции	302
6.4.3. Розетки мультимедиа	304
6.4.4. Многопортовые розетки абонентского уровня	306
6.5. Выводы	307

ГЛАВА 7. ШНУРОВЫЕ И ПРЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ

308

7.1. Шнуровые изделия общего назначения	308
7.1.1. Коммутационные и оконечные шнуры	309
7.1.2. Монтажные шнуры	311
7.1.3. Многоволоконные монтажные и разветвительные шнуры	313
7.2. Шнуровые изделия специального назначения	314
7.2.1. МСР-шнуры	314
7.2.2. Шнуры-аттенюаторы	317
7.3. Претерминированные кабельные изделия	317
7.3.1. Претерминированные сборки и полки	318
7.3.2. Кабельные вставки	321
7.4. Шнуровые и кабельные изделия для выполнения измерений	323
7.4.1. Нормализующие катушки	323
7.4.2. Устройства оперативного подключения	324
7.5. Выводы	325

ГЛАВА 8. ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	327
8.1. Системы пневматической прокладки	327
8.1.1. Общие положения	327
8.1.2. Техничко-экономические параметры систем пневматической прокладки	329
8.1.3. Система Blolite	330
8.1.4. Системы Sirocco и FutureFlex	334
8.1.5. Система RibboNet	338
8.1.6. Микрокабели пневматической прокладки производителей кабельной продукции	340
8.1.7. Система JetNet	342
8.2. Системы интерактивного управления и средства активной идентификации для оптической подсистемы	343
8.2.1. Системы интерактивного управления	343
8.2.2. Системы активной идентификации соединений	347
8.2.3. Системы идентификации активных портов	348
8.3. Решения модульно-кассетного типа	349
8.3.1. Концепция создания и преимущества модульно-кассетных решений	352
8.3.2. Кассеты и их разновидности	353
8.3.3. Конструктивные особенности претерминированных сборок	358
8.3.4. Области и особенности применения	361
8.4. Оборудование и элементы для восстановления защитных покрытий кабелей и оптических волокон	363
8.4.1. Промежуточные муфты для подсистемы внешних магистралей	363
8.4.2. Элементы восстановления вторичного защитного покрытия	367
8.4.3. Элементы защиты сварного сростка	368
8.5. Компоненты для организации кабельных изделий оптической подсистемы СКС	371
8.5.1. Организаторы шнуров	371
8.5.2. Системы кабельных каналов для прокладки волоконно-оптических кабелей и шнуров	371
8.6. Выводы	373

ГЛАВА 9. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ СВЕТОВОДОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ СКС	375
9.1. Общие положения	376
9.1.1. Оптические и эксплуатационные характеристики полимерных световодов	376
9.1.2. Разновидности полимерных световодов	378
9.2. Элементная база техники связи по полимерным волокнам	380
9.2.1. Системные решения и коммутационное оборудование	380
9.2.2. Кабельные изделия	381
9.2.3. Оптические разъемы	383
9.3. Сетевое оборудование различных стандартов и тестирующие приборы	387
9.3.1. Дальность связи и скорость передачи информации	387
9.3.2. Активное оборудование и тестирующие приборы	388
9.4. Выводы	390
ГЛАВА 10. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СРАЩИВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН	392
10.1. Общие положения	392
10.2. Устройства скола волокна	393
10.2.1. Принцип действия механического скалывателя	393
10.2.2. Кинематические схемы механических скалывателей	394
10.2.3. Дополнительные сервисные возможности	396
10.3. Сварочные аппараты	398
10.3.1. Общие положения	398
10.3.2. Принцип действия	399
10.3.3. Разновидности сварочных аппаратов	400
10.3.4. Методы юстировки световодов и оценки потерь в ссостке	401
10.3.5. Конструктивные особенности	405
10.3.6. Малогабаритные сварочные аппараты	409
10.4. Механические неразъемные соединители	410
10.4.1. Назначение, параметры и области применения	410

10.4.2. Конструктивные особенности	411
10.5. Выводы	415
ГЛАВА 11. ИЗМЕРЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЕ СКС	416
11.1. Общие положения	416
11.1.1. Назначение и виды измерений	416
11.1.2. Контролируемые параметры	417
11.1.3. Объекты тестирования	420
11.1.4. Оптические измерительные приборы и области их применения в СКС	422
11.1.5. Принципы выполнения измерений затухания оптических линий и компонентов СКС	425
11.1.6. Документирование результатов измерений	427
11.2. Определение затухания с помощью измерителей оптических потерь	428
11.2.1. Общие положения	428
11.2.2. Принцип вынесенного интерфейса	429
11.2.3. Метод вносимых потерь и его канонические разновидности	430
11.2.4. Метод сопряжения волокон	435
11.2.5. Метод обрыва	436
11.2.6. Дополнительные требования к измерителю оптических потерь	437
11.2.7. Принципы подключения измерителя к контролируемому объекту	440
11.3. Особенности применения метода вносимых потерь при измерениях комплексных объектов СКС и их компонентов	445
11.3.1. Работа со шнуровыми изделиями	445
11.3.2. Согласование типов разъемов	449
11.3.3. Особенности задания опорного значения при работе с двухканальными измерительными приборами	450
11.3.4. Тестирование объектов с оптическим интерфейсом MT-RJ двухканальными измерительными приборами	451
11.3.5. Тестирование объектов с оптическим интерфейсом MT-RJ одноканальным измерительным прибором	454
11.4. Приборы для верификации линий и компонентов оптической подсистемы СКС	455

11.4.1. Оптические тестеры	455
11.4.2. Прочие разновидности верифицирующего измерительного оборудования	457
11.5. Приборы для сертификации линий оптической подсистемы СКС	458
11.5.1. Автоматические измерители	458
11.5.2. Приставки к кабельным сканерам	459
11.6. Рефлектометрические измерения	460
11.6.1. Метод обратного рассеяния	460
11.6.2. Оптические рефлектометры	461
11.6.3. Рефлектограмма и основные принципы ее анализа	463
11.6.4. Конструкция импульсных рэлеевских рефлектометров и их функциональные возможности	466
11.6.5. Особенности рефлектометров для применения в области СКС и ЛВС	469
11.7. Приборы и устройства для визуального контроля	470
11.7.1. Микроскопы	471
11.7.2. Контрольные оптические микроскопы	475
11.7.3. Телевизионные микроскопы	477
11.7.4. Визуализаторы дефектов	480
11.7.5. Дополнительные функциональные возможности визуализатора	486
11.8. Выводы	487
ГЛАВА 12. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ АКТИВНОЕ СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНИКЕ СКС	490
12.1. Оборудование ЛВС инсталляционного типа	492
12.1.1. Общие принципы построения инсталляционных устройств	492
12.1.2. Особенности реализации оптических портов	497
12.1.3. Инсталляционные микроконцентраторы и микрокоммутаторы	500
12.1.4. Особенности электропитания инсталляционных устройств	502
12.1.5. Экономические аспекты применения инсталляционных приборов	503
12.2. Оборудование ЛВС неинсталляционного типа	505
12.2.1. Общие положения	505
12.2.2. Устройства для применения на рабочих местах пользователей	508

12.2.3. Устройства для установки в технических помещениях	511
12.2.4. Дополнительные сервисные возможности	514
12.3. Прочие активные оптические сетевые устройства	516
12.3.1. Системы открытой оптической связи	516
12.3.2. Кабельные сборки активного типа	518
12.4. Выводы	519

ГЛАВА 13. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТРАКТОВ РАЗЛИЧНЫХ ПОДСИСТЕМ СКС

13.1. Схемы соединения групповых устройств основных разновидностей сетевого оборудования и их потребности в ресурсах кабельных трактов СКС	521
13.1.1. Оборудование ЛВС	522
13.1.2. Оборудование УПАТС	524
13.1.3. Потребность в ресурсах кабельных трактов СКС сетевого оборудования с волоконно-оптическим интерфейсом	524
13.2. Принципы выбора типа и категории волокон магистральных кабелей	527
13.2.1. Общие положения	527
13.2.2. Область применения одномодовых оптических кабелей	528
13.2.3. Выбор типа волокна для организации коротких магистральных линий	529
13.2.4. Область применения волокон категории OM1	531
13.2.5. Рекомендованные области применения волокон различных типов	535
13.3. Принципы выбора проектных решений при построении магистральных оптических линий	536
13.3.1. Выбор трасс прокладки	536
13.3.2. Особенности проектирования линейной части подсистемы внешних магистралей	536
13.4. Расчет линейных оптических кабелей магистральных подсистем	538
13.4.1. Расчет емкости и количества кабелей подсистемы внутренних магистралей	538
13.4.2. Обоснование выбора емкости кабелей подсистемы внешних магистралей	540

13.4.3. Выбор конструктивного исполнения кабелей подсистемы внешних магистралей	541
13.4.4. Определение величины расхода кабелей, затрачиваемого на реализацию подсистемы внешних магистралей	542
13.5. Особенности построения оптической проводки на пользовательском уровне	543
13.5.1. Выбор типа ОВ линейных кабелей	543
13.5.2. Определение величины расхода линейного кабеля	546
13.6. Расчет оптических параметров тракта передачи информации	546
13.6.1. Оценка ширины полосы пропускания многомодового оптического тракта	547
13.6.2. Оценка величины затухания оптического тракта	548
13.6.3. Расчет предельной длины многомодового тракта	549
13.7. Определение нагрузок, действующих на кабель в процессе его затягивания в каналы кабельной канализации, и способы их минимизации	557
13.7.1. Разновидности нагрузок	557
13.7.2. Расчет ожидаемого усилия тяжения	562
13.7.3. Методы уменьшения усилия тяжения	565
13.8. Проектирование коммутационного поля в технических помещениях	568
13.8.1. Общие положения	568
13.8.2. Расчет коммутационного оборудования	568
13.8.3. Расчет аксессуаров коммутационного оборудования и шнуровых изделий	573
13.9. Обеспечение надежности магистральных трактов передачи информации	574
13.9.1. Организационные и проектные мероприятия	574
13.9.2. Резервирование в СКС	575
13.10. Оценка целесообразности применения разветвительной муфты при построении оптических линий подсистемы внешних магистралей	579
13.11. Выводы	583

ГЛАВА 14. СРОИТЕЛЬСТВО ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ СКС	586
14.1. Общие положения	586
14.1.1. Задачи и особенности строительства	586
14.1.2. Подготовительные работы	587
14.1.3. Транспортировка и хранение оптических кабелей	587
14.1.4. Техника безопасности и охрана труда при проведении монтажных работ	588
14.2. Прокладка оптических кабелей подсистемы внешних магистралей	590
14.2.1. Общие положения	590
14.2.2. Прокладка оптических кабелей в кабельную канализацию	592
14.2.3. Прямая прокладка кабеля в грунт	593
14.3. Прокладка оптических кабелей внутри здания	597
14.3.1. Общие положения	597
14.3.2. Особенности прокладки по различным видам каналов	598
14.3.3. Крепление кабелей	598
14.4. Монтаж элементов оптических разъемов на линейных кабелях	599
14.4.1. Подготовительный этап монтажа	599
14.4.2. Основной этап монтажа	601
14.5. Выводы	602
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	603
ГЛОССАРИЙ	607
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	615