

А.Б. Семенов

Волоконно-оптические подсистемы современных СКС



Москва, 2007

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, 2006. — 632 с., ил.

ISBN 5-98453-025-0

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 5-98453-025-2 (АйТи)

© Семенов А. Б., 2006
© Академия АйТи, 2006
© Оформление, издание ДМК Пресс, 2006

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 «поляризации» 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 поляризации 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

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. Многомодовые 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. MCP-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 сростке	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

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

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

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

CWDM	Coarse wavelength division multiplexing	Неплотное спектральное разделение
DSF-волокно	dispersion shifted fiber	Волокно со смещенной дисперсией
DWDM	Dense wavelength division multiplexing	Плотное спектральное разделение
EIA	Electronic Industries Alliance	Ассоциация изготовителей электронного оборудования
ETSI	European Telecommunication Standard Institut	Европейский институт стандартизации в области электросвязи
FTTD	Fibre to the desk	Волокно до рабочего места
FTTH	Fibre to the home	Волокно до здания
FTTO	Fibre to the office	Волокно до офиса (комнаты)
ITU	International Telecommunication Union	Международный союз электросвязи
JIS	Japanise Industrial Standard	Японский промышленный стандарт
MCP-шнур	mode condition patch-cord	Волоконно-оптический шнур со смещением от оси волокна точки ввода оптического излучения
MM	Multimode	Многомодовый
NZDSF-волокно	non-zero dispersion shifted fiber	Оптическое волокно с нулевой смещенной дисперсией
SFF	Small Form Factor	Малогабаритный оптический разъем
SM	Singlemode	Одномодовый
TIA	Telecommunications Industry Assotiation	Ассоциация изготовителей телекоммуникационного оборудования

ГТС	Городская телефонная сеть
ЖК	Жидкокристаллический
ИВС	Информационно-вычислительная система
ИК	Инфракрасный
ИР	Информационная розетка
ИТ	Информационная технология
КДЗС	Комплект деталей защиты сростка (волоконных световодов)
ЛВС	Локальная вычислительная сеть
МЭК	Международная электротехническая комиссия
ОВ	Оптическое волокно
ОК	Оптический кабель
ОР	Оптический разъем
ПВХ	Поливинилхлорид
ПК	Персональный компьютер
ПО	Программное обеспечение
ПОВ	Полимерное оптическое волокно
ПЭ	Полиэтилен
СД	Светодиод
СКС	Структурированная кабельная система
ТУ	Технические условия
УЗК	Устройство заготовки каналов
УПАТС	Учрежденческо-производственная автоматическая телефонная станция
УФ	Ультрафиолетовый

Современный этап развития индустриального общества характеризуется стремительным возрастанием степени автоматизации офисных зданий и промышленных предприятий различного назначения. Этот процесс влечет за собой появление новых информационных сервисов и совершенствование традиционных, что сопровождается бурным увеличением объемов информации самого разнообразного вида, передаваемой по каналам связи ИВС предприятия. В этих условиях традиционные линии, тракт которых реализован с использованием коаксиальных кабелей и кабелей на основе витых пар, быстро приходят к пределу своей пропускной способности. Естественным выходом из сложившейся ситуации является массовое использование волоконно-оптической техники, которая позволяет создать существенно более широкополосный канал связи с достаточной для рассматриваемой области протяженностью.

Начиная с 90-х гг. прошлого столетия стандартом «де-факто» стала реализация пассивной части физического уровня ИВС предприятия в форме структурированной кабельной проводки. Действующие редакции международных, европейского и американского стандартов СКС допускают на равных правах использование при реализации конкретного проекта витопарной и оптической элементной базы. В настоящее время главенствующую роль в подавляющем большинстве проектов закономерным образом играют решения, реализуемые на базе кабелей из витых пар. Однако рост масштабов СКС, характерный для рубежа тысячелетий, а также массовое внедрение приложений с гигабитными и мультигигабитными скоростями передачи информации стимулируют ускоренные темпы внедрения волоконно-оптической техники в эту область информационных технологий. Результаты маркетинговых исследований показывают, что в общем объеме элементной базы, затрачиваемой на реализацию типового проекта, доля оптических компонентов достигает в денежном выражении в некоторых случаях 20% и на протяжении последних нескольких лет имеет в среднем устойчивую тенденцию к росту.

Закономерным результатом перечисленных выше тенденций является то, что оптическая техника связи перестала быть уделом немногочисленной группы элитарных специалистов и становится продукцией массового использова-

ния. Однако, несмотря на все достижения техники, волоконно-оптическая элементная база остается продуктом высоких технологий, и работа с ней требует от инженерно-технического персонала соответствующего уровня квалификации. Подготовка таких специалистов немыслима без наличия специальной технической литературы.

К настоящему времени из печати вышло значительное количество работ на русском языке, в которых рассмотрены различные теоретические и практические проблемы, возникающие в процессе разработки элементной базы, выполнения расчетов ожидаемых параметров, строительства и последующей эксплуатации волоконно-оптических систем связи в широком смысле этого термина и их линейных сооружений в частности. Однако известные автору книги и статьи в подавляющей своей массе посвящены вопросам, касающимся волоконно-оптических линий, которые строятся в процессе развития сети связи общего пользования или же эксплуатируются в составе ведомственных и крупных корпоративных сетей. Информация, относящаяся к проблемам, возникающим и решаемым в процессе проектирования, построения и последующей реализации оптической части структурированной проводки, представлена в форме разделов книг по СКС (в подавляющем большинстве небольших, исключением на фоне основной массы монографий выглядит работа [313]) и разбросана по немногочисленным журнальным публикациям. Такое положение дел представляется вполне естественным и является адекватным той доле, которая волоконно-оптическая подсистема занимает сейчас в проекте СКС, однако совершенно не соответствует темпам роста популярности оптических решений и тому месту, которое волоконно-оптическая техника имеет уже сейчас и тем более будет играть в самом ближайшем будущем.

Совокупность описанных обстоятельств приводит к тому, что потребность в литературе, в систематизированном виде раскрывающей основные принципы построения волоконно-оптической части структурированной проводки и сопутствующей ей инфраструктуры, начинает ощущаться достаточно остро.

Целью передаваемой в руки читателей работы является попытка комплексного решения с единых позиций по крайней мере части проблем, с которыми сталкиваются инженерно-технический персонал, сотрудники проектных отделов и отделов продаж в процессе своей повседневной деятельности в области оптической подсистемы структурированной проводки. Автор не впервые обращается к данной теме. На протяжении последних пяти лет им был написан цикл статей в журналах «LAN», «Вестник связи» и «Фотон-Экспресс». В систематизированном виде проблемы техники оптической связи на уровне ИВС предприятия рассматривались в опубликованной в 1998 г. монографии [1], в которой целенаправленно затрагивался ряд вопросов, относящихся к технике СКС. Фокусной аудиторией этой работы были выбраны специалисты по ЛВС. Книга была хорошо встречена читателями, а ее тираж был достаточно быстро распродан. Однако потребность в такой узкоспециализированной тех-

нической литературе сохранилась, о чем свидетельствуют постоянные запросы о приобретении указанной книги. Одновременно обсуждение монографии с читателями и поступающие по различным каналам отзывы показали, что стремительное развитие как самой волоконно-оптической техники, так и компьютерных технологий требует адекватного достигнутому техническому уровню отражения в новом издании. Принимая во внимание эти обстоятельства и с учетом новых реалий имеющийся материал был радикально переработан и дополнен. Можно констатировать, что объем внесенных изменений оказался настолько велик, что привел к появлению фактически новой книги. Большой объем внесенных изменений учтен, в частности, при выборе названия работы. Кроме того, с учетом ясно обозначившейся в отрасли специализации была несколько скорректирована целевая аудитория читателей, которыми считаются преимущественно специалисты по структурированным кабельным системам.

Основой материала, выносимого на суд читателей, является опыт, накопленный автором:

- в процессе выполнения опытно-конструкторских и проектных работ в отраслевых НИИ Министерства связи и Министерства радиопромышленности (в период с 1977 по 1995 г.);
- во время работы с СКС SYSTIMAX (в 1995–1997 гг.);
- при выполнении ряда проектов построения информационно-вычислительных систем, реализованных департаментом сетевых технологий компании АйТи;
- в процессе создания, развития и продвижения первой российской структурированной кабельной системы АйТи-СКС (начиная с 1996 г.);
- при чтении курсов подготовки сертифицированных инженеров АйТи-СКС (в 1996–1998 гг.) и проектирования кабельных систем (начиная с 2001 г.) в Академии АйТи.

Использовалась также информация, почерпнутая из монографий отечественных и иностранных авторов, русскоязычных и зарубежных периодических изданий, материалы семинаров и Интернет-ресурсы производителей СКС и волоконно-оптической техники. Часть положений была выработана в результате многочисленных официальных и неофициальных дискуссий о проблемах оптической техники преимущественно к ЛВС и структурированной проводке.

Монография в своей содержательной части состоит из четырнадцати глав.

В первой главе, которая носит вспомогательный характер, даны основные сведения о структуре СКС и базовых ограничениях стандартов на длины кабельных трактов различных подсистем. Определены принципы администрирования проводки и правила коммутации отдельных стационарных линий. Показано, что на допустимую длину тракта наряду с областью применения

заметное влияние оказывает также тип поддерживаемого приложения. Обоснована основная область применения оптической техники в СКС.

Вторая глава посвящена процессам, происходящим во время передачи оптического излучения по волоконному световоду, и основным особенностям оптического волокна как направляющей системы электромагнитных колебаний. Учет данных особенностей позволяет оптимизировать конструкцию сетевой аппаратуры и увеличить эффективность реализации структурированной проводки как технического объекта.

В третьей главе представлены система международной стандартизации оптических волокон и ее связь со стандартами СКС. Рассмотрены конструктивные особенности широкополосных многомодовых волокон для работы с лазерными передатчиками. Обсуждаются первичные и вторичные защитные покрытия световодов, которые обеспечивают им необходимый уровень эксплуатационной надежности.

В четвертой главе рассмотрены оптические кабели, применяемые для построения линейной части отдельных подсистем структурированной проводки и изготовления различных шнуровых изделий, в том числе их конструктивные особенности, области применения, принципы кодировки и маркировки.

В пятой главе выполнен анализ параметров и особенностей технической реализации оптических разъемов как второго, наряду с оптическими кабелями, важнейшего составного компонента оптического тракта передачи. Наряду с классическими разъемами SC и ST рассмотрены перспективные разработки малогабаритных изделий. Отдельно приведены данные по компонентам специального назначения, которые существенно расширяют функциональные возможности структурированной проводки и конструктивно оформлены в виде элементов разъемного соединителя волокон.

Темой шестой главы является оптическое коммутационное оборудование, предназначенное для установки в технических помещениях различного уровня и на рабочих местах пользователей.

В седьмой главе рассмотрены шнуровые и претерминированные изделия общего и специального назначения, используемые в процессе построения и эксплуатации оптической подсистемы СКС.

Восьмая глава посвящена дополнительному оборудованию, применение которого ускоряет отдельные этапы строительства оптической подсистемы структурированной проводки, делает процесс ее эксплуатации более удобным, а саму систему — более надежной.

В девятой главе рассмотрены технические характеристики полимерного оптического волокна и его особенности как среды передачи. Обсуждаются перспективы применения полимерных световодов для построения оптических подсистем СКС.

Технологическому оборудованию, используемому в процессе построения оптических подсистем СКС, посвящена десятая глава. В ней рассматриваются

инструменты и приспособления, применяемые в процессе оконцевания световодов вилками оптических разъемов и сращивания волокон в промежуточных муфтах.

Темой одиннадцатой главы является измерение параметров оптических трактов СКС и отдельных их компонентов на разных стадиях строительства и эксплуатации кабельной системы. Обсуждаются методы тестирования и технические особенности реализующих их измерительных приборов.

В двенадцатой главе рассмотрено активное сетевое оборудование с оптическим интерфейсом, включаемое некоторыми производителями СКС в состав поставляемого ими продукта.

Темой тринадцатой главы являются вопросы проектирования оптических кабельных трактов и коммутационного оборудования СКС на уровне горизонтальной и магистральных подсистем на телекоммуникационной стадии. В перечень рассматриваемых вопросов включены сведения о выборе конструктивного оформления отдельных компонентов тракта передачи.

Некоторые аспекты монтажа оптической подсистемы СКС рассмотрены в четырнадцатой главе.

Для облегчения работы над текстом книги в нее введен глоссарий с толкованием основных терминов, использованных в процессе изложения материала.

Автор приводит также достаточно обширный перечень специальной литературы, относящейся к теме данной монографии. Это позволит читателю углубить свои знания, обратившись к оригиналам использованных в работе первоисточников.

Книга адресуется широкому кругу специалистов, деятельность которых тем или иным образом связана с проектированием, реализацией и эксплуатацией волоконно-оптических подсистем структурированной проводки.

Работа ориентирована преимущественно на сотрудников проектных и инсталляционных отделов системных интеграторов, которые по роду своей деятельности тем или иным образом связаны с проектированием и практической реализацией проектов кабельной проводки. Автор надеется, что приводимая в монографии информация может представить интерес для сотрудников технических отделов организаций, занимающихся эксплуатацией СКС. Возможно, она окажется полезной для широкого круга специалистов, интересующихся принципами построения структурированной проводки и ее оптической подсистемы, а также различными аспектами применения волоконно-оптической техники для решения задач передачи информации.

Автор книги надеется, что ее содержание поможет читателям как в плане приобретения новых специальных знаний, так и в плане расширения кругозора. Студенты профильных высших и средних специальных учебных заведений, а также слушатели факультетов повышения квалификации высшей школы и учебных центров негосударственного послевузовского образования смогут использовать книгу в качестве учебного пособия в процессе изучения курсов ли-

ний связи, компьютерных сетей и аналогичных им дисциплин, а также выполнения зачетных работ вплоть до написания курсовых и дипломных проектов.

Уровень сложности при изложении материала рассчитан на специалиста, который:

- имеет высшее или среднее специальное профильное образование и владеет базовыми знаниями в области передачи и обработки информации;
- знаком с элементной базой, правилами построения кабельных трактов различного вида и стандартами СКС;
- прошел обучение основам техники структурированных кабельных систем в объеме краткосрочных фирменных курсов производителя СКС.

Одной из проблем, с которой неизбежно сталкивается любой автор, пишущий практически на любую тему построения и эксплуатации структурированной проводки (за исключением, может быть, маркетинговых аспектов этой области техники), является выбор подходящей терминологии. На момент завершения работы над монографией такая терминология еще далеко не установилась, а правила использования и толкования отдельных терминов вызывают многочисленные дискуссии среди специалистов, доходящие иногда до бурных дебатов. В таких условиях опасность внедрения в технический язык неудачных терминов достаточно велика. В данной работе для минимизации рисков использования терминологически неудачных обозначений был применен следующий подход. В тексте книги исходя из принципа соблюдения преемственности с ранними работами автора, которые в целом были положительно восприняты читателями, применялись в основном технические термины, использованные в монографиях [2, 3]. При рассмотрении многих вопросов была задействована терминология, содержащаяся в известных отечественных нормативно-технических документах, в частности ГОСТ 25462-82 [4] и ГОСТ 26814-86 [5]. Количество новых терминов целенаправленно сведено до минимума, и вводились они только в тех ситуациях, когда это было безусловно необходимо. Кроме того, при первом упоминании нового термина по возможности приводится его эквивалент, принятый в иностранной научно-технической литературе.

Автор полностью отдает себе отчет в том, что из-за обширности самого технического направления «Структурированные кабельные системы», высоких темпов научно-технического прогресса в области элементной базы и разнообразия задач, возникающих в процессе построения волоконно-оптической подсистемы СКС, часть проблем может быть затронута очень бегло или даже не упомянута вообще. Более того, большой объем материала, который был переработан в процессе подготовки монографии к печати, естественным образом увеличивает риск появления в ней различных неточностей или даже ошибок. Поэтому любые конструктивные предложения, замечания и пожелания будут восприняты с благодарностью, рассмотрены по существу и использованы для улучшения содержания книги.

Автор выражает свою искреннюю признательность всем специалистам, оказавшим помощь в создании данной монографии. Большим подспорьем в работе над некоторыми разделами книги оказалась техническая информация, которая была любезно предоставлена С. Г. Акоповым (представительство фирмы Corning по странам СНГ), Александром Савчуком (компания Reichle & De-Massari, Украина), И. Г. Смирновым (компания AESP, Москва), Екатериной Оганесян (компания ICS, Москва), Романом Китаевым (московское представительство компании CommScope), Андреем Акербергом (московское представительство компании Kerpen), Л. Г. Рысиным и О. А. Годуновой (компания Эликс-Кабель), Дариушем Зайонцем (московское представительство компании Molex PN), Анджеєм Загульским (компания Reichle & De-Massari, Polska S.A), Алексеем Гехтом (французская компания Acome), Томашем Кватерским и Томашем Неволиком (немецкая компания Microsens).

29 мая 2006 г.

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СКС И ЕЕ ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЕ

1.1. Структура СКС

1.1.1. Подсистемы СКС

В общем случае согласно международному стандарту ISO/IEC 11801:2002 [6] структурированная кабельная система включает в себя три подсистемы (см. рис. 1).

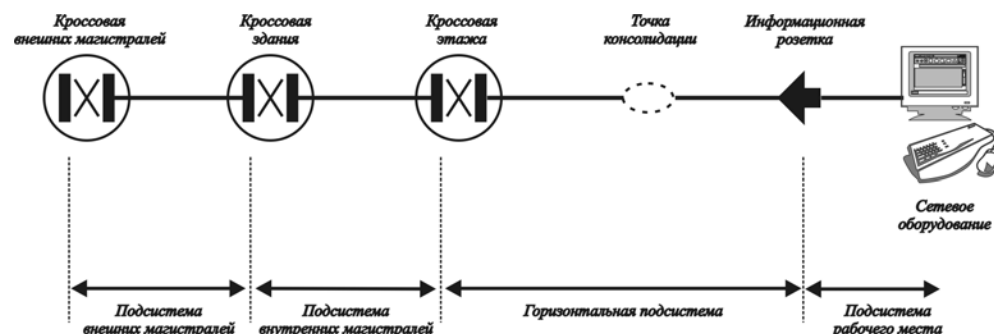


Рис. 1. Подсистемы СКС

Подсистема внешних магистралей (campus backbone cabling subsystem) состоит из внешних магистральных кабелей и непосредственно подключенного к ним коммутационного оборудования. В состав подсистемы входят также коммутационные шнуры и/или перемычки, обслуживающие ту часть коммутационного оборудования, которая находится в технических помещениях более высокого уровня. Подсистема внешних магистралей является той основой, которая связывает в единую сеть связи отдельные здания, расположенные на общей территории. На практике данный технический объект достаточно часто имеет физическую кольцевую топологию, что дополнительно обеспечивает увеличение надежности за счет наличия резервных кабельных трасс. Из этих же соображений на данном уровне структурированной проводки иногда используется двойная кольцевая топология. Если СКС устанавливается автономно только в одном здании, то подсистема внешних магистралей отсутству-

ет. В строительных объектах с большими размерами в случае реализации СКС по американским стандартам к подсистеме внешних магистралей относятся те кабели, которые имеют длину свыше 300 м, хотя фактически не выходят за пределы здания.

Подсистема внутренних магистралей (building backbone cabling subsystem), называемая в некоторых СКС вертикальной, или вторичной, подсистемой, включает в себя внутренние магистральные кабели с подключенным к ним коммутационным оборудованием. В состав подсистемы входит также часть коммутационных шнуров и/или перемычек, которые обслуживают те панели коммутационного оборудования, которые находятся в технических помещениях более высокого уровня. Кабели рассматриваемой подсистемы фактически связывают между собой отдельные этажи здания и/или пространственно разнесенные технические помещения в пределах одного здания. Если СКС обслуживает один этаж, несколько этажей небольшого здания или только часть площади большого здания, то подсистема внутренних магистралей может отсутствовать.

Горизонтальная подсистема (horizontal cabling subsystem) образована горизонтальными кабелями между КЭ и розеточными модулями ИР рабочих мест, самими ИР, а также групповым коммутационным оборудованием в техническом помещении, к которому подключаются горизонтальные кабели. В состав горизонтальной подсистемы входят также коммутационные шнуры и/или перемычки в техническом помещении. При построении горизонтальной части структурированной проводки допускается использование одной точки консолидации (consolidation point) на тракт.

Деление СКС на отдельные подсистемы применяется независимо от вида или формы реализации сети, то есть оно принципиально будет одинаковым, например для кабельной системы, установленной в офисном здании или в производственном комплексе.

В самом общем случае СКС согласно действующим редакциям нормативно-технических документов включает в себя следующие восемь основных укрупненных функциональных компонентов:

- линейно-кабельное оборудование подсистемы внешних магистралей;
- коммутационное оборудование подсистемы внешних магистралей;
- линейно-кабельное оборудование подсистемы внутренних магистралей;
- коммутационное оборудование подсистемы внутренних магистралей;
- линейно-кабельное оборудование горизонтальной подсистемы;
- коммутационное оборудование горизонтальной подсистемы;
- точки консолидации;
- информационные розетки.

В зависимости от области использования и специфики реализуемого проекта конкретное конструктивное исполнение этих компонентов может меняться в достаточно широких пределах.

Все три подсистемы СКС имеют одинаковую структуру и содержат линейный кабель, все проводники и световоды обоих концов которого в обязательном порядке подключаются к коммутационному оборудованию, и шнуровые изделия различных видов, находящиеся в техническом помещении более высокого уровня. При построении горизонтальной подсистемы могут использоваться дополнительные компоненты, не оказывающие принципиального влияния на данную структуру: точка консолидации в линейной части и панель отображения портов активного сетевого оборудования с соответствующими шнуровыми изделиями при построении коммутационного поля по схеме cross-connect (см. параграф 1.3.2).

Подсистема рабочего места согласно стандартам ISO/IEC 11801:2002 и TIA/EIA-568-B.1 [7] не входит в состав структурированной проводки. Основным назначением ее оборудования является подключение к СКС активных сетевых приборов на рабочих местах. Конструкция применяемой для ее реализации элементной базы сильно зависит от конкретного приложения. Тем не менее компоненты подсистемы рабочего места являются неотъемлемой составной частью тракта передачи сигнала. Поэтому нормативные документы накладывают на ее параметры и характеристики определенные ограничения.

В подавляющем большинстве случаев подключение к СКС сетевого оборудования и коммутация отдельных портов кабельной системы осуществляются с помощью шнуровых изделий самых разнообразных видов. Применение различных переключателей для решения задач коммутации, несмотря на их очевидные технические и эксплуатационные преимущества, не получило широкого распространения из-за существенно меньших функциональных возможностей. В некоторых ситуациях, обусловленных главным образом конструктивными особенностями портов активных сетевых приборов, кроме шнура, может понадобиться адаптер, обеспечивающий согласование сигнальных и механических параметров оптических или электрических интерфейсов СКС и сетевого оборудования.

1.1.2. Технические помещения

Технические помещения необходимы для построения СКС и ИВС предприятия в целом. Основным назначением этих архитектурных объектов с точки зрения СКС является обеспечение необходимых условий функционирования коммутационного оборудования, обслуживающего нескольких пользователей. В технических помещениях закладываются также каналы кабельных трасс. В общем случае они делятся на аппаратные, кроссовые и помещение входного кросса.

Аппаратный (equipment room) называется техническое помещение, в котором наряду с групповым коммутационным оборудованием СКС располагается сетевое оборудование коллективного пользования масштаба предприя-

тия (УПАТС, серверы, коммутаторы). Уровень устанавливаемых в аппаратной различных устройств и систем инженерного обеспечения должен соответствовать уровню монтируемого в ней компьютерного и телекоммуникационного оборудования.

Кроссовая (telecommunications room) представляет собой помещение, в котором размещается коммутационное оборудование СКС, сетевое и другое вспомогательное оборудование, в подавляющем большинстве случаев обслуживающее ограниченную группу пользователей. При этом уровень оснащения кроссовой оборудованием инженерного обеспечения ее функционирования в целом исходя из перечня выполняемых ею функций является более низким по сравнению с аппаратными. В зависимости от решаемой задачи в СКС различают несколько разновидностей кроссовых. В кроссовой внешних магистралей (КВМ) со стороны нижнего уровня сходятся кабели внешней магистрали, подключающие к ней отдельные кроссовые здания (КЗ). В КЗ со стороны нижнего уровня заводятся внутренние магистральные кабели, подключающие к ним кроссовые этажей (КЭ). КЭ, в свою очередь, горизонтальными кабелями подключены розеточные модули ИР рабочих мест.

Помещение входного кросса (building entrance facility) предназначено для монтажа интерфейсного оборудования, обеспечивающего передачу информационных сигналов между ИВС предприятия и различными телекоммуникационными операторами.

В практике выполнения конкретных проектов широко используется совмещение в одном техническом помещении нескольких функций. В рамках реализации данного принципа кабели внешних телекоммуникационных операторов могут заводиться непосредственно в аппаратную без организации выделенного помещения входного кросса. Сама аппаратная может быть совмещена с одной из кроссовых. В этом случае находящееся в ней сетевое оборудование может подключаться непосредственно к коммутационному оборудованию СКС. Если аппаратная расположена отдельно, то ее сетевое оборудование подключается к локально расположенному коммутационному оборудованию или к обычным ИР, аналогичным розеткам рабочих мест.

Во всей СКС может быть только одна КВМ, а в каждом здании может присутствовать не более одной КЗ. Допускается объединение КВМ с КЗ, если они расположены в одном здании. Аналогично КЗ может быть совмещена с КЭ, если они расположены на одном этаже. Стандарты рекомендуют организовывать КЭ на каждом этаже.

Если плотность рабочих мест на этаже или его части мала, то их ИР допускается подключать горизонтальными кабелями к коммутационным панелям КЭ смежных этажей. Единственным требованием при этом является соблюдение ограничений по длине кабеля стационарной линии и общей протяженности тракта.

Пример структуры СКС с привязкой к зданиям приведен на рис. 2.

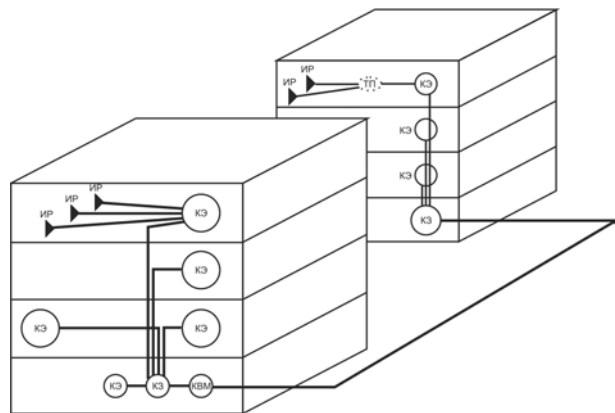


Рис. 2. Пример структуры СКС с привязкой к зданиям

1.1.3. Топология СКС

Топологически любая полномасштабная СКС строится в форме дерева или звезды. Функции узлов структуры выполняет коммутационное оборудование, которое по месту своей установки делится на две основные разновидности:

- индивидуальные ИР, которые эксплуатируются пользователями кабельной системы;
- групповые панели различных видов, с которыми работает обслуживающий персонал и которые непосредственно (на уровне кроссовых этажа) или косвенно (на более высоких уровнях) обслуживают нескольких пользователей. Из оборудования этой группы, которое монтируется в технических помещениях, образуется коммутационное поле.

Коммутационные панели и розетки со своей линейной стороны соединяются между собой электропроводными и оптическими кабелями различных видов, которые играют роль ветвей дерева. ИР всегда соединяются линейным кабелем с панелями в техническом помещении. Панели могут подключаться стационарными кабелями к другим панелям, которые находятся как в том же самом, так и в другом техническом помещении. Сетевое оборудование подключается к панелям шнурами преимущественно со станционной (пользовательской) стороны. В некоторых случаях данная операция осуществляется с линейной стороны этой разновидности коммутационного оборудования.

Топологически СКС может образовывать достаточно сложную многоуровневую структуру. Согласно международному стандарту ISO/IEC 11801:2002 на нее накладывается требование строгой иерархичности, то есть коммутационное оборудование технического помещения определенного уровня может

подключаться линейным кабелем к коммутационному оборудованию только смежного уровня как по восходящей, так и по нисходящей.

Американский стандарт TIA/EIA-568-B.1 предполагает построение СКС в соответствии со звездообразной топологией. При этом данный нормативный документ не требует обязательного выполнения свойства строгой иерархичности создаваемой структуры и в явном виде разрешает прямое соединение отдельных узлов, которые не являются смежными с точки зрения ранжирования, см. рис. 3.

Подобного рода топология непосредственно не допускается стандартом ISO/IEC 11801:2002. Однако техническая возможность применения данных структур может быть обоснована логическим путем. Действительно, международный нормативный документ не требует в явном виде обязательного терминирования на коммутационном оборудовании любого кабеля, заходящего в техническое помещение. В качестве примера, в явном виде подтверждающего это положение, можно сослаться на структуры на основе так называемого прямого тракта, см. параграф 1.2.3. Данное обстоятельство позволяет в случае возникновения такой необходимости осуществлять прямое соединение КЭ с КВМ, причем для формального выполнения свойства иерархичности линейный кабель можно завести в промежуточное техническое помещение без его разделки по панелям. Физическое нахождение кабеля в техническом помещении или его отсутствие там не влияет на передаточные параметры формируемого тракта. Таким образом, следующим логическим шагом являются вынос кабеля за пределы технического помещения и его прямая прокладка между КЭ и КВМ. В результате приходим к верхней ветви структуры, изображенной на рис. 3.



Рис. 3. Варианты реализации магистральной части СКС по стандарту TIA/EIA-568-B.1

Для достижения высокой эксплуатационной надежности структурированной проводки стандарты допускают организацию резервных связей между узлами одного уровня (более подробно этот вопрос применительно к оптической подсистеме рассмотрен в параграфе 13.9.2). При наличии в кабельной системе резервных связей древовидная топология полностью или частично преобразуется в решетчатую.

Предусмотренная стандартами возможность достаточно широкого выбора принципов топологического построения является весьма ценным качеством в условиях конкретного проекта. Данный принцип обеспечивает гибкость и надежность СКС, а также позволяет простыми средствами осуществлять изменение конфигурации и производить адаптацию кабельной системы под конкретное приложение.

1.1.4. Кабели СКС

Для повышения технико-экономической эффективности структурированной проводки в основу ее построения положен принцип минимизации числа разрешенных типов кабелей, что в явном виде зафиксировано в действующих редакциях нормативно-технических документов [8]. Так, например, согласно стандарту ISO/IEC 11801:2002 кабельные тракты СКС реализуются только на:

- симметричных электропроводных кабелях на основе витой пары с волновым сопротивлением 100 Ом в экранированном и неэкранированном исполнениях;
- одномодовых и многомодовых ОК.

Симметричные кабели из витых пар используются в первую очередь для создания горизонтальной проводки. По ним передаются как телефонные сигналы и низкоскоростная дискретная информация, так и данные высокоскоростных приложений. В подсистеме внутренних магистралей ОК и кабели из витых пар применяются одинаково часто. На этом уровне симметричные кабели предназначены для передачи главным образом телефонных сигналов и данных с тактовыми частотами до 1 МГц, тогда как ОК обеспечивают передачу цифровой информации высокоскоростных приложений. На внешних магистральных ОК могут играть доминирующую роль.

Для перехода с симметричного кабеля на оптический в процессе передачи данных со скоростью 10 Мбит/с и выше в технических помещениях устанавливаются соответствующие активные приборы (преобразователи среды, или трансиверы). Данные устройства обычно работают совместно с групповым оборудованием (коммутатор уровня рабочей группы, выносной модуль УПАТС, контроллер инженерной системы здания и т. д.). Прямое использование ОК для передачи телефонных сигналов и низкоскоростных данных на современном этапе развития техники является экономически нецелесообразным. Оно применяется крайне редко в тех ситуациях, когда другие решения невозможны или же выдвигаются особые требования в отношении защиты информации от несанкционированного доступа. Поэтому для увеличения технико-экономической эффективности сети в целом обычно процесс преобразования низкоскоростного электрического сигнала в оптический совмещается с мультиплексированием.

Для построения горизонтальной подсистемы стандартами допускается применение экранированного и неэкранированного кабелей с волновым сопротивлением 100 Ом. Экранированный симметричный кабель по сравнению с неэкранированным потенциально обладает лучшими электрическими, а в некоторых случаях и прочностными характеристиками. Однако кабельные тракты на его основе являются очень критичными к качеству выполнения монтажа и заземления, а сами кабели имеют существенно более высокую сто-

имость и обладают заметно худшими массогабаритными показателями. Применение оптических решений в горизонтальной подсистеме в настоящее время по причинам экономического характера встречается достаточно редко, хотя их доля растет очень быстрыми темпами (решения в рамках концепции fibre to the desk – волокно до рабочего места).

Таблица 1. Классы кабельных трактов по ISO/IEC 11801:2002

Класс ка- бельного тракта	Поддерживаемые приложения
Тракты на основе кабелей из витых пар	
A	Телефонные каналы и низкочастотный обмен данными. Максимальная частота сигнала – 100 кГц
B	Приложения со средней скоростью передачи данных. Максимальная частота сигнала – 1 МГц
C	Приложения со скоростью передачи данных до 10 Мбит/с. Максимальная частота сигнала – 16 МГц
D	Приложения со скоростью передачи данных до 1 Гбит/с. Максимальная частота сигнала – 100 МГц
E	Приложения со скоростью передачи данных до 1 Гбит/с. Максимальная частота сигнала – 200 МГц
F	Приложения со скоростью передачи данных до 10 Гбит/с. Максимальная частота сигнала – 600 МГц
Тракты на основе волоконно-оптических кабелей	
OF-300	Приложения, использующие в качестве среды передачи сигнала оптический кабель. Скорость передачи данных – 10 Мбит/с и выше. Максимальная длина тракта – 300 м
OF-500	Приложения, использующие в качестве среды передачи сигнала оптический кабель. Скорость передачи данных – 10 Мбит/с и выше. Максимальная длина тракта – 500 м
OF-2000	Приложения, использующие в качестве среды передачи сигнала оптический кабель. Скорость передачи данных – 10 Мбит/с и выше. Максимальная длина тракта – 2000 м

Оптические кабели делятся на многомодовые и одномодовые. Из соображений экономического характера многомодовые ОК используются в основном в качестве основы подсистемы внутренних магистралей. Одномодовые кабели рекомендуется применять только для построения длинных внешних магистралей.

1.2. Категории оптических волокон, классы и предельные длины оптических кабельных трактов

1.2.1. Классы кабельных трактов и категории волокон

Понятия класса кабельных трактов и категории ОВ содержатся только в международном стандарте ISO/IEC 11801:2002. Этот нормативный документ разрешает применение в ОК структурированной проводки ОВ четырех разновидностей. Первые три из них являются многомодовыми и обозначаются как OM1, OM2 и OM3 (О – от Optical – оптический, М – от Multimode – многомодовый). Основным и единственным отличительным признаком, согласно которому осуществляется отнесение многомодовых волокон к определенной категории¹, является коэффициент широкополосности. Для одномодовых световодов пока официально предусматривается единственная категория OS1 (S от Singlemode, то есть одномодовый). Вопрос о введении категории OS2 (см. параграф 3.3.2) находится пока в стадии рассмотрения.

Основной областью использования оптической техники в СКС являются магистральные подсистемы. На этом уровне из соображений достижения максимальной технико-экономической эффективности решения в целом аналогично трактам на основе кабелей из витых пар осуществляется разделение трактов передачи по приложениям. С учетом данного обстоятельства в стандарте ISO/IEC 11801:2002 применительно к оптической подсистеме при определении максимальной длины тракта применяется следующий подход:

- все кабельные тракты разбиваются на три класса: OF-300, OF-500 и OF-2000 (табл. 2), причем числовой индекс в обозначении класса соответствует длине тракта в метрах;
- считается, что тракт любого класса может быть реализован на основе ОК с ОВ всех четырех категорий;
- каждому приложению в зависимости от категории ОВ кабеля и рабочей длины волны сетевого интерфейса ставится в соответствие класс кабельного тракта, обеспечивающего (иногда с определенными оговорками) функционирование этого приложения с заранее заданным качеством².

¹ В стандарте ISO/IEC 11801:2002 (Е) индексы OM1, OM2 и OM3 определены как типы (type). Данная градация относится к частотным свойствам волокна как среды передачи. Поэтому в дальнейшем из соображений достижения единообразия терминологии с кабелями на основе витых пар употребляется термин «категория», а термин «тип» зарезервирован для описания волокон с различными геометрическими размерами сердцевин и оболочки. Аналогичного подхода придерживаются также некоторые производители кабельной продукции СКС. Например, в англоязычных версиях открытой технической документации немецкой компании Kerpen часто употребляется выражение «fibres of the categories OM2, OM3 and OS1».

² Для некоторых видов приложений класс кабельного тракта зависит от категории многомодовых ОВ, применяемых для его построения. Данная зависимость иногда отражается на практике применением двойного обозначения тракта, которое выполняется в виде, например, OF-500/OM2, что снимает возникающую неопределенность.

Таблица 2. Классы оптических кабельных трактов и поддерживаемые ими приложения по ISO/IEC 11801:2002

Приложение	Максимальное затухание		Классы оптических кабельных трактов			
	тракта передачи, дБ					
	Многомодовые тракты	Одномодовые тракты	Оптическое волокно категории OM1	Оптическое волокно категории OM2	Оптическое волокно категории OM3	Оптическое волокно категории OS1
	850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм	850 нм	1310 нм 1550 нм
10Base-FL, FP, FB	12,5 (6,8)	–	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000
Token Ring 4 & 16 Мбит/с	13,0 (8,0)	–	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000
ATM 52 Мбит/с	–	10,0 (5,3)	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000 OF-2000
ATM 155 Мбит/с	7,2	10,0 (5,3)	OF-500	OF-500	OF-500	OF-500 OF-2000
ATM 622 Мбит/с	4,0	6,0 (2,0)	OF-300	OF-300	OF-300	OF-500 OF-2000
Fibre Channel 133 Мбит/с	–	6,0	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000
Fibre Channel 266 Мбит/с	12,0	6,0 (5,5)	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000 OF-2000
Fibre Channel 531 Мбит/с	8,0	–	OF-500	OF-500	OF-500	OF-2000
ibre Channel 1062 Мбит/с	4,0	–	OF-300	OF-500	OF-500	OF-2000
1000Base-SX	2,6 (3,56)	–	–	OF-500	OF-500	OF-500
1000Base-LX	–	2,35	OF-500	OF-500	OF-500	OF-500 OF-2000
FDDI-LCF	–	7,0 (2,0)	OF-500	OF-500	OF-500	OF-500
FDDI	–	11,0 (6,0)	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000
FDDI-SMF	–	–	10,0	–	–	OF-2000
100Base-FX	–	11,0 (6,0)	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000
10GBase-LX4	–	2,00	OF-300	OF-300	OF-300	OF-2000
10GBase-ER/EW	–	–	–	–	–	OF-2000
10GBase-SR/SW	1,60 (62,5) 1,80 (OM-2 50) 2,60 (OM-3)	–	–	OF-300	OF-300	OF-300
10GBase-LR/LW	–	–	6,20	–	–	OF-2000

Из численных значений, приведенных в табл. 3, следует, что стандарт ISO/IEC 11801:2002 предполагает для части приложений некоторое уменьшение максимальной протяженности многомодового тракта по сравнению с теми величинами, которые следуют из его класса. Необходимость введения подобных ограничений обусловлена как энергетическими параметрами интерфейса (например, 10Base-F и

Таблица 3. Максимальная длина многомодовых трактов некоторых приложений

Тип приложения	Длина волны, нм	ISO/IEC 11801:2002 Волокно 50/125	ISO/IEC 11801:2002 Волокно 62,5/125	TIA/EIA-568-B.1 Волокно 50/125	TIA/EIA-568-B.1 Волокно 62,5/125
10Base-FL, 10Base-FB	850	1514	2000	2000	2000
Token Ring 4 & 16 Мбит/с		1857	2000	2000	2000
100VG-AnyLAN		–	–	500	500
ATM 155 Мбит/с		1000*	1000**	1000	1000
ATM 622 Мбит/с		300*	300**	300	300
Fibre Channel 266 Мбит/с		2000	700	–	–
Fibre Channel 531 Мбит/с		1000	350	–	–
Fibre Channel 1062 Мбит/с		500**	300**	–	–
1000Base-SX		550*	275**	550	220
100VG-AnyLAN		–	–	2000	2000
FDDI-LCF	1300	500	500	500	500
FDDI		2000	2000	2000	2000
100Base-FX		2000	2000	2000	2000
ATM 52 Мбит/с		2000	2000	3000	3000
ATM 155 Мбит/с		2000	2000	2000	2000
ATM 622 Мбит/с		330	500	500	500
Fibre Channel 133 Мбит/с		–	1500	–	–
Fibre Channel 266 Мбит/с		2000	1500	–	–
1000Base-LX		550*	550**	550	550

* В случае использования волокон категории OM2.

** В случае использования волокон категории OM1.

Таблица 4. Максимально допустимое затухание многомодовых трактов некоторых приложений

Тип приложения	Длина волны, нм	ISO/IEC 11801:2002 Волокно 50/125	ISO/IEC 11801:2002 Волокно 62,5/125	TIA/EIA-568-B.1 Волокно 50/125	TIA/EIA-568-B.1 Волокно 62,5/125
10Base-FL, 10Base-FB	850	6,8	12,5	7,8	12,5
Token Ring 4 & 16 Мбит/с		8,0	13,0	8,3	13,0
100VG-AnyLAN		–	–	2,8	7,5
ATM 155 Мбит/с		7,2*	7,2**	7,2	7,2
ATM 622 Мбит/с		4,0*	4,0**	4,0	4,0
Fibre Channel 266 Мбит/с		12,0	12,0	12,0	12,0
Fibre Channel 531 Мбит/с		8,0	8,0	–	–
Fibre Channel 1062 Мбит/с		4,0*	4,0**	4,0	4,0
1000Base-SX		2,6*	3,56**	3,9	3,2
100VG-AnyLAN***		–	–	2,3	7,0
FDDI-LCF	1300	2,0	7,0	2,3	7,0
FDDI		6,0	11,0	6,3	11,0
100Base-FX		6,0	11,0	6,3	11,0
ATM 52 Мбит/с		5,3	10,0	5,3	10,0
ATM 155 Мбит/с		5,3	10,0	5,3	10,0
ATM 622 Мбит/с		2,0	6,0	1,3	6,0
Fibre Channel 133 Мбит/с		6,0	6,0	–	–
Fibre Channel 266 Мбит/с		5,5	6,0	5,5	6,0
1000Base-LX		2,35*	2,35**	3,5	4,0

* В случае использования волокон категории OM2.

** В случае использования волокон категории OM1.

*** Спецификация приложения разработана исходя из работы реализующего его оптического интерфейса по волокну типа 62,5/125 с коэффициентом широкополосности 200 МГц · км на длине волны 850 нм.

Token-Ring при работе по волокну типа 50/125), так и недостаточной пропускной способностью кабельного тракта, реализуемого на стандартной элементной базе (например, Fibre Channel 531 Мбит/с). При этом ограничение по затуханию ха-

рактенно для низко- и среднескоростных приложений. Фактором, лимитирующим максимальную длину тракта приложений с гигабитными и мультигигабитными скоростями передачи линейного сигнала, является преимущественно недостаточная ширина полосы пропускания многомодовых кабельных изделий.

В конструкциях активных сетевых приборов с одномодовыми оптическими трансиверами используется элементная база, применяемая в оптических сетях связи общего пользования. При достигнутом на сегодняшний день уровне техники при условии построения кабельных линий СКС на основе пассивных компонентов, характеристики которых установлены стандартами, максимальная длина одномодового тракта лимитируется только допустимыми масштабами структурированной проводки.

Работа над рассмотренной выше классификацией была начата органами по стандартизации в 2000–2001 гг. Некоторые европейские компании (Ackermann, Brand-Rex), не дожидаясь утверждения нормативных документов, приступили к выпуску продукции в соответствии с указанным делением еще в 2000 г. [9].

1.2.2. Ограничения на длины кабелей и шнуров оптической подсистемы СКС

Для обеспечения заданного качества передачи информационных сигналов основными нормативно-техническими документами СКС установлены ограничения на максимальные длины линейных кабелей и соединительных шнуров горизонтальной и магистральных подсистем. При этом стандарты ISO/IEC 11801:2002 и TIA/EIA-568-B.1 подходят к нормированию длин с несколько различных позиций, см. табл. 5.

Максимальная длина линейного кабеля горизонтальной подсистемы в обоих основных стандартах установлена равной 90 м. Для подключения к стационарной линии горизонтальной подсистемы активного сетевого оборудования используются шнуры общей суммарной длиной не свыше 10 м. Таким образом, максимальная длина тракта горизонтальной подсистемы ограничена величиной 100 м. Стандартизация именно этого значения произведена исходя из возможностей витой пары как направляющей системы электромагнитных колебаний по передаче с заданным качеством сигналов со скоростями вплоть до 10 Гбит/с. Учитывались достигнутый технический уровень элементной базы и применяемые схемотехнические решения приемопередатчиков современного сетевого оборудования. Не последнюю роль при выборе именно этого значения максимальной длины играли архитектурные особенности типовых офисных зданий.

В случае реализации горизонтальной части проводки на оптической элементной базе длина ее линейного кабеля также ограничена величиной 90 м. В этом случае основным соображением являются не энергетические характеристики оптоэлектронной элементной базы современных волоконно-оптических приемопередатчиков, а необходимостью обеспечения:

Таблица 5. Ограничения стандартов СКС на длины трактов передачи информации различных подсистем

Стандарт	Стандарт		
	TIA/ EIA-568-B.1	ISO/IEC 11801:2002	ISO/IEC 11801:1995
Горизонтальная подсистема	100	100	100
Подсистема внутренних магистралей	300	–	500
Подсистема внешних магистралей (многомодовый кабель)	1700	–	500
Подсистема внешних магистралей (многомодовый кабель)	2700	–	2500
Общая суммарная длина линейной части магистрального тракта (многомодовый кабель)	2000	–	2000
Общая суммарная длина линейной части магистрального тракта (одномодовый кабель)	3000	–	3000
Общая суммарная длина тракта (магистральные + горизонтальная подсистемы)	–	2000	–

- инвариантности горизонтальной подсистемы в отношении среды передачи информационного сигнала;
- гарантированного выполнения ограничения протокольного характера сетей Fast Ethernet по максимальному диаметру коллизийного домена в случае установки концентратора этого сетевого интерфейса в КЭ.

Основным назначением подсистемы внутренних магистралей является объединение в единое целое коммутационного оборудования технических помещений в пределах одного здания. По американскому стандарту TIA/EIA-568-B.1 максимальная длина тракта такой магистрали устанавливается равной 300 м. Очень часто на практике линейные кабели этой подсистемы на большей части своей длины прокладываются в стояках и соединяют технические помещения, которые расположены на разных этажах здания. На основании этого ее называют вертикальной.

В подсистеме внешних магистралей, которая объединяет отдельные здания, согласно американскому стандарту TIA/EIA-568-B.1 длины трактов на основе многомодового и одномодового ОК установлены в 1700 и 2700 м соответственно. Стандарт допускает увеличение протяженности тракта подсистемы

мы внешних магистралей выше указанных значений в тех ситуациях, когда длина тракта подсистемы внутренних магистралей является физически меньшей максимально допустимой. Однако и в этом случае общая длина магистральных трактов не должна превышать 2 и 3 км при их реализации на основе многомодовой и одномодовой техники.

Международный стандарт ISO/IEC 11801:2002 не накладывает ограничений на протяженность трактов отдельных магистральных подсистем. Этот документ ограничивает общую суммарную длину полного тракта передачи (магистральные плюс горизонтальная подсистемы) величиной 2000 м. Распределение по длинам между магистральями оставляется на усмотрение проектировщика.

При необходимости обеспечения связи на расстояния свыше 2000 (3000) м стандартами предполагается, что для передачи информации будут использоваться линии и каналы сетей связи общего пользования различных телекоммуникационных операторов.

1.2.3. Разновидности стационарных линий и трактов передачи оптической подсистемы

Структурированная проводка образуется отдельными компонентами и собранными из них комплексными объектами. Основными комплексными объектами СКС являются стационарная линия и тракт.

Стационарная линия (permanent link) включает в себя «фиксированный» (fixed) линейный кабель и непосредственно подключенные к нему с обеих сторон розеточные части ОР, которые конструктивно входят в состав коммутационного оборудования и с которыми на этапе эксплуатации СКС работает ее пользователь. Опциональными элементами стационарной линии являются промежуточные разъемные соединители и неразъемные сращения, недоступные пользователю кабельной системы в режиме текущей эксплуатации. Необходимость использования этих элементов определяется местными условиями конкретного объекта и технологией монтажа, применяемой системным интегратором, реализующим проект.

Стационарная линия по определению не меняет своей конфигурации в процессе эксплуатации. Исключением из этого правила является горизонтальная подсистема, на уровне которой действующими редакциями нормативно-технических документов допускаются использование составной стационарной линии. Необходимым условием формирования такой структуры является применение точки консолидации. При наличии данного объекта в составе горизонтальной подсистемы в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002 тот сегмент линейного изделия, который находится между коммутационной панелью и точкой консолидации, называется фиксированным (стационарным) кабелем. Кабелю между точкой консолидации и ИР присвоено специальное обозначение кабеля точки консолидации (CP cable). Действующие нормативные документы допускают его перекладку в случае изменения конфигурации открытого офиса.

Оптический тракт, или канал (channel), волоконно-оптической подсистемы СКС образуется полной совокупностью компонентов, которые обеспечивают передачу информационного сигнала от разъема до разъема активного сетевого оборудования. Этот комплексный объект в обязательном порядке включает в себя хотя бы одну стационарную линию и оконечные шнуры, с помощью которых к кабельной системе подключается активное сетевое оборудование. Тракт, который содержит в своем составе только одну стационарную линию, называется в дальнейшем простым. Под составным, или комбинированным (combined), понимается тракт, который образован двумя или более стационарными линиями, тем или иным образом последовательно соединенными между собой. Наиболее часто для выполнения этой операции используются коммутационные шнуры¹. Характерным признаком составного тракта является то, что оконечные шнуры подключаются уже к различным стационарным линиям.

В общем случае согласно стандарту ISO/IEC 11801:2002 возможны три основные разновидности реализации составного тракта. Они отличаются друг от друга способом соединения линейных кабелей стационарных линий в промежуточном пункте. Согласно первому варианту (рис. 4а), который реализует схему кросс-коннекта (cross-connect), для соединения отдельных стационарных линий используется коммутационный шнур («patched» combined channel). Две другие схемы применяются при построении централизованных оптических архитектур и организации резервных трактов передачи. Схема рис. 4б предполагает прокладку двух различных линейных кабелей, волокна которых соединяются друг с другом сваркой или механическими сплайсами («spliced» combined channel). При ее использовании не исключается применение для соединения одного ОР, то есть в данном случае реализуется схема интерконнекта (inter-connect). Схема рис. 4в основана на прокладке одной строительной длины кабеля между оконечными пунктами тракта. При проходе этого кабеля через промежуточное техническое помещение стандарт ISO/IEC 11801:2002 определяет такую структуру как прямой тракт («direct» combined channel). С точки зрения условий передачи информационного сигнала прямой комбинированный и простой тракты являются эквивалентными.

Тип соединения, используемого при организации тракта, а также количество отдельных строительных длин линейного кабеля и стационарных линий, из которых образуется этот комплексный объект, не оказывает принципиального влияния на его структуру. Однако от разновидности применяемого соединения зависит суммарное затухание, которое не должно превышать значений, нормируемых стандартами.

¹ В подсистеме на базе кабелей из витых пар в ограниченном количестве применяются так называемые безшнуровые панели и панели с переключателями. Технически не существует каких-либо препятствий для создания аналогичных панелей для оптической подсистемы. Тем не менее по соотношению цена функциональные возможности они значительно уступают своим классическим аналогам, и поэтому их применение в СКС в качестве серийного оборудования неизвестно.

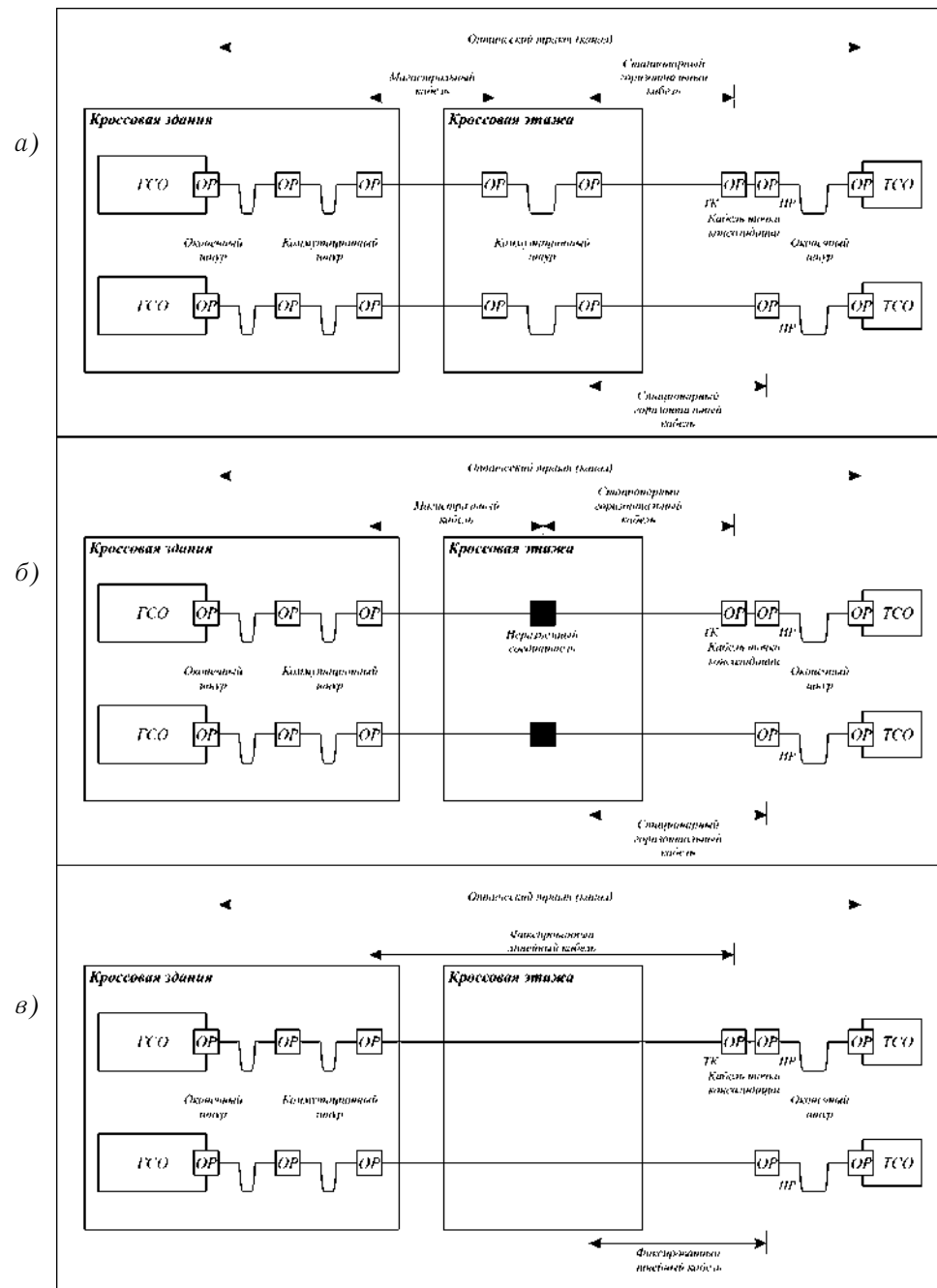


Рис. 4. Варианты организации составных оптических трактов передачи информации в СКС:

а) с соединением отдельных стационарных линий коммутационными шнурами; б) с межсоединением; в) прямой тракт без межсоединения

1.2.4. Особенности нормирования параметров оптических трактов СКС

При выборе подхода к нормированию параметров оптических трактов СКС разработчиками стандартов принимался во внимание ряд соображений, непосредственно вытекающих из фундаментальных особенностей волоконного световода как среды передачи информационного сигнала:

- работоспособность системы волоконно-оптической связи может быть обеспечена при условии одновременного выполнения ряда условий, наиболее существенными из которых являются требования по ограничению общего суммарного затухания в тракте передачи сигнала и обеспечение ширины полосы пропускания не менее минимально допустимого значения;
- основной областью применения волоконно-оптической техники в СКС являются магистральные подсистемы, где в отличие от горизонтальной подсистемы из соображений достижения максимальной технико-экономической эффективности с учетом современного состояния техники снимается требование безусловной универсальности и сознательно осуществляется привязка конкретного приложения к определенному типу среды передачи;
- задача измерения ширины полосы пропускания оптических трактов небольшой протяженности, характерных для структурированной проводки, является технически заметно более сложной по сравнению с задачей определения общего затухания [10];
- оптический тракт передачи может иметь достаточно сложную структуру, а в процессе выполнения монтажных работ по строительству входящих в его состав отдельных комплексных функциональных объектов могут быть использованы различные технологии.

С учетом данных обстоятельств в стандартах использована следующая стратегия нормирования параметров, критически важных с точки зрения обеспечения требуемых качественных показателей передаваемой информации:

- каждому приложению ставится в соответствие свое максимальное значение длины тракта передачи сигнала. В случае многомодовых волокон параметрами, в определенных случаях влияющими на величину этого значения, являются рабочая длина волны сетевого интерфейса и коэффициент широкополосности ОК;
- соблюдение ограничений стандартов по максимальным длинам формируемого тракта в независимости от его структуры является гарантией выполнения норм по частотным свойствам, достаточным для поддержания функционирования соответствующего приложения;
- общее расчетное затухание тракта, предназначенного для поддержки функционирования конкретного приложения, не должно превышать значений, задаваемых в спецификации оптического интерфейса этого приложения и приведенных в табл. 4.

Дадим некоторые комментарии в отношении приведенных выше положений.

В тех ситуациях, когда длина тракта не превышает максимально допустимого значения, вытекающего из определения класса (по стандарту ISO/IEC 11801:2002) или его нахождения в составе конкретной подсистемы (по стандарту TIA/EIA-568-B.1), в качестве порогового значения затухания при определении соответствия требованиям стандартов принимается следующая величина:

$$A(\lambda) = \alpha(\lambda)L + n_c \times 0,75 + n_s \times 0,3 \text{ дБ}, \quad (1)$$

где $\alpha(\lambda)$ — коэффициент затухания оптического кабеля на рабочей длине волны λ ;
 L — суммарная длина всех линейных и шнуровых ОК тракта;
 n_c — количество разъемных соединителей в тракте;
 n_s — количество неразъемных сварных и механических соединителей в тракте передачи.

Коэффициенты 0,75 и 0,3 представляют собой нормируемые стандартами предельно допустимые значения затухания ОР и неразъемных соединителей (см. параграф 5.1.1 и раздел 10.1).

Выражение (1) может быть без ограничений использовано в отношении тракта и стационарной линии. При задании конкретного значения n_c в обязательном порядке принимается во внимание определение этих комплексных объектов СКС. В частности, при расчете максимально допустимого затухания тракта не учитываются разъемы активного сетевого оборудования.

На основании определения стационарной линии и простого тракта, реализованного на ее основе, с точки зрения предельно допустимого затухания данные комплексные объекты являются эквивалентными в тех случаях, когда длина L_{sz} кабелей шнуров много меньше длины линейных кабелей стационарной линии. Данное положение может быть без труда распространено на общий случай составных трактов. Само условие малости может быть задано в количественной форме следующим образом. Затухание оптического тракта в соответствии с требованиями стандартов измеряется с точностью 0,1 дБ. Тракт, включающий в себя n стационарных линий, содержит $n+1$ коммутационных шнуров ($n-1$

промежуточных и два оконечных). Отсюда имеем $\sum_{j=1}^{n+1} L_{szj} \alpha(\lambda) \leq 0,1 \text{ дБ}$. Учитыва-

ется также тот факт, что погонное затухание шнуровых и линейных кабельных изделий в оптической подсистеме в отличие от подсистемы на базе симметричных кабелей согласно действующим редакциям стандартов является одинаковым. Подстановка конкретных значений параметров в данное неравенство показывает, что в наихудшем случае ($\lambda = 850 \text{ нм}$, многомодовая техника) общая длина коммутационных шнуров не должна превышать примерно 30 м. Данное ограничение в большинстве случаев выполняется на практике и часто с большим запасом.

В составных трактах при выполнении условия малости общей суммарной длины кабелей шнуровых изделий максимальное допустимое затухание равно сумме предельно допустимых затуханий отдельных стационарных линий.

По сравнению с цепями передачи на основе кабелей из витых пар коэффициент обратного отражения отдельных элементов и оптического тракта целиком является минимум на два порядка ниже. В этой ситуации рабочее и характеристическое затухания могут считаться равными с точностью, достаточной для выполнения инженерных расчетов. С учетом малости реальных величин обратных отражений затухание оптического тракта передачи СКС равно сумме затуханий образующих его компонентов.

Формы реализации оптических трактов СКС отличаются на практике большим разнообразием. Поэтому в стандартах в явном виде приводятся предельно допустимые затухания только простых трактов. Считается, что стационарные линии этих трактов реализованы на основе одного сегмента (строительной длины) линейного кабеля, а его волокна непосредственно оконцованы вилками ОР. В терминах (1) данный случай соответствует $n_c = 2$ и $n_s = 0$. В качестве значений параметра L на основании табл. 5 берутся длины трактов различных классов (по ISO/IEC 11801:2002) или различных подсистем (по TIA/EIA-568-B.1). Результаты расчетов для случая построения трактов на стандартных кабелях (табл. 2) и разъемах (табл. 44) сведены в табл. 6 и табл. 7. Приведенные в этих таблицах данные носят исключительно справочный характер и демонстрируют нижний теоретический предел при использовании стандартной элементной базы СКС.

Таблица 6. Максимально допустимое затухание простых оптических трактов различных классов по ISO/IEC 11801:2002

Класс тракта	Многомодовый		Одномодовый	
	850 нм	1300 нм	1310 нм	1550 нм
OF-300	2,55	1,95	1,80	1,80
OF-500	3,25	2,25	2,00	2,00
OF-2000	8,50	4,50	3,50	3,50

Таблица 7. Максимально допустимое затухание простых оптических трактов по TIA/EIA-568-B.1

Подсистема	Длина линейной части, м	Многомодовый кабель		Одномодовый кабель	
		850 нм	1300 нм	1310 нм	1550 нм
Горизонтальная	90	2,0	2,0	2,0	2,0
Централизованная (межсоединение на сплайсах)	300	2,9	2,3	2,1	2,1
Централизованная (межсоединение на разъемах)	300	3,8	3,2	3,0	3,0

Таблица 7. Максимально допустимое затухание простых оптических трактов по TIA/EIA-568-B.1 (продолжение)

Подсистема	Длина линейной части, м	Многомодовый кабель		Одномодовый кабель	
		850 нм	1300 нм	1310 нм	1550 нм
Внутренних магистралей	300	2,6	2,0	1,8	1,8
Внешних магистралей	1700	7,5	4,0	2,4	2,4
Внешних магистралей	2000	8,5	4,5	2,5	2,5

Примечание.

1. В случае использования в составе горизонтальной подсистемы или централизованной структуры опциональной точки консолидации к общему допустимому затуханию добавляется 0,75 дБ.

2. Максимальное затухание горизонтальной подсистемы в 2,0 дБ задается стандартом и превышает суммарное затухание образующих ее элементов.

1.3. Администрирование СКС

1.3.1. Варианты администрирования

Принципы администрирования, или управления, СКС целиком и полностью определяются ее структурой. Различают одноточечное и многоточечное администрирования. Под многоточечным администрированием понимают управление СКС, которая построена по классической архитектуре иерархической звезды, то есть включает в себя магистральную подсистему хотя бы одного уровня. Характерным признаком этого варианта является необходимость выполнения переключения минимум двух шнуров (или элементов, их заменяющих) в общем случае изменения конфигурации. Использование данного принципа гарантирует наибольшую гибкость управления и более широкие возможности адаптации СКС для поддержки новых приложений.

Архитектура одноточечного администрирования применяется в тех ситуациях, когда требуется максимально упростить управление кабельной системой. Ее основным признаком является прямое соединение всех ИР рабочих мест с коммутационным оборудованием в единственном техническом помещении. Принципиально подобная архитектура может использоваться только для проводки, монтируемой в одном здании и не имеющей магистральной подсистемы. Такие структуры характерны в первую очередь для СКС с небольшим количеством обслуживаемых рабочих мест.

Под схему одноточечного администрирования попадают также все волоконно-оптические структуры с централизованным администрированием (параграф 1.3.3).

1.3.2. Схемы коммутации в СКС

Стандарт ISO/IEC 11801:2002 предусматривает две основные разновидности схем выполнения коммутации, распространяемые на соединения стационарных линий между собой и подключение к ним активного сетевого оборудования. Критерием отнесения конкретного соединения к одной из схем является количество портов (иначе абонентской стороны разъема коммутационного оборудования), задействованных в процессе формирования тракта передачи.

Схема кросс-коннекта (рис. 5б, cross-connect) характеризуется тем, что реализующий ее шнур соединяет между собой абонентские стороны двух розеток, ни одна из которых не является портом активного сетевого оборудования. Данная схема является основной при создании составных кабельных трактов СКС из двух или более включенных последовательно стационарных линий. В случае ее применения для подключения сетевого оборудования порты последнего отображаются дополнительным шнуром на промежуточную панель, розетки которой предназначены для подключения вилок основного коммутационного шнура.

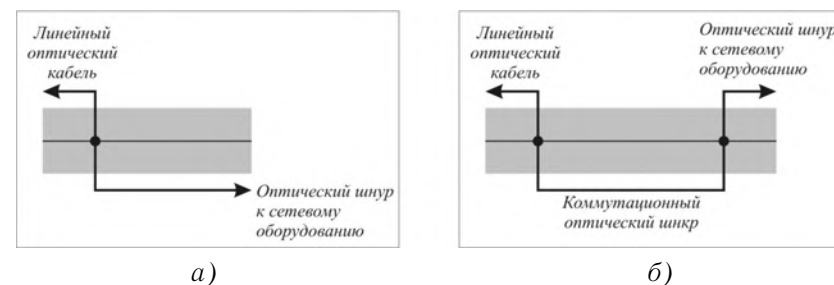


Рис. 5. Схемы коммутации в СКС:

а) интерконнект (interconnect); б) кросс-коннект (cross-connect)

Схема интерконнекта (рис. 5б, interconnect) применительно к пассивной части тракта передачи сигнала предполагает непосредственное соединение двух стационарных линий без использования коммутационного шнура. Технические проблемы с реализацией подобного соединения, связанные в первую очередь с необходимостью доступа внутрь по меньшей мере одной стационарной линии, определяют крайне малую популярность применения подобной схемы коммутации в области формирования составных трактов передачи. В случае применения схемы interconnect для подключения к СКС активного сетевого оборудования его интерфейсный ОР соединяется с розеткой панели коммутационным шнуром напрямую. Использование данного принципа формирования трактов передачи дает возможность вдвое по сравнению со схемой cross-connect уменьшить количество панелей в оптической части коммутационного поля с соответствующей экономией финансовых затрат и уменьшением требуемой емкости монтажного конструктива.

1.3.3. Волоконно-оптические кабельные системы с централизованным администрированием

Волоконно-оптические кабельные системы с централизованным администрированием¹ были впервые определены в техническом бюллетене TSB-72 [10] и относятся к случаю построения проводки внутри одного здания полностью на базе ОК. В период 2000—2001 г. главные идеи и положения этого бюллетеня были введены в нормативную часть стандартов ISO/IEC TR 14763-2 [11] и TIA/EIA-568-B.1.

Принцип построения централизованной оптической архитектуры состоит в отказе от жесткого деления той части кабельной проводки, которая находится внутри здания, на горизонтальную подсистему и подсистему внутренних магистралей с их объединением в единое целое. Это позволяет выполнить на нижнем уровне кабельной системы переход от двухуровневой звездообразной топологии к более простой одноуровневой с максимальной длиной организуемого тракта в 300 м.

Основные преимущества, которые дает применение принципа централизованного администрирования, заключаются в следующем:

- значительно увеличивается управляемость ЛВС за счет появления возможности формирования любых наперед заданных рабочих групп на физическом уровне без использования виртуальных соединений;
- все активное оборудование сосредотачивается в одном месте, что увеличивает защищенность от несанкционированного доступа к конфиденциальной информации, уменьшает потребность в высокоскоростных каналах и упрощает эксплуатационные измерения;
- значительно сокращается или даже полностью (в некоторых случаях) устраняется потребность в выделенных помещениях для кроссовых этажей.

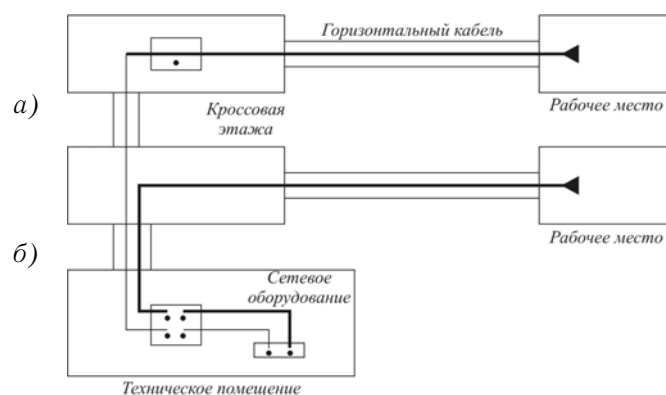


Рис. 6. Построение системы с централизованным администрированием:
а) с одним межсоединением; б) без межсоединений

¹ В некоторых публикациях используется обозначение таких структур, как COA (Centralized Optical Architecture), CNA (Centralized Network Administration) или архитектуры с вырожденной магистралью (Collapsed Backbone Architecture).

Структурированная проводка в случае применения централизованной оптической архитектуры может быть построена с использованием одного межсоединения и без него. Вариант с промежуточным соединением позволяет сохранить инфраструктуру физического уровня ИВС, так как необходимое для его создания коммутационное оборудование размещается в помещениях, зарезервированных первоначальным проектом под КЭ. Этот вариант возможен в двух разновидностях. Первую из них называют схемой ответвления [13]. Согласно этой схеме до помещений кроссовых доводится магистральный кабель, дальнейшая проводка выполняется пользовательским кабелем максимальной длиной 90 м, который соединяется с магистральным неразъемным соединителем (pull-through method).

Вторая разновидность называется пассивной коммутационной панелью. В соответствии с данной схемой оставляется возможность выполнения переключений с использованием обычного коммутационного шнура. При этом, однако, для блокировки ошибочного или намеренного прямого подключения активного сетевого оборудования к коммутационной панели соединение световодов осуществляется по схеме interconnect в смысле рис. 5 (interconnect method). При этом магистральный кабель заводится на внутреннюю часть коммутационной панели, тогда как пользовательский кабель подключается к панели с ее лицевой стороны. Максимальное расстояние от ИР до КЭ в рассматриваемом варианте составляет 90 м. Это позволяет сохранить преемственность с обычными (нецентрализованными) структурами в отношении горизонтальной проводки и обеспечивает легкость возврата к стандартной двухуровневой топологии. Максимальная длина тракта передачи с межсоединением ограничена значением 300 м из соображений получения на кабеле с ОВ типа 62,5/125 пропускной способности канала связи 1 Гбит/с, то есть поддержки наиболее скоростных по состоянию на середину 2001 г. приложений типа Gigabit Ethernet, ATM и Fibre Channel. По аналогии со структурами на кабеле из витых пар, в которых применяются точки консолидации, какое-либо активное оборудование в месте размещения кросса не устанавливается.

Упомянутое выше в параграфе 1.2.2 ограничение протокольного характера сетей Fast Ethernet разработчиками идеи централизованного администрирования считается малосущественным. Причина этого заключается, вероятно, в сравнительно малой распространенности волоконно-оптической аппаратуры стандарта 100Base-FX, работающей в режиме разделения полосы пропускания.

При построении СКС без промежуточных соединений длина любого тракта ограничена значением 300 м. Это в пределах позволяет обойтись вообще без выделенных кроссовых этажей. Если же они предусматриваются проектом, то говорят о проходной схеме (splice method) и в КЭ рекомендуется выделять места для хранения свернутого в бухты запаса кабелей и установки коммутационного оборудования.

Отметим также некоторые дополнительные ограничения и рекомендации нормативных документов касательно централизованной оптической архитектуры:

- в точке межсоединения не рекомендуется смешивать разъемные и неразъемные соединители ОВ;
- основным типом ОР считается SC в одиночном или дуплексном вариантах;
- неразъемные соединители могут выполняться с использованием сварной технологии и с помощью механических сплайсов;
- в вариантах с одним межсоединением в случае выполнения промежуточных неразъемных соединений ОВ допускается использовать различные типы ОК на горизонтальном и магистральном участках;
- идентификация и маркировка отдельных волокон и соединителей должна выполняться в соответствии с правилами стандарта TIA/EIA-606-A.

1.4. Проблема «полярности» оптических трактов передачи и способы ее решения

В процессе реализации ИВС современного предприятия потенциально может использоваться значительное количество самых разнообразных разновидностей сетевых устройств с оптическими интерфейсами. Функционирование подавляющего большинства из них обеспечивается парой световодов (см. табл. 91), один из которых используется для приема информационного сигнала, а ко второму подключается излучатель передатчика. Необходимым условием обеспечения работоспособности системы связи, построенной на таком активном оборудовании, является подключение к каждому из волокон пары на разных его концах передатчика и приемника трансиверов соединяемых интерфейсов. Наличие в общем случае двух возможных вариантов подключения сетевого устройства приводит к возникновению неоднозначности, что потенциально может привести к ошибкам коммутации в процессе изменения конфигурации кабельной системы и невозможности установления связи. С учетом данного обстоятельства наряду с выполнением норм по затуханию и величине дисперсионных искажений одним из условий обеспечения функционирования сетевого интерфейса является необходимость поддержания правильного порядка подключения приемника и передатчика трансивера к кабельным трактам СКС, или, иначе говоря, обеспечение их правильной «полярности». Решить данную проблему можно за счет следующего комплекса мероприятий:

- применением такого принципа построения цепей передачи информационного сигнала, который поддерживает правильность соединения приемопередатчиков сетевых интерфейсов на разных концах линии в независимости от сложности формируемого тракта;
- обязательным использованием активных и пассивных конструктивных, организационных и прочих решений и мероприятий, которые допуска-

ют и обеспечивают только корректное подключение вилки оптического шнура к розетке ОР коммутационного оборудования в процессе выполнения коммутации.

1.4.1. Выбор схемы построения оптических кабельных трактов СКС

Кабельные тракты СКС образуются одной или несколькими стационарными линиями, которые последовательно соединяются друг с другом и подключаются к активному сетевому оборудованию коммутационными шнурами. Каждый из перечисленных объектов с точки зрения достижения правильности подключения сетевого оборудования может рассматриваться в качестве отдельного функционального элемента формируемого тракта [14].

Практика показывает, что в сетевой аппаратуре применяются трансиверы с зафиксированной схемой взаимного расположения излучателя и фотоприемника в интерфейсном разъеме: при наиболее распространенной горизонтальной ориентации ОР трансивера излучатель при виде спереди всегда находится слева [15]. Коммутационное оборудование СКС также обладает этим свойством, так как его розетки традиционно нумеруются слева направо и всегда ориентируются ключевым элементом в одну сторону¹. С учетом этих двух обстоятельств немедленно следует вывод о том, что правильная «полярность» оптического тракта СКС как комплексного объекта может быть достигнута при обязательном наличии в его составе в общем случае нечетного количества функциональных элементов со скрещенными волокнами.

В процессе формирования тракта передачи оптического сигнала соединение отдельных стационарных линий осуществляется по схеме cross-connect, подключение активного сетевого оборудования в основной массе случаев производится по схеме interconnect в том смысле, который вкладывает в эти термины стандарт ISO/IEC 11801:2002. При реализации составного тракта, включающем в себя n ($n = 1...6$) стационарных линий, для коммутации понадобится $n + 1$ шнуров ($n - 1$ промежуточных для соединения стационарных линий плюс два оконечных). Таким образом, всего в тракте, сформированном в соответствии с правилами администрирования СКС, будет $2n + 1$ или всегда нечетное количество отдельных функциональных элементов.

Из соображений обеспечения универсальности и упрощения процесса администрирования, а также достижения инвариантности этой процедуры по отношению к структуре создаваемого тракта стационарные линии целесообразно строить по одинаковой схеме. Точно такое же положение естественным

¹ Подход некоторых производителей, предлагающих своим партнерам варианты коммутационного оборудования с различной ориентацией ключей розеток (keyways up и keyways down), не получил заметного распространения.

образом распространяется на область шнуровых изделий, то есть для коммутации стационарных линий и подключения сетевого оборудования резонным является требование о применении дуплексных шнуров, однотипных в смысле правил разводки ОВ по вилкам ОР.

В простом тракте СКС (одна стационарная линия плюс два оконечных шнура, случай $n = 1$) условие нечетного количества функциональных элементов со скрещенными волокнами может быть выполнено $C_3^1 + C_3^3 = 4$ различными способами. Соответствующие им структуры в схематическом виде изображены на рис. 7.

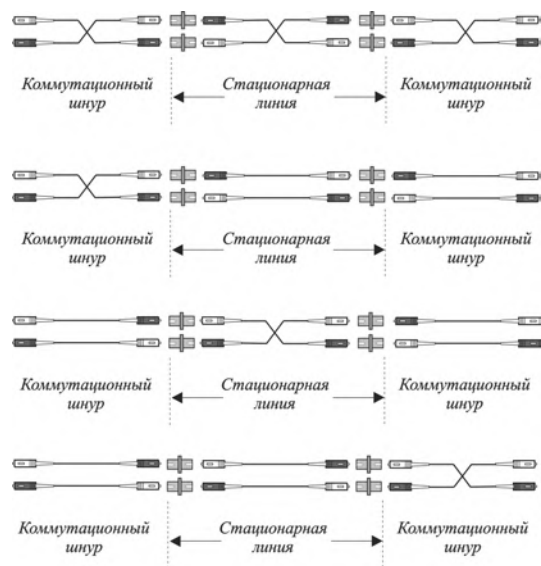


Рис. 7. Варианты достижения правильной полярности простого оптического тракта передачи информации

Характерной чертой схемы рис. 7б и ее зеркально симметричного аналога рис. 7г является обязательное применение разнотипных (со скрещиванием волокон и без него) оконечных шнуров, что серьезно затрудняет процедуру администрирования. Привлекательность данных вариантов обусловлена удобством выполнения инсталляционных работ. Это связано с тем, что рассматриваемые структуры предполагают применение в составе стационарной линии коммутационного оборудования, устанавливаемого с разных ее концов, с естественным и логичным для монтажников непосредственным соединением (по схеме «один в один») розеток с одинаковыми номерами. Современные оптические кроссы из соображения увеличения плотности портов строятся практически исключительно на основе ОР с дуплексными ключевыми розетками, которые в отличие от I-адаптеров витопарной подсистемы не позволяют

простыми средствами выполнить реверсирование отдельных цепей передачи сигналов. Таким образом, данная схема реально может быть использована только в случае построения коммутационного оборудования на базе симплексных разъемов первых поколений (ST, FC и аналогичные им) и не является актуальной для новых проектов.

Вариант рис. 7в на первый взгляд вполне допустим на практике. Однако внимательный анализ показывает, что его работоспособность обеспечивается в общем случае только при применении в ЛВС принципа установки активного оборудования в каждом помещении, что означает запрет на формирование составных трактов. При переходе на позиции СКС данное правило может быть сформулировано в несколько более мягкой форме в виде введения запрета на создание составных трактов с четным количеством стационарных линий. В случае необходимости формирования тракта с четным количеством стационарных линий один из входящих в его состав обращенных оконечных или промежуточных шнуров для соблюдения правильной полярности и обеспечения работоспособности аппаратуры необходимо заменить на шнур со скрещенными волокнами. Кроме того, данный вариант за счет возможного появления в одном техническом помещении двух разновидностей шнуров не соответствует критерию обеспечения удобства текущей эксплуатации. Немаловажное значение имеет также тот факт, что применяемые для его реализации шнуры без скрещивания волокон не могут использоваться самостоятельно. В частности, с их помощью нельзя решить такую практически важную задачу, как непосредственное соединение трансиверов различных коммутаторов уровня рабочей группы в процессе формирования стека или соединения с другими сетевыми устройствами в пределах одного технического помещения (случай $n = 0$).

Единственной структурой, полностью соответствующей всем перечисленным выше требованиям, является вариант рис. 7а. Он позволяет применять однотипные коммутационные элементы и без ограничений дает возможность переходить от простых трактов к составным. С учетом данного обстоятельства требование использования схемы рис. 7а содержится в нормативной части стандартов СКС, в которые включено положение об обязательном применении шнуров с оконцеванием отдельных волокон на разных концах элементами ОР с различной символической маркировкой (см. параграф 5.1.1). Данное обстоятельство приводит к определенной терминологической путанице: шнуры со скрещенными ОВ с точки зрения выполняемых функций называются прямыми, тогда как шнуры без такого скрещивания являются для пользователя обращенными, см. рис. 8.

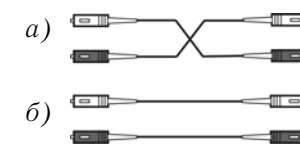


Рис. 8. Разновидность дуплексных оптических коммутационных шнуров: а) прямой; б) обращенный

1.4.2. Мероприятия по обеспечению правильной полярности стандартных оптических трактов

Стандарты СКС определяют несколько канонических вариантов построения кабельных трактов. Приведенные выше соображения однозначно определяют для структурированной проводки правило применения скрещивания волокон в линейной части и в шнуровых изделиях в независимости от их назначения (коммутиация и подключение активного сетевого оборудования).

На уровне шнуровых изделий проблема поддержания правильной полярности принципиально не возникает в случае применения шнуров, дуплексные кабели которых оконцованы вилками симплексных разъемов (ST, FC и аналогичные им). В этой ситуации задача корректного подключения сетевого оборудования решается системным администратором. Упрощение процедур коммутации при работе с симплексными вилками достигается применением хвостовиков различного цвета и/или нанесением на них маркирующих индексов А и В.

В случае фабричного производства шнуров с вилками дуплексных ОР обязанность обеспечения полярности ложится на изготовителя элементной базы введением соответствующих мероприятий по контролю качества готовой продукции.

Задача обеспечения скрещивания волокон на уровне линейной части проводки, в том числе в случае применения точки консолидации, решается организационными мерами в процессе проектирования введением правила однотипного построения стационарной линии. На уровне основных линий данное правило может быть сформулировано, например, в следующей форме: волокно с маркировкой А всегда обеспечивает функционирование передатчика оптического трансивера на том конце линии, который находится в техническом помещении более высокого уровня. В случае применения в магистральной части структурированной проводки резервных линий проектировщик применяет аналогичный формализованный признак однозначного ранжирования коммутационного оборудования, вводимый с учетом местных условий конкретного проекта. Пример такого подхода: волокно с маркировкой А всегда обеспечивает функционирование передатчика оптического трансивера на том конце линии, который находится топологически правее.

С целью обеспечения правильной полярности формируемого оптического тракта в независимости от уровня его сложности стационарные линии СКС должны быть построены со скрещиванием световодов между пользовательскими интерфейсами, а для их коммутации наиболее целесообразно применение прямых шнуров (изделий со скрещенными волокнами). Элементная база, вводимая производителем СКС в состав своего продукта, должна позволять выполнять реверсирование волокон в линейной и шнуровой частях проводки силами монтажников системного интегратора в полевых условиях.

1.4.3. Особые случаи построения проводки

В основу действующих редакций стандартов СКС положен принцип построения любого тракта передачи в виде одной или нескольких стационарных линий, соединенных между собой и подключаемых к активному сетевому оборудованию шнуровыми изделиями. Следствием такого подхода является наличие в тракте четного количества коммутационных панелей и их аналогов, то есть элементов, на которых монтируются розеточные части ОР (правило компании Nexans о наличии в составе тракта четного количества соединительных розеток [16]). Стандарты допускают также возможность применения структур, в которых данный принцип четности не соблюдается. К ним относятся:

- построение коммутационного поля по схеме cross-connect;
- применение на уровне горизонтальной подсистемы составных стационарных линий с точкой консолидации.

Опасность нарушения полярности при применении схемы cross-connect возникает в ситуации использования этой схемы только на одной из сторон организуемого тракта. Это обусловлено тем, что в таких конфигурациях в составе тракта в обязательном порядке появляется еще один шнуровой функциональный элемент, назначением которого является отображение портов активного сетевого оборудования на дополнительную панель коммутационного поля. Проблема устраняется применением в этой части проводки обращенного шнурового изделия. Обращенный шнур из-за крайне малой распространенности на практике реализации коммутационного поля оптической подсистемы по схеме cross-connect удобно формировать непосредственно на объекте монтажа. Для этого дуплексная вилка собирается с использованием легкоъемной фиксирующей оправки, которая допускает взаимное изменение расположения отдельных симплексных вилок. Стандарты не предусматривают никаких мер по блокировке подключения обращенного шнура вместо обычного, за исключением недостаточно эффективной символьной маркировки отдельных вилок. Поэтому его целесообразно использовать для передачи сигналов между оптическим интерфейсом сетевого оборудования и панелью отображения на коммутационном поле СКС. Такой прием позволяет фактически привязать обращенное изделие к активному оборудованию, вывести его из процесса текущего пользовательского администрирования и исключить опасность его использования вместо прямого.

Применение схемы cross-connect на обеих сторонах тракта позволяет отказаться от использования обращенного шнура на панели отображения, так как при этом в цепи передачи информационного сигнала сохраняется четное количество коммутационных панелей. Однако данное свойство не может быть гарантировано в общем случае на основании отсутствия в стандартах СКС запрета на одновременное применение на одном коммутационном поле схем interconnect и cross-connect для подключения сетевого оборудования. Эта

особенность диктует правило обязательного применения обращенных шнуров на панелях отображения в независимости от принятой схемы построения коммутационного поля.

Проблема поддержания правильной полярности в случае применения в составе горизонтальной проводки точки консолидации обусловлена тем фактом, что количество функциональных элементов в тракте передачи увеличивается на единицу. При этом в отличие от схемы cross-соепест это происходит за счет линейного, а не шнурового элемента. Задача восстановления правильной полярности решается применением обращения волокон отдельных пар. Данная операция потенциально может быть выполнена на уровне стационарного горизонтального кабеля и линейного кабеля точки консолидации. Оба варианта технически равнозначны.

Стандарты СКС запрещают прямое подключение активного сетевого оборудования к панели точки консолидации. С учетом этой нормы ее целесообразно рассматривать как отображение основной панели коммутационного поля. При принятии такой идеологии кабель ИР подключается к основным панелям и панелям точки консолидации по одинаковым принципам. Таким образом, с эксплуатационной точки зрения обращение волокон следует проводить в фиксированном кабеле, а кабель точки консолидации монтируется с обычным для линейных изделий скрещиванием отдельных световодов пары.

1.5. Область применения оптической подсистемы СКС

1.5.1. Постановка задачи

В основу стандартов СКС положен принцип о возможности реализации трактов передачи информации с использованием кабелей из витых пар и оптических кабелей. При этом в основных нормативных документах СКС отсутствуют приведенные в явном виде указания по предпочтительным областям применения оптических и медножильных решений. По структуре построения стандартов и характеру содержащегося в них материала можно только предположить, что основной областью использования оптических вариантов являются магистральные подсистемы. С учетом этого обстоятельства решение о выборе типа среды передачи обычно принимается в каждом конкретном случае индивидуально по критерию достижения максимальной технико-экономической эффективности в том виде, как это понимает руководитель проекта построения проводки. Имеющиеся в литературе рекомендации по выбору типа элементной базы для построения различных подсистем СКС носят исключительно качественный характер и не содержат конкретных численных критериев. Они предлагают использовать оптические линии там, где требуется высокая дальность передачи высокоскоростных информационных потоков, электромагнитная совместимость, повышенная конфиденциальность, гальва-

ническая развязка, взрывобезопасность [17]. Во всех прочих случаях по умолчанию используется альтернативный вариант, которым являются тракты, построенные на основе кабелей из витых пар.

В процессе выбора типа среды передачи принимается во внимание целый ряд соображений. Основными количественными критериями, привлекаемыми для выполнения данной операции, являются:

- обеспечение определенной дальности и скорости передачи информации с заданным качеством¹;
- получение минимальной общей стоимости решения.

Наряду с этим учитываются также такие уже упомянутые выше и важные качественные соображения, как требования конкретного проекта по обеспечению гальванической развязки, достижению требуемого уровня защиты от несанкционированного доступа и т. д.

Таблица 8. Значения параметров на частоте $f = 1 \text{ МГц}$ для элементной базы различных категорий медножильной проводки по ISO/IEC 11801:2002

Параметр	Обозначение	Категория элементной базы		
		5е	6	7
Переходное затухание кабеля на ближнем конце	A_0	62,3	72,3	99,4
Переходное затухание разъема при расчете PS-NEXT	A_c	80	90	99,4
Коэффициенты аппроксимации частотной характеристики рабочего затухания IL	B_0	1,9108	1,82	1,8
	B_1	0,0222	0,0169	0,01
	B_2	0,2	0,250,2	
	B_c	0,04	0,020,02	
Переходное затухание кабеля на дальнем конце	C_0	60,8	64,8	91
Переходное затухание разъема при расчете PS-ELFEXT	C_c	72,1	80,187	
Коэффициент крутизны частотной характеристики переходного затухания	k	20	20	15

¹ Обычно в качестве количественной меры качества передачи используется вероятность ошибки приема бинарного сигнала.

Современные стандартизованные интерфейсы массового применения, используемые в процессе построения ИВС, дают возможность получения максимальной скорости передачи информации 10 Гбит/с. При этом данная скорость обеспечивается при работе как по оптическим кабелям, так и по кабелям из витых пар. Таким образом, по критерию поддерживаемой пропускной способности оптический и медножильный варианты построения структурированной проводки являются равнозначными.

При предельно малых длинах кабельных трактов оптические решения всегда будут проигрывать по стоимостному критерию медножильным. Это обусловлено меньшей стоимостью стандартного 4-парного неэкранированного горизонтального кабеля по сравнению даже с простейшим по конструкции 2-волоконным ОК. Немаловажное значение имеет то, что оптический интерфейс из-за наличия в его составе дорогостоящего оптоэлектронного модуля, который выполняет дополнительное преобразование электрического сигнала в оптический при передаче и обратно при приеме, принципиально оказывается дороже трансивера с интерфейсом для работы по витой паре. В качестве примера укажем, что для коммутаторов уровня рабочей группы компании Cisco по состоянию на конец 2005 г. рекомендованная стоимость гигабитного up-link-модуля с интерфейсом для подключения к медножильному тракту составляет 395 долл., тогда как аналогичный оптический модуль с рабочей длиной волны 850 нм стоит уже 500 долл.

С другой стороны, при достаточно большой дальности связи в полной мере начинают сказываться технические преимущества оптических линий по существенно меньшему затуханию и отсутствию его зависимости от частоты модулирующего сигнала во всей рабочей полосе частот вплоть до верхнего граничного значения. Данное преимущество позволяет не использовать такие средства увеличения дальности связи, как передача в нескольких параллельных субканалах с меньшей скоростью в каждом, дает возможность не устанавливать промежуточные усилители или регенераторы (репитеры) и т. д., то есть в конечном счете делает решение более привлекательным с экономической точки зрения.

Таким образом, задача выбора типа среды передачи на основании количественного критерия может быть существенно упрощена и сформулирована следующим образом: при заданной скорости передачи найти длину тракта L передачи сигнала, при которой стоимость оптического и медножильного решений оказывается одинаковой.

1.5.2. Схема расчета и расчетная модель

Решение о выборе типа элементной базы для построения конкретной подсистемы структурированной проводки на практике в большинстве случаев принимается исходя из соображений достижения максимальной технико-экономической эффективности. С учетом этого обстоятельства в процессе выполнения

расчетов должны быть приняты во внимание технические и стоимостные характеристики всех возможных вариантов решения. Учет столь разноплановых характеристик в рамках единого уравнения затруднителен. Поэтому в дальнейшем используется следующая многошаговая схема:

- в условиях преобладающего влияния переходной помехи с привлечением необходимых эксплуатационных запасов рассчитывается пропускная способность одиночной витой пары;
- с учетом необходимого эксплуатационного запаса определяется количество витых пар, необходимых для достижения скорости 10 Гбит/с;
- обосновываются возможность и необходимые условия отказа от обязательного учета влияния тепловых шумов приемника;
- оценивается условная стоимость различных вариантов построения тракта передачи.

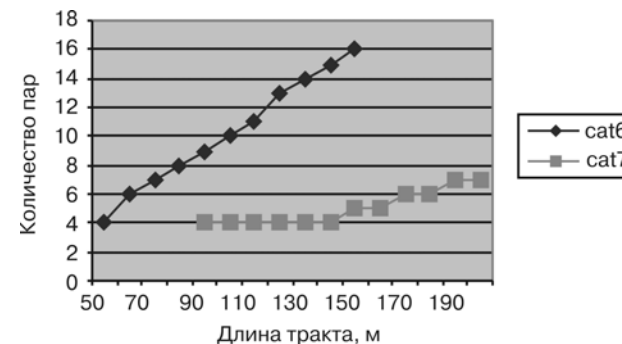


Рис. 9. Зависимость количества пар, необходимых для достижения скорости 10 Гбит/с, от длины тракта при использовании элементной базы различных категорий

Анализ технических параметров тракта на основе кабелей из витых пар, необходимых для реализации первых трех шагов предложенной процедуры, осуществляется на основе следующих предпосылок:

- 1) сетевой интерфейс работает в дуплексном режиме с одновременным использованием всех витых пар кабеля для передачи в противоположных направлениях;
- 2) полоса пропускания, обеспечиваемая трактом определенной длины, может быть полностью использована сетевым интерфейсом за счет выбора соответствующего кода линейного сигнала;
- 3) в тех ситуациях, когда пропускная способность тракта оказывается недостаточной для поддержания требуемых качественных показателей, без ограничения может использоваться принцип параллельной передачи нескольких потоков с меньшей скоростью; при этом каждый из организуемых субканалов является одинаковым и обеспечивает равную с другими пропускную способность;

- 4) параметры влияния линейного и шнурового кабелей принимаются одинаковыми;
- 5) численные значения затухания и параметров влияния медножильной элементной базы категорий 5е и 6 в полосе частот 100–600 МГц и 250–600 МГц соответственно получаются линейной интерполяцией в указанные частотные диапазоны тех величин, которые нормированы стандартом в их рабочей полосе (данное предположение применимо с определенными оговорками [18]);
- 6) с учетом того, что согласно стандарту ISO/IEC 11801:2002 для всех категорий элементной базы можем принять $PS-NEXT = NEXT - 3 \text{ дБ}$ и $PS-FEXT = FEXT - 3 \text{ дБ}$ (табл. 9), при количестве организуемых потоков $4 \leq n \leq 7$ значения $PS-NEXT$ и $PS-FEXT$ в соответствии с принципом «шесть вокруг одного» уменьшаются на $10 \lg[(n-1)/3] \text{ дБ}$; при числе параллельных информационных потоков свыше семи поправка на увеличение количества влияющих пар считается постоянной и принимается равной $10 \lg(6/3) = 3 \text{ дБ}$;

Таблица 9. Разница между предельно допустимыми величинами обычного и суммарного переходного затуханий по ISO/IEC 11801:2002

Категория	5е	6	7
NEXT	3	2	3
FEXT	3	3	3

- 7) для дополнительного улучшения качественных показателей линии связи в сетевом интерфейсе предусмотрен эквалайзер, который настраивается на конкретную линию за счет выполнения процедуры тест-преамбулы в момент установления связи; введение данного модуля в состав функциональных блоков сетевого интерфейса позволяет выполнить компенсацию переходной помехи на ближнем конце и уменьшить ее напряжение равномерно во всем частотном диапазоне;
- 8) шум в трактах имеет ряд составляющих, основными из которых являются переходная помеха на ближнем и дальнем концах;
- 9) шумы, создаваемые потоком обратного рассеяния и межкабельными переходными помехами, компенсируются запасами по параметрам $NEXT$, $FEXT$ и IL , вводимыми в свою продукцию производителями медножильных кабелей и разъемов; считается, что в процессе монтажа проводки выполнены все правила построения трактов на основе кабелей из витых пар, учитывающие превышение частотой линейного сигнала значения 250 МГц;

- 10) запас по пропускной способности, обеспечивающий нормальную эксплуатацию ИВС, и, в частности, получения требуемого уровня вероятности ошибки согласно [19] принимается равным 80% от теоретического значения.

1.5.3. Пропускная способность тракта передачи на основе витой пары

Достаточно точную оценку предельной пропускной способности тракта передачи на основе витой пары можно осуществить с использованием формулы Шеннона [20]:

$$C = W \log_2(1 + S/N), \quad (2)$$

где C — информационная пропускная способность канала по Шеннону;

W — ширина полосы пропускания тракта;

S — мощность сигнала;

N — мощность шума.

Для трактов передачи информации СКС, построенных на основе кабелей из витых пар, отношение S/N в рабочей полосе частот является частотнозависимым параметром. С учетом этого обстоятельства выражение (2) может быть записано в следующем виде:

$$C = \int_W \log_2(1 + S/N) df, \quad (3)$$

где $W \in [f_1; f_2]$, f_1 , f_2 — нижняя и верхняя частоты полосы пропускания соответственно.

В том случае, если при передаче информации за счет выбора типа линейного кода пропускная способность тракта используется полностью, при увеличении верхней граничной частоты значение C асимптотически приближается к $(S/N) \log_2(e)$ [21]. С учетом данной особенности в дальнейшем за верхнюю граничную частоту принимается то ее значение, начиная с которого расширение полосы на 5 МГц увеличивает C менее чем на 1 Мбит/с.

Параметр S/N представляет собой отношение сигнала к шуму, причем его «шумовая» компонента в медножильных кабельных трактах СКС согласно расчетной модели определяется переходной помехой на ближнем и дальнем концах. Эти помеховые составляющие могут быть определены через величины суммарной защищенности на ближнем и дальнем концах $PS-ACR$ и $PS-ELFEXT$. Частотная зависимость предельно допустимых значений $PS-ELFEXT$ по стандарту ISO/IEC 11801:2002 задается непосредственно при длине тракта в 100 м следующим образом:

$$PS-ELFEXT = -20 \lg \left\{ 10 - \frac{C_0 - 20 \lg(f)}{20} + m \times 10 - \frac{C_c - k \lg(f)}{20} \right\} \text{ дБ}, \quad (4)$$

где m — количество разъемов, в которых создается переходная помеха на дальнем конце.

Численные значения остальных параметров, используемых в данном и последующих соотношениях, для элементной базы различных категорий приведены в табл. 8.

Предельные значения $PS-ACR = PS-NEXT - IL$ задаются стандартом в табличной форме и только на опорных частотах. На частотах, которые отличаются от опорных, для расчета привлекаются следующие аналитические соотношения:

$$PS-NEXT = -20 \lg \left\{ 10 - \frac{A_0 - 15 \lg(f)}{20} + n \times 10 - \frac{A_{c0} - k \lg(f)}{20} \right\} \text{ дБ}, \quad (5)$$

$$IL = (L/100) \times (B_0 \sqrt{f} + B_1 \times f + B_2 / \sqrt{f}) + m \times 0,02 \times \sqrt{f} \text{ дБ}, \quad (6)$$

где n — количество разъемов, в которых в тракте, спроектированном в соответствии с требованиями стандарта, создается переходная помеха на ближнем конце.

Размерность частоты f в (4) — (6) принимается в МГц.

При определении величины затухания по (6) принимается, что $L = L_1 + 1,5L_2$, где L_1 — длина — фиксированного кабеля стационарной линии, а L_2 — общая длина соединительных шнуров организуемого тракта. Коэффициент 1,5 учитывает увеличение затухания гибких шнуровых кабелей по сравнению с линейными. Во всех остальных случаях считается $L = L_1 + L_2$.

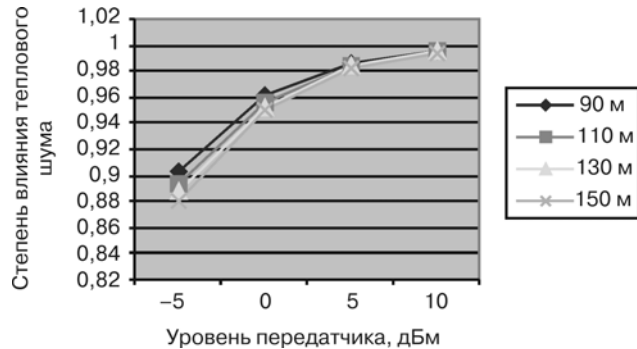


Рис. 10. Зависимость количества пар, необходимых для достижения скорости 10 Гбит/с, от длины тракта при использовании элементной базы различных категорий

Значения коэффициентов m (общее количество разъемных и неразъемных соединителей, организационно входящих в состав кабельного тракта СКС) и n (количество разъемов, влияющих на мощность переходной помехи на ближнем конце) зависят от схемы построения тракта. В случае его реализации на уровне горизонтальной подсистемы по схеме cross-connect и наличии в его составе точки консолидации, который является наилучшим с точки зрения обеспечиваемой пропускной способности, имеем $m = 4$, $n = 2$. При построении технически простейшего варианта тракта (схема interconnect, точка консолидации

отсутствует), который является наиболее благоприятным с точки зрения обеспечения требуемых качественных показателей, принимается $m = 2$, $n = 1$.

Стандарты СКС нормируют значения $PS-ACR$ и $PS-ELFEXT$ только при длине тракта 100 м. В том случае, если она отличается от указанной, величина защищенности меняется. Оценка этого изменения для переходной помехи на ближнем конце проблем не вызывает, так как напряжение переходной помехи в этой точке для единичного источника без учета фазовых соотношений при $R(l) = const$ может быть оценено как

$$U_{n0} = R \int_0^L \exp(-2\alpha l) dl = \frac{R}{2\alpha} [1 - \exp(-2\alpha L)], \quad (7)$$

где R — коэффициент электромагнитной связи между цепями передачи сигналов, α — коэффициент затухания.

Таким образом, в интересующем нас диапазоне изменений длин тракта порядка нескольких десятков метров и выше мощность переходной помехи на ближнем конце перестает зависеть от L . Исходя из этого, во всем анализируемом диапазоне изменения L принимается

$$PS-ACR(L) = PS-NEXT(L=100) - IL(L),$$

где $PS-NEXT(L=100)$ и $IL(L)$ определяются по формулам 5 и 6, соответственно.

Данное утверждение, в свою очередь, означает, что защищенность от переходной помехи на ближнем конце определяется исключительно затуханием сигнала.

Напряжение переходной помехи на дальнем конце при аналогичных предположениях зависит от длины тракта более сложным образом:

$$U_{nL} = R \int_0^L \exp(-\alpha l) \exp[-\alpha(L-l)] dl = R \times L \times \exp(-\alpha L). \quad (8)$$

Защищенность от переходной помехи на дальнем конце в этом случае равна

$$ELFEXT = 1/R \times L. \quad (9)$$

С учетом (9) получаем:

$$PS-ELFEXT(L) = PS-ELFEXT(L=100m) - 10 \lg(L/100). \quad (10)$$

Результаты расчетов с использованием формул 4, 5, 6 и 10 приведены на рис. 9 в форме количества N пар, требуемых для передачи 10-гигабитного информационного потока на расстояние L^1 . При расчетах наряду с требованием модели дополнительно вводились следующие предположения:

¹ Данные приводятся только для элементной базы категорий 6 и 7. При использовании стандартных компонентов категории 5е заданная пропускная способность обеспечивается только при длине стационарной линии не свыше 25 м, чего явно недостаточно для подавляющего большинства случаев реализации проводки. Поэтому элементная база категории 5е из дальнейшего рассмотрения исключается.

- при количестве требуемых витых пар менее четырех из соображений обеспечения возможности применения стандартной элементной базы условно принималось $N = 4$;
- в организуемом тракте отсутствуют точка консолидации, а подключение активного сетевого оборудования осуществляется по схеме interconnect (появление этих технических объектов в тракте не оказывает на его пропускную способность заметного влияния);
- шнуры имеют фиксированную длину, равную 5 м;
- эквалайзер обеспечивает подавление переходной помехи на ближнем конце на 25 дБ.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что передача 10-гигабитного потока по тракту, построенному с использованием стандартной элементной базы категории 6, возможна только на 55 м. В отличие от этого технические характеристики элементной базы категории 7 потенциально позволяют строить линии протяженностью вплоть до 150 м с сохранением принятой в СКС 4-парной схемы организации связи. При этом такие линии обеспечивают поддержку функционирования 10-гигабитных сетевых интерфейсов.

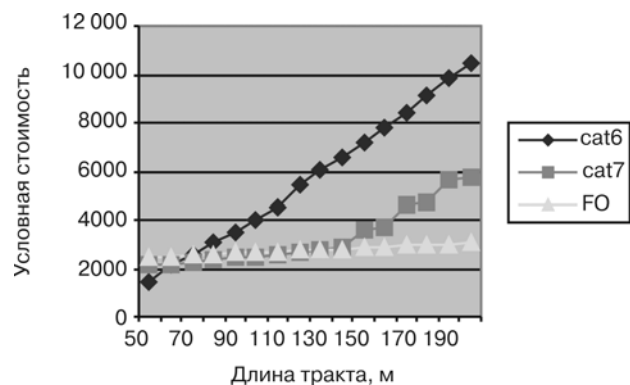


Рис. 11. Стоимостное сравнение различных вариантов организации тракта передачи 10-гигабитных сигналов

1.5.4. Оценка степени влияния теплового шума на пропускную способность тракта

Мощность собственного (теплового) шума приемника не зависит от величины нагрузочного сопротивления и численно равна

$$\sigma_i^2 = 4kT\Delta F, \quad (11)$$

где $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Вт/Гц \times К — постоянная Больцмана,
 T — абсолютная температура приемника (в дальнейшем считается, что $T = 300$ К);
 ΔF — ширина полосы частот, в которой определяется мощность шума.

При построении сетевых интерфейсов 10G Base-T предполагается использование многоуровневых линейных сигналов PAM-16 [24] и блочного кодирования 64B66B. Отсюда можно предположить, что передаваемый по линии сигнал во всем рабочем частотном диапазоне имеет близкую к равномерной спектральную плотность мощности. С учетом малости f_1 уровень сигнала в полосе 1 Гц оценим выражением

$$p_c = p_o - 10\lg W - IL(L, f), \quad (12)$$

где p_o — уровень сигнала на выходе передатчика.

Результаты расчетов, выполненные на основании формулы 12 для случая передачи с использованием 4 пар и элементной базы категории 7, представлены на рис. 10. Из приведенных на нем графиков следует, что при уровне p_o порядка 0 дБ и выше, что обычно выполняется на практике, воздействие тепловых шумов снижает пропускную способность тракта длиной вплоть до 150 м менее чем 5% даже при отсутствии предвысказания, то есть может считаться пренебрежимо малым. Таким образом, тракт на основе кабелей из витых пар функционирует в режиме ограничения переходной помехой.

1.5.5. Стоимостные характеристики различных вариантов построения трактов передачи

В процессе анализа стоимостных параметров различных вариантов предполагается, что стоимость:

- 1) решения в независимости от типа применяемой элементной базы складывается из цены пассивного оборудования и выполнения работ по их установке, а также цены активных сетевых приборов;
- 2) работ по установке и последующему тестированию пассивной части системы пропорциональна стоимости монтируемой элементной базы;
- 3) активного оборудования изменяется пропорционально количеству передаваемых каналов;
- 4) в случае реализации линии связи на волоконно-оптической элементной базе она строится на кабеле с многомодовыми ОВ категории OM3; считается, что передача информации осуществляется в последовательной форме на длине волны 850 нм.

Оценка стоимостных параметров различных вариантов решения в абсолютных денежных единицах затруднена из-за различной стратегии производителей СКС в области продвижения своего продукта. Факторами, которые оказывают влияние на этот параметр, являются: целевая фокусная группа основных потребителей, географический регион сбыта, величина наценки на имя и т. д. С учетом данного обстоятельства в ходе дальнейшего анализа применим подход, дающий более стабильные числовые оценки стоимости, позволяющий непосредственно выполнять сравнение решений одного типа из раз-

личных ценовых групп и основанный на использовании нормированной условной стоимости основных компонентов тракта передачи. В рамках реализации подобного подхода в качестве количественной меры стоимости различных компонентов, из которых строится тракт передачи 10-гигабитного потока, примем стоимость 1 м обычного симметричного горизонтального кабеля категории 5е с ПВХ-оболочкой. Стоимость остальных компонентов выражается количеством метров кабеля и приведена в табл. 10. Данные в этой таблице получены усреднением по шести ведущим производителям СКС. Стоимость розеточных частей разъемов, устанавливаемых на разных концах линии, в подавляющем большинстве случаев оказывается достаточно близкой, а имеющаяся разница по этому параметру практически не влияет на окончательные результаты. Поэтому в дальнейшем стоимость данных компонентов для простоты принимается одинаковой.

Таблица 10. Оценочные величины условной стоимости основных компонентов тракта передачи

Компонент	Условная стоимость компонента	Необходимость выполнения монтажных работ
Кабель категории 5е	1	+
Кабель категории 6	2,03	+
Кабель категории 7	3,98	+
Порт медножильный категории 5е	22,4	+
Порт медножильный категории 6	34,1	+
Порт медножильный категории 7	120	+
Шнур категории 5е	16,5	–
Шнур категории 6	26,5	–
Шнур категории 7	175	–
Оптический кабель (2 волокна OM3)	2.56	+
Порт оптический	116	+
Шнур оптический	134	–
Интерфейс медножильный	1000	–
Интерфейс оптический	1500	–

Результаты расчетов приведены на рис. 11 и свидетельствуют о том, что при необходимости передачи информационных потоков со скоростями 10 Гбит/с на расстояние до 130–140 м варианты организации тракта на основе кабелей из витых пар оказываются экономически более предпочтительными. Выше этого порога начинают проявляться технические преимущества оптических решений по «дальнобойности», что проявляется в конечном счете в их стоимостном превосходстве. Данное значение практически совпадает с предельной величиной длины линии, после которой для сохранения пропускной способности линии на уровне не менее 10 Гбит/с приходится переходить на схему передачи с пятью и более параллельными потоками информации даже в случае использования экранированной техники категории 7. Во всех остальных ситуациях решение на основе кабелей из витых пар, не уступая оптическому варианту по техническим параметрам, позволяет улучшить экономические параметры реализуемого проекта. Таким образом, в области построения линий протяженностью не свыше 130–150 м применение оптической элементной базы является оправданным только в случае выдвижения особых требований по гальванической развязке соединяемых пунктов, защищенности от внешних электромагнитных помех и т. д.

1.6. Выводы

Современная СКС и ее волоконно-оптическая подсистема реализуются по звездобразной, преимущественно иерархической, топологии и состоят в общем случае из нескольких подсистем с детально стандартизованными на международном и региональном уровнях параметрами и интерфейсами.

Задаваемые стандартами возможности выбора вариантов топологического построения и принципов администрирования структурированной проводки и ее оптической подсистемы позволяют очень гибко адаптировать СКС к условиям конкретного проекта и оптимальным образом согласовывать ее с решаемой задачей обеспечения информационной поддержки.

Введение волоконно-оптического оборудования в состав штатной элементной базы СКС позволяет значительно расширить функциональные возможности структурированной проводки в первую очередь за счет обеспечения возможности передачи без переприема информационных потоков со скоростями вплоть до 10 Гбит/с на максимальные расстояния от нескольких сотен метров до двух (трех) километров. Наиболее существенными факторами, определяющими предельно допустимую протяженность оптического тракта СКС, являются тип волокна, рабочая длина волны и скорость линейного сигнала конкретного приложения.

Основным комплексным функциональным элементом оптической подсистемы СКС из-за технических особенностей передачи информации в оптиче-

ском диапазоне длин волн является стационарная линия. Длина стационарной линии и технология оконцевания линейного кабеля элементами оптических разъемов в случае использования элементной базы с параметрами, отвечающими требованиям стандартов, полностью определяют характеристики, критически важные для обеспечения заданного качества передачи сигнала в случаях построения как простого, так и составного трактов. Иначе говоря, линейную часть тракта передачи информации любой сложности, реализованного на основе структурированной кабельной системы, можно рассматривать как совокупность стационарных линий, последовательно соединенных друг с другом и подключенных к активному сетевому оборудованию коммутационными шнурами.

Отдельные функциональные элементы структурированной проводки (стационарная линия, оконечные и промежуточные коммутационные шнуры) должны обеспечивать пространственное скрещивание световодов каждой пары. Такой подход позволяет формировать инвариантные к изменению структуры тракты передачи произвольной сложности и дает возможность минимизировать номенклатуру типов элементной базы. Необходимость применения обращенных шнуровых изделий и односторонней инверсной раскладки волокон стационарной линии требуется в случаях формирования коммутационного поля по схеме cross-connect и применения на уровне горизонтальной подсистемы точки консолидации.

Основной областью применения волоконно-оптической техники в СКС являются магистральные подсистемы. На этом уровне оптические решения могут применяться даже при протяженности линий не свыше нескольких десятков метров (меэтажные соединения), так как обеспечивают эффективную гальваническую развязку дорогостоящего высокоскоростного оборудования в связываемых технических помещениях.

Нижние уровни структурированной проводки полностью или частично могут быть построены на волоконно-оптической элементной базе в случае выделения в конкретном проекте особых требований по тем преимуществам, которые по сравнению с витой парой дает волоконный световод как среда передачи информации (защита передаваемой информации от несанкционированного доступа, работа линейной части ИВС в зоне действия сильных электромагнитных помех и т. д.).

ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ ПО ВОЛОКОННЫМ СВЕТОВОДАМ

Принципы функционирования и устройства подавляющего большинства элементов, совокупность которых образует тракт передачи оптических сигналов СКС, давно известны и описаны в ряде фундаментальных трудов. Поэтому в данной главе ограничимся рассмотрением только тех аспектов передачи оптических сигналов по ОВ, которые являются важными с точки зрения техники СКС.

2.1. Распространение излучения в волоконных световодах и их типы

2.1.1. Принцип действия волоконного световода, его числовая апература и моды излучения

Волоконный световод представляет собой диэлектрический волновод цилиндрической формы, который предназначен для передачи электромагнитного излучения оптического (обычно ближнего ИК) диапазона длин волн, соответствующего частотам $10^{14} \div 10^{15}$ Гц.

Принцип действия волоконного световода основан на использовании известных процессов отражения и преломления оптической волны на границе раздела двух сред с различными показателями преломления n . При падении луча на границу раздела в общем случае появляется преломленная и отраженная волны, см. рис. 12а. Согласно закону Снеллиуса угол падения φ_n связан с углами отражения $\varphi_{отр}$ и преломления $\varphi_{пр}$ следующей парой соотношений

$$\varphi_n = \varphi_{отр}; \quad n_1 \times \sin \varphi_n = n_2 \times \sin \varphi_{пр}. \quad (13)$$

Среда с большим показателем преломления называется оптически более плотной. Если луч выходит из оптически более плотной среды в менее плотную ($n_1 > n_2$), то из формулы 13 следует $\varphi_{пр} > \varphi_n$. По мере увеличения угла падения можно достичь такого состояния, когда преломленный луч начинает скользить по границе раздела двух сред без перехода в оптически менее плотную среду (рис. 12б). Угол падения, при котором наблюдается такой эффект, называется предельным углом полного внутреннего отражения $\varphi_{пво}$. Для всех углов паде-

ния, которые превышают предельный, будет иметь место только отражение, а преломленная волна отсутствует (рис. 12в). Это явление называется полным внутренним отражением, и оно положено в основу передачи оптического излучения по световоду.

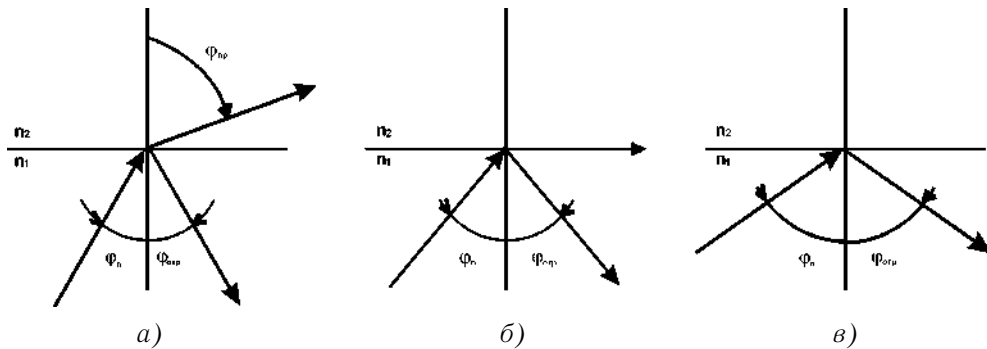


Рис. 12. Падение световой волны на границу раздела двух диэлектрических сред с различной оптической плотностью:
а) при $\varphi_n < \varphi_{nво}$, б) при $\varphi_n = \varphi_{nво}$, в) при $\varphi_n > \varphi_{nво}$

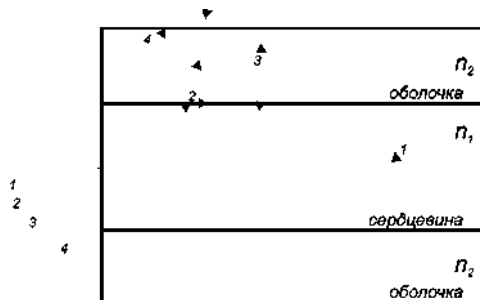


Рис. 13. Прохождение световой волны в ступенчатом волоконном световоде в соответствии с лучевой теорией

Известны несколько конструкций волоконных световодов, пригодных для передачи информационных сигналов. ОВ, применяемые в кабелях СКС, изготавливаются из кварцевого стекла, имеют круглое поперечное сечение и образованы двумя основными элементами. В осевой области располагается сердцевина из оптически более плотного стекла, ее окружает оболочка из стекла с меньшей оптической плотностью¹, см. рис. 14. Оптической плотностью

¹ В некоторых публикациях, главным образом переводных и изданных в 90-х гг. прошлого века, встречаются не совсем корректные названия этих элементов — «ядро» и «буфер», которые получены прямым переводом с английского языка. Правильным является использование терминов «серцевина» и «оболочка», употребляемых в отечественной научно-технической литературе с середины 80-х гг. и нормированных, в частности, ГОСТ 25462-82.

(показателем преломления) стекла управляют в процессе изготовления ОВ для получения заданных свойств. При добавлении окиси бора и фтора показатель преломления снижается, а добавки окиси германия и фосфора увеличивают значение этого параметра. В силу целого ряда соображений в процессе производства волокна его оболочка изготавливается из чистого кварца, а легированное стекло применяется для формирования сердцевин [23].

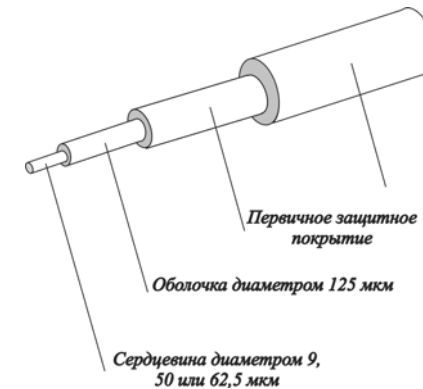


Рис. 14. Конструкция волоконного световода оптических кабелей СКС

На границе раздела сердцевин и оболочки происходит отражение оптических лучей, которые распространяются вдоль оси световода. Таким образом, сердцевина служит для передачи электромагнитной энергии, а оболочка предназначена для создания лучших условий отражения на границе раздела двух сред и уменьшения излучения оптической энергии в окружающее пространство.

В круглом диэлектрическом волноводе при освещении входного торца его сердцевины источником света существует бесконечное множество волн. Однако лишь конечное количество волн локализуется в сердцевине и направляется вдоль оси волокна. Такие волны называются собственными волнами, или модами волоконного световода [24]. Каждой такой волне обычно ставится в соответствие свой угол наклона луча относительно продольной оси световода. Из соображений поддержания единства терминологии данное понятие распространяется на общий случай, и модами называются все типы волн, которые могут существовать в ОВ.

К направляемым (иначе внутренним) модам относятся те из них, лучи которых распространяются вдоль сердцевин волокна и обеспечивают передачу информации (лучи 1 и 2 на рис. 13). Направляемые моды считаются основным типом электромагнитной волны и возбуждаются теми лучами, которые падают на торец ОВ под углом, не превышающим предельный угол Θ_A , называемый апертурным углом. Основные типы современных световодов имеют апертурный угол в пределах от 7 до 17 градусов. В процессе теоретического анализа и выполнения инженерных расчетов часто бывает удобно пользоваться не абсолютным значением угла Θ_A , а величиной $NA = \sin \Theta_A$, которая называется (теоретической) числовой апертурой. Этот параметр представляет собой числен-

ную меру разности показателей преломления сердцевины и оболочки [25] и при указанных выше величинах апертурных углов имеет значение в интервале 0,12–0,3. С показателями преломления сердцевины n_1 и оболочки n_2 числовая апертура связана следующим простым соотношением:

$$NA = \sin \Theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta}, \quad (14)$$

где $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$ — так называемая нормированная разность показателей преломления.

Заметим, что из формулы (14) прямо следует, что числовая апертура ОВ определяется только показателями преломления сердцевины и оболочки и не зависит от их геометрических размеров.

Выражение (14) учитывает только так называемые меридиональные лучи, которые пересекают ось световода. В реальных условиях в ОВ преобладают косые лучи, которые не пересекают ось, а траектория их распространения представляет собой ломаные или плавные винтовые спирали. Учитывающая наличие этих лучей так называемая действительная, или эффективная, числовая апертура несколько превышает теоретическую [26].

Лучи, которые падают на торец ОВ под углом, превышающим Θ_A , достигают границы сердцевины и за счет преломления в оболочку теряют часть энергии, испытывая при этом большое затухание (луч 3 на рис. 13). Моды, соответствующие таким лучам, называются вытекающими.

Наконец, при падении лучей под углами, существенно превышающими Θ_A , часть из них достигает внешней поверхности оболочки и излучается в окружающее пространство (луч 4 на рис. 13). Такие моды называются *излучаемыми*. Излучаемые моды возникают также в местах нерегулярностей световодов. Появление вытекающих и излучаемых мод приводит к росту потерь и искажениям передаваемой информации.

2.1.2. Френелевские отражения

Френелевские отражения всегда появляются на границе раздела двух сред с различными показателями преломления n_1 и n_2 . Применительно к технике оптической связи наиболее вероятными местами возникновения отражений данной разновидности являются

- области ввода излучения в волоконный световод и его вывода оттуда;
- точка соединения ОВ в разъемах в случае наличия воздушного зазора между ними;
- неразъемное соединение при отличии показателей преломления материалов сердцевины сращиваемых волокон.

Количественной мерой интенсивности эффекта Френеля является коэффициент отражения, равный

$$\rho = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2. \quad (15)$$

В тех случаях, когда одной из сред является воздух, у которого $n = 1$, а вторая представляет собой кварцевое стекло с показателем преломления, близким к 1,475, из формулы (15) следует, что коэффициент френелевского отражения равен примерно 4%.

Отражение достаточно большой части оптической энергии приводит к тому, что эффект Френеля сопровождается также появлением заметных потерь при прохождении света через границу раздела двух сред. На основании формулы (15) их величина будет равна $A_F = -20 \lg(1 - \rho)$ дБ.

В технике оптической связи френелевские потери достигают своего максимального значения при соединении двух волокон в случае отсутствия физического контакта между ними. В данной ситуации за счет наличия двукратного скачка показателя преломления на переходе стекло — воздух — стекло их величина составляет $2A_F \approx 0,34$ дБ.

В основной массе случаев из-за появления отражения и возникновения дополнительных потерь эффект Френеля является вредным явлением и должен быть подавлен до безопасного уровня за счет устранения различными способами скачка показателя преломления. Наиболее распространенными способами достижения такого состояния являются обеспечение физического контакта соединяемых волокон и ввода в область их соединения прозрачной иммерсионной жидкости со специально подобранным показателем преломления (минимизация разницы n_1 и n_2). Физический контакт реализуется в подавляющем большинстве современных разъемов, а сочетание физического контакта с иммерсионной жидкостью используется в так называемых механических сплайсах и иммерсионных разъемах (см. раздел 10.4). Известен также применяемый исключительно в области волоконной оптики способ подавления отражения, основанный на таком формировании геометрии области отражения, чтобы отраженное излучение высвечивалось в основном в окружающее пространство и не попадало обратно в передатчик (угловой физический контакт, см. параграф 5.2.4).

Положительным моментом от эффекта Френеля является то, что наличие мощного отраженного сигнала дает возможность достаточно простыми средствами определить длину волокон или расстояние до места повреждения кабеля с помощью импульсных измерительных приборов.

2.1.3. Типы волоконных световодов

Показатель преломления оболочки волоконного световода, как правило, имеет постоянное значение, тогда как показатель преломления сердцевины может оставаться постоянным или же изменяться вдоль ее радиуса по определенному закону, который носит название профиля показателя преломления.

Простейшим типом ОВ является так называемый ступенчатый световод¹. В нем показатель преломления сердцевины остается постоянным вдоль его радиуса.

В зависимости от диаметра d сердцевины ОВ делятся на две группы: одномодовые и многомодовые. Световод называется одномодовым, если в нем существует только одна направляемая мода, см. рис. 15в. Одномодовый режим функционирования ОВ представляет существенный практический интерес, так как в этом режиме световод как среда передачи электромагнитной энергии имеет значительно лучшие частотные свойства. Минимальная длина волны, на которой ОВ еще сохраняет одномодовый режим, носит специальное наименование длины волны отсечки.

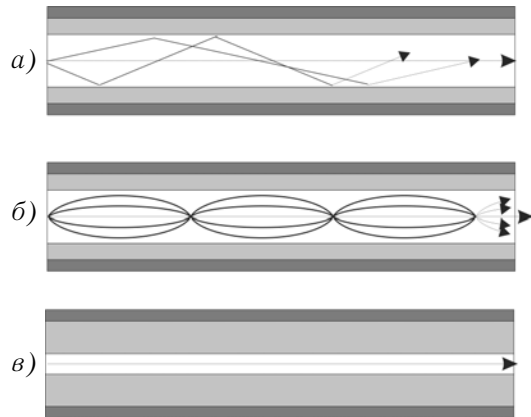


Рис. 15. Распространение световых лучей в световодах: а) ступенчатом; б) градиентном; в) одномодовом

В одномодовых волокнах заметная часть оптической энергии распространяется в слоях оболочки, непосредственно примыкающих к сердцевине. Так, в частности, в стандартных (ступенчатых) одномодовых ОВ при работе в режиме $V \approx 2,4$, что обычно имеет место на практике, по сердцевине идет передача не более 84% оптической энергии [27]. Поэтому для данной разновидности световодов более корректным является указывать не диаметр сердцевины, а так называемый диаметр модового поля (диаметр поля моды). Этот параметр численно равен удвоенному расстоянию от оси волокна до той точки, где плотность оптической мощности падает в 2,72 раза по сравнению с максимальным значением. Для используемых на практике одномодовых ОВ фактическое значение диаметра модового поля на 10–12% превышает диаметр сердцевины и имеет тенденцию к увеличению по мере роста длины волны, см. рис. 16.

² Строго говоря, данные ОВ следует называть волокном со ступенчатым профилем показателя преломления. Однако из соображений удобства на практике употребляется «укороченный» вариант этого термина, звучащий как «ступенчатое волокно».

В многомодовых ОВ диаметр d сердцевины по сравнению с одномодовым увеличивают в 5–10 раз или даже более. Для таких световодов условия полного внутреннего отражения выполняются для нескольких типов волн (мод),

количество которых для ступенчатого волокна составляет $M = \frac{V^2}{2}$, где через $V = \frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ обозначено так называемое волновое число¹.

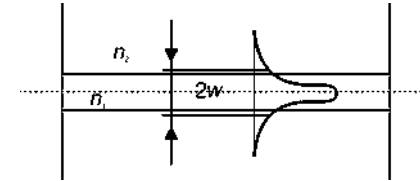


Рис. 16. Распределение плотности оптической энергии в прямолинейном одномодовом световоде

От профиля показателя преломления в значительной степени зависят частотные свойства световодов. В ступенчатых многомодовых ОВ траектории лучей отдельных мод имеют вид зигзагообразных линий, см. рис. 15а. За счет этого они проходят с одинаковой скоростью различные пути, что сопровождается появлением значительной дисперсии. Для ее подавления до приемлемого уровня на практике часто применяют отличные от ступенчатых профили. Так, например, в очень широко распространенном на практике градиентном световоде² показатель преломления монотонно снижается по мере удаления от оси по закону:

$$n(r) = n_1 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{2r}{d} \right)^\alpha \right]^{1/2}. \quad (16)$$

В таких волокнах, предложенных в 1974 г., траектории распространения большинства лучей представляют собой плавные кривые (рис. 15б), что позволяет заметно улучшить частотные свойства волокна. Показатели расчетов и экспериментов показывают, что наилучшие результаты достигаются в том случае, если закон изменения показателя преломления близок к квадратичной параболе [28], то есть $\alpha \approx 2$. Из аналогичных соображений для получения дисперсионных параметров, необходимых для решения определенного класса задач, в области одномодовых ОВ наряду со ступенчатым профилем (так называемое стандартное волокно) находят применение световоды с обычным или сегментированным треугольным, W-образным многоступенчатым и другими профилями.

¹ Реже употребляется наименование этого коэффициента как параметр волокна.

² Название представляет собой типичный технический жаргонизм и получено в результате не совсем точного перевода английского термина *graded index*.

2.1.4. Геометрические параметры волокон

Выбор геометрических параметров ОВ представляет собой сложную многокритериальную задачу и требует одновременного учета механических, передаточных и технологических параметров. С механической точки зрения световод должен быть достаточно прочным и гибким. Обеспечение большой разрывной прочности требует увеличения диаметра волокна, что снижает его гибкость за счет роста механических напряжений на оболочке при изгибе. Увеличение общего диаметра ОВ предпочтительно также с технологической точки зрения, так как требования к абсолютной величине допусков на размеры ослабляются с их ростом. Увеличение диаметра сердцевинки выгодно тем, что при прочих равных условиях позволяет ввести в ОВ большую оптическую мощность. Вместе с тем при увеличении этого параметра растут потери в волокне и ухудшаются его частотные свойства.

Многомодовое ОВ с диаметром сердцевинки 50 мкм было разработано в 1976 г. [29] и на ранних этапах развития техники оптической связи применялось преимущественно в Европе и азиатских странах. В СССР до 1991 г. в области многомодовой техники также придерживались 50-микронного стандарта. В США при изготовлении градиентных световодов до начала массового применения оборудования Gigabit Ethernet наибольшей популярностью пользовались сердцевинки с диаметром 62,5 мкм. ОВ этого стандарта было разработано в 1986 г., первоначально предназначалось для поддержки функционирования интерфейсов FDDI¹ и в первые годы после создания активно продвигалось на рынке компанией IBM. Основным доводом в пользу применения ОВ с увеличенными диаметром сердцевинки и значением числовой апертуры была возможность определенного ослабления требований в отношении качества полировки торцевой поверхности и точности поддержания геометрических параметров. После перехода на гигабитные и мультигигабитные скорости передачи информации популярность 50-микронных волокон существенно возросла по обеим сторонам Атлантики, что обусловлено в первую очередь их существенно лучшими частотными свойствами [30].

Многомодовые волокна с другими диаметрами сердцевинки (например, 85 и 100 мкм) были стандартизованы на международном уровне, однако не получили широкого распространения. Со второй половины 90-х гг. прошлого века они крайне редко встречаются в практике реализации сетей передачи информации общего применения.

Условием достижения одномодового режима в ступенчатом ОВ является выполнение неравенства $\frac{d}{2\lambda} n_1 \sqrt{\Delta} < 0,3$. При типичных для современных волокон значениях $\Delta = 0,01$ и $n_1 = 1,48$ из этого соотношения получаем, что ступенчатый световод работает в одномодовом режиме при $d < 8,9\lambda$. Таким образом, в практически интересном для техники оптической связи спектральном диапазоне $0,8 < \lambda < 1,55$ мкм диаметр его сердцевинки должен составлять 7–13 мкм.

Толщину оболочки световода выбирают таким образом, чтобы потери в ней увеличивали общее затухание передаваемого сигнала не более чем на несколько процентов. Установлено, что этому условию в области многомодовых световодов удовлетворяют ОВ с отношением радиусов оболочки и сердцевинки в пределах 2–2,5. Геометрические параметры одномодовых световодов выбирают по тем же критериям. Исходя из чисто передаточных характеристик, диаметр оболочки может составлять примерно 80 мкм. Однако из соображений унификации внешний диаметр одномодовых волокон выбран одинаковым с многомодовыми и составляет 125 мкм.

Номинальные диаметры сердцевинки и оболочки принято измерять в микрометрах и указывать в технических характеристиках ОВ в явном виде через знак косой черты в следующем формате: «диаметр сердцевинки/ диаметр оболочки». В соответствии с этим правилом 62,5/125 обозначает световод с диаметром сердцевинки в 62,5 мкм и с оболочкой диаметром 125 мкм.

Первые образцы серийных волокон имели постоянный показатель преломления оболочки и изготавливались из одного материала. В некоторых ситуациях применяются более сложные структуры оболочек без изменения их номинального внешнего диаметра. Так, в частности, сложные профили показателя преломления оболочек в областях, примыкающих к сердцевине, являются достаточно распространенными для одномодовых световодов, что позволяет осуществить коррекцию их дисперсионных свойств (см. параграф 2.2.3). Известно также многомодовое ОВ типа GGP (от glass-glass-polymer), серийно применяемое в шнуровых изделиях различного назначения компанией 3М (см. параграф 3.3.4). В данной конструкции оболочка волокна выполнена двухслойной. Первый внутренний слой изготавливается из стекла и имеет внешний диаметр 100 мкм. Материалом второго внешнего слоя диаметром 125 мкм, который прочно сцеплен со стеклом, служит полимер. Использование такой структуры позволяет получить специальные свойства по механическим параметрам.

Первые образцы серийных волокон имели постоянный показатель преломления оболочки и изготавливались из одного материала. В некоторых ситуациях применяются более сложные структуры оболочек без изменения их номинального внешнего диаметра. Так, в частности, сложные профили показателя преломления оболочек в областях, примыкающих к сердцевине, являются достаточно распространенными для одномодовых световодов, что позволяет осуществить коррекцию их дисперсионных свойств (см. параграф 2.2.3). Известно также многомодовое ОВ типа GGP (от glass-glass-polymer), серийно применяемое в шнуровых изделиях различного назначения компанией 3М (см. параграф 3.3.4). В данной конструкции оболочка волокна выполнена двухслойной. Первый внутренний слой изготавливается из стекла и имеет внешний диаметр 100 мкм. Материалом второго внешнего слоя диаметром 125 мкм, который прочно сцеплен со стеклом, служит полимер. Использование такой структуры позволяет получить специальные свойства по механическим параметрам.

2.1.5. Варианты возбуждения многомодовых волокон

Одной из задач, которую решает разработчик в процессе создания передатчика оптического трансивера, является определение типа излучателя. В качестве основных критериев выбора при этом используются обеспечиваемые им скорость передачи и дальность связи. Учитываются также температурная стабильность, энергопотребление, ток модуляции, ширина спектра генерируемого излучения и другие аналогичные параметры. В наиболее полной степени комплексу требований, предъявляемым к излучателю оптических передатчи-

¹ С учетом данной особенности в англоязычной технической литературе иногда употребляют обозначение этого типа световодов как FDDI- или FDDI-grade-волокна.

ков сетевых интерфейсов, отвечают такие полупроводниковые источники света, как светодиоды, лазеры с объемным вертикальным резонатором (VCSEL-лазеры) и лазеры с резонатором Фабри-Перо. Из-за относительно большого диаметра сердцевины многомодового ОВ каждый из перечисленных источников света действует на волокно по-разному.

СД не обладают высокой направленностью и имеют излучающую площадку достаточно большой площади. Поэтому диаметр создаваемого ими светового потока составляет около 100 мкм, то есть он полностью перекрывает сердцевину многомодового световода и частично захватывает оболочку, см. рис. 17а. С учетом этой особенности процесс ввода излучения в ОВ от такого источника называют режимом возбуждения с переполнением, или OFL-режимом (от OFL — overfilled launch).

Быстродействие современных СД является недостаточным для передачи информационных потоков с гигабитными и мультигигабитными скоростями. Для получения необходимого быстродействия передающих устройств в оптических трансиверах сетевых интерфейсов Gigabit Ethernet и 10G Ethernet используются исключительно лазерные источники излучения. Из соображений достижения высокой экономичности решения и с учетом небольшой длины кабельных трактов ЛВС и КС в таких оптических передатчиках часто устанавливаются VCSEL-лазеры (подробнее — см. параграф 3.2.2). По сравнению со СД данный тип излучателя имеет существенно более высокую направленность излучения и меньшие габариты активной области. За счет этого типовое значение диаметра генерируемого им светового потока, который падает на торцевую поверхность ОВ, составляет около 30 мкм, что меньше диаметра сердцевины основных типов многомодовых ОВ. Результатом данной конструктивной особенности является то, что источник освещает только часть сердцевины световода, см. рис. 17б.

Лазеры с резонаторами Фабри-Перо, которые являются основным типом излучателей оптических передатчиков спектральных диапазонов 1300–1310 и 1550 нм, имеют еще более высокую направленность излучения и предельно минимизированные габариты активной области. За счет этого диаметры выходного светового потока и сердцевины одномодового ОВ оказываются при-

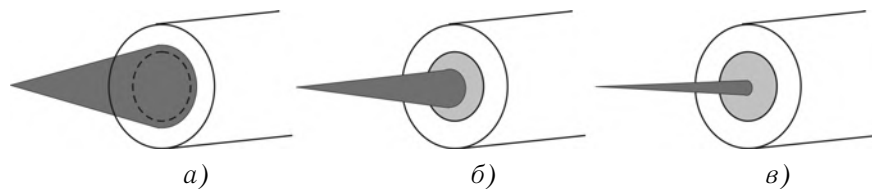


Рис. 17. Различные режимы возбуждения волоконного световода полупроводниковым излучателем:

а) возбуждение с переполнением; б) возбуждение VCSEL-лазером; в) возбуждение от лазера с резонатором Фабри-Перо

мерно одинаковыми. Как результат при работе с многомодовым световодом излучатель освещает на торцевой поверхности его сердцевины только небольшую область диаметром около 10 мкм, см. рис. 17в.

Процесс ввода излучения в ОВ при использовании лазера называется режимом с частичным возбуждением, или RML-режимом (от restricted mode launch). При работе в RML-режиме требуется выделить еще два случая. В первом из них пятно светового излучения попадает точно в центр сердцевины (CL-режим, от Central Launch), во втором оно различными технологическими приемами целенаправленно несколько смещается в его периферийную область (OSL-режим, от Off-Set Launch) [31].

Необходимость учета условий ввода возникает из-за того, что соотношение диаметров светового потока и сердцевины многомодового ОВ оказывает достаточно сильное влияние на частотные свойства тракта передачи, реализуемого на его основе. От данного параметра в определенной степени зависят также потери оптического сигнала при его передаче [32].

2.2. Дисперсия одномодовых световодов

2.2.1. Явление дисперсии оптического излучения в волоконных световодах

Дисперсия возникает из-за рассеяния во времени спектральных и модовых составляющих оптического сигнала и ограничивает полосу пропускания ОВ как направляющей системы электромагнитных колебаний. Наличие этого эффекта в случае передачи в аналоговой форме приводит к амплитудно-частотным искажениям. В цифровых системах связи явление дисперсии вызывает появление межсимвольной интерференции (наложение соседних импульсов друг на друга), что сопровождается увеличением вероятности ошибки принимаемого сигнала.

Основная масса современной сетевой аппаратуры использует цифровой способ передачи. В силу этого в процессе выполнения теоретического анализа передачи информационных сигналов по оптическим трактам поддисперсией понимают квадратичную разность длительностей или увеличение длительности импульса линейного сигнала при прохождении им ОВ определенной длины L [33]:

$$\tau(L) = \sqrt{t_1^2 - t_2^2}, \quad (17)$$

где t_1, t_2 — длительности импульсов на выходе и входе, измеренные на определенном уровне, например половинной амплитуды.

Функция $\tau(L)$ в общем случае отличается от линейной, однако при выполнении инженерных расчетов систем оптической связи с достаточной для практики точностью можно принять $\tau(L)/L = \text{const}$. На основании этого параметр дисперсии для определенности указывается для ОВ длиной $L = 1$ км. Строго говоря, в данном случае необходимо говорить об удельной дисперсии, или дис-

персионном коэффициенте. Однако исторически для обозначения этого параметра используется термин дисперсия.

В технике оптической связи в одномодовых и многомодовых ОВ учитывают различные виды дисперсии, см. рис. 18.

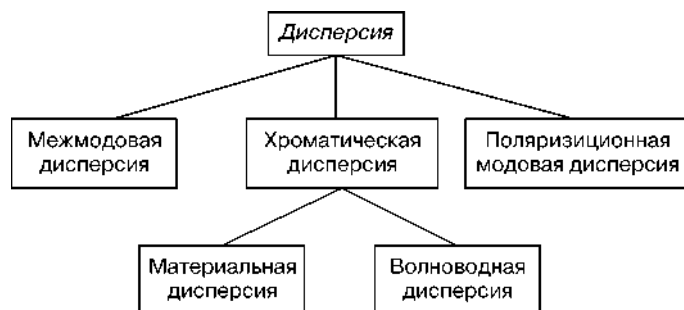


Рис. 18. Составляющие дисперсии

2.2.2. Разновидности дисперсии

Хроматическая дисперсия обусловлена зависимостью условий распространения света по ОВ от длины волны. Причиной ее возникновения является конечная спектральная ширина оптической несущей выходного сигнала передатчика. Эта разновидность дисперсии имеет две составляющие: материальную и волноводную. **Материальная дисперсия**, или дисперсия материала, обусловлена зависимостью показателя преломления сердцевинки и оболочки от длины волны. Ее величина практически одинакова для всех типов ОВ и задается следующим образом [34]:

$$\tau_s = \frac{\lambda \Delta \lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2}, \quad (18)$$

где λ — центральная длина волны оптической несущей;
 $\Delta \lambda$ — ширина спектра источника света;
 n_1 — показатель преломления материала сердцевинки;
 c — скорость света.

Волноводная дисперсия τ_w , иногда называемая внутримодовой дисперсией [35], появляется из-за зависимости условий распространения моды от длины ее волны. Основной причиной ее возникновения является отмеченное в параграфе 2.1.3 явление распространения заметной части оптической энергии в областях оболочки одномодового ОВ, непосредственно примыкающих к сердцевинке, то есть там, где показатель преломления стекла заметно ниже. Величина этой дисперсионной составляющей определяется следующим образом:

$$\tau_w = \frac{\lambda \Delta \lambda}{c} 2n_1^2 \Delta. \quad (19)$$

При этом для реальных волокон $\tau_s > \tau_w$ и знаки изменения описывающих их функций противоположны в части спектрального диапазона, практически интересного для техники оптической связи.

Анализ формул 18 и 19 показывает, что степень влияния хроматической дисперсии на частотные характеристики тракта передачи информационного сигнала определяется в первую очередь спектральными свойствами источника излучения. Для лазерных источников благодаря узкой полосе частот излучаемой несущей дисперсия сказывается в меньшей степени. У СД, генерирующих некогерентное излучение, ширина спектра несущей существенно шире и хроматическая дисперсия проявляется значительно сильнее. Кроме того, спектральные зависимости этих дисперсионных составляющих должны быть достаточно близки к линейным.

Поляризационная модовая дисперсия возникает в одномодовых ОВ в том случае, если их форма отличается от осесимметричной даже на уровне производственных допусков и эксплуатационных факторов [36]. За счет этого передаваемое оптическое излучение имеет две взаимно ортогональные поляризационные составляющие, каждая из которых имеет несколько отличные условия распространения, см. рис. 19. Величина этой дисперсионной составляющей зависит от геометрии волокна и от механических напряжений в нем. Природа возникновения поляризационной дисперсии такова, что она имеет существенно меньшую величину по сравнению с хроматической и начинает играть заметную роль при скоростях передачи порядка 2 Гбит/с и выше. Типичное значение этой дисперсионной составляющей не превышает 0,5 пс/км^{1/2}, то есть при характерных для СКС длинах оптических линий не свыше одного-двух километров ее влияние на частотные свойства одномодового тракта передачи информации оказывается пренебрежимо малым.

Таким образом, в трактах СКС, построенных на основе одномодовых ОК, результирующее значение дисперсии составляет $\tau = \tau_s + \tau_w$. При этом кривая спектральной зависимости материальной дисперсии такова, что на определенной длине волны λ_0 имеем $d^2 n_1 / d\lambda^2 = 0$ и $\tau_s + \tau_w$ обращается в нуль.

На основании формул 18 и 19 спектральная характеристика дисперсии будет являться квазилинейной функцией. С учетом этого свойства вместо абсолютной величины параметра дисперсии часто указывают значение длины волны λ_0 нулевой дисперсии и коэффициент наклона (крутизну) S_0 ее спектральной характеристики в окрестностях λ_0 . Абсолютное значение хроматической дисперсии рассчитывают по эмпирической формуле Селлмейера¹ (Sellmeier), которая в простейшем случае имеет следующий вид [37]:

$$\tau(\lambda) = \frac{S_0}{4} \lambda \left[1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right)^4 \right].$$

¹ В отечественной технической литературе встречаются самые различные варианты транскрибирования фамилии этого специалиста. Наряду с указанным в тексте написанием употребляются также Селлмейер, Селмайер и Солмейер.

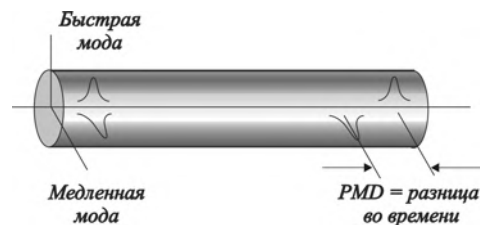


Рис. 19. Поляризационная модовая дисперсия

Применение формулы Селмейера позволяет учесть нелинейность дисперсионной кривой в рабочем диапазоне длин волн современных волокон. При этом величины параметров λ_0 и S_0 для получивших наибольшее распространение на практике так называемых стандартных одномодовых волокон (см. параграф 2.2.3) близки к 1300–1320 нм и 0,093 пс/нм²·км соответственно.

Хроматическая дисперсия обнаруживает определенную зависимость от температуры. Величина температурного коэффициента составляет примерно $-0,0025$ пс/нм·км·°C [38].

2.2.3. Разновидности одномодовых световодов по дисперсионным параметрам

Волноводная и материальная дисперсии, определяющие частотные свойства одномодовых ОВ, в интервале длин волн 1200–1600 нм имеют противоположные знаки и вычитаются друг из друга. Ориентировочные значения отдельных составляющих дисперсии приводятся в табл. 11. В одномодовых световодах со ступенчатым профилем показателя преломления нулевая дисперсия обычно достигается в окрестностях длины волны 1310 нм. Одномодовое волокно со ступенчатым профилем показателя преломления называется стандартным (английская аббревиатура SF или SSF от standard fiber и standard singlemode fiber соответственно) и широко применяется на сетях связи с 1983 г.¹. Оно определено ИТУ-Т в рекомендации G.652 и стандартом IEC 60793-2-50 (в последнем случае как волокно B1.1).

Согласно формуле (19) волноводная дисперсия зависит от D , то есть в значительной степени определяется профилем показателя преломления. Варьируя этим параметром, для одномодовых световодов можно получить нулевую или близкую к нулевой дисперсию на заранее заданной длине волны или в определенной спектральной полосе, то есть значительно улучшить частотные свойства тракта передачи информации. За счет применения специальных профилей показателя преломления нулевая дисперсия может быть сдвинута на другую длину волны, которая находится чаще всего в области 1550 нм. Такие ОВ были предло-

жены в середине 80-х гг., были тогда определены в рекомендации G.653 и получили название одномодовых волокон со смещенной дисперсией, или DSF-волокон (от dispersion-shifted fiber). Данная разновидность световодов хорошо работает только на одной длине волны, их характеристики не позволяют в полной мере использовать достоинства техники спектрального разделения (см. параграф 2.5.2), и поэтому DSF-волокна в настоящее время несерьезно не выпускаются.

Таблица 11. Волноводная, материальная и общая дисперсии стандартного одномодового волокна на различных длинах волн

λ , нм	850	1310	1550
τ_s , пс/нм·км	–84	2	31
τ_w , пс/нм·км	3	–2	–16
τ , пс/нм·км	–81	≈ 0	15

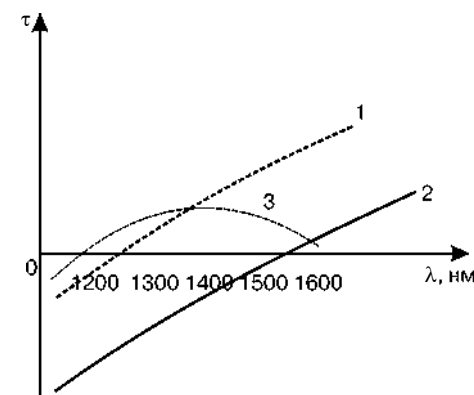


Рис. 20. Спектральные характеристики дисперсии одномодовых световодов: 1 – стандартные световоды; 2 – световоды со смещенной дисперсией; 3 – световоды с выровненной дисперсией

Профиль показателя преломления можно подобрать таким образом, чтобы световод имел близкую к нулевой дисперсию в достаточно широком спектральном диапазоне. Такие ОВ называют волокном с выровненной дисперсией. Наличие смещенной или выровненной дисперсии позволяет обеспечить ряд технических преимуществ по сравнению со стандартными волокнами. Полному вытеснению стандартных одномодовых световодов из широкого практического использования препятствует тот факт, что волокна со смещенной и выровненной дисперсией имеют заметно более высокую стоимость.

Волокна G.654 были разработаны для применения в подводных ОК и оптимизированы для построения участков с длинами свыше 100 км. Основным

¹ В основу нормируемых характеристик стандартного одномодового световода положены параметры волокна SMF-28, разработанного компанией Corning.

признаком световодов этой разновидности является смещение длины волны отсечки в спектральный диапазон 1500 нм (cutoff-shifted-волокна), что делает невозможным их нормальное использование в окне прозрачности 1310 нм [39].

Наиболее эффективным способом использования потенциальной пропускной способности световода как направляющей системы электромагнитных колебаний считается в настоящее время применение аппаратуры спектрального разделения. Для передачи сигналов этой аппаратуры используются волокна G.655 ITU-T или волокна B4 по стандарту IEC 60793-2-50, которые были разработаны в середине 90-х гг. прошлого века. Эта разновидность одномодовых световодов имеет небольшую ненулевую смещенную дисперсию (NZDSF-волокна, от Non-zero dispersion shifted fiber). Выбор величины дисперсии в таких ОВ представляет собой результат компромисса, то есть в рабочей полосе длин волн она оставлена достаточно малой и не требует аппаратурной компенсации при работе на длинных линиях или же позволяет обойтись ее простыми и дешевыми вариантами. В то же время дисперсия в NZDSF-волокнах является достаточно большой и не вызывает значительных нелинейных эффектов. Обычно в области длин волн 1550 нм стандартные одномодовые ОВ имеют дисперсию 17 пс/нм · км, тогда как для волокон с ненулевой смещенной дисперсией величина этого параметра составляет примерно 3 пс/нм·км [40].

2.3. Дисперсия многомодовых световодов

2.3.1. Межмодовая дисперсия

Преобладающим видом дисперсии в многомодовых ОВ является межмодовая дисперсия¹. Она возникает только в этой разновидности волокон из-за наличия в них большого числа мод с различным временем распространения. Абсолютное значение групповой задержки, создаваемой многомодовым волокном длиной L с параметром профиля показателя преломления α (формула 16), составляет:

$$\tau = \frac{n_1 L}{c} \left[1 + \frac{\alpha - 2}{\alpha + 2} \delta + \frac{3\alpha - 2}{\alpha + 2} \frac{\delta^2}{2} \right], \quad (20)$$

где $\delta = \Delta \left(\frac{m}{M} \right)^{\alpha/\alpha+2}$,

m — текущий номер моды,
 M — полное количество направляемых мод,
 Δ — нормированная разность показателей преломления,
 c — скорость света в вакууме.

Соотношение формулы (20) получено в результате решения методом ВКБ (Венцеля — Крамерса — Бриллюэна) с двумя приближениями уравнения рас-

пространения оптического излучения в ОВ со степенным профилем показателя преломления.

В ступенчатых волокнах причина появления дисперсии заключается в наличии разброса углов отражения и соответственно различной длины пути, который лучи отдельных мод проходят в сердцевине волокна. Этот эффект демонстрирует рис. 15а. Абсолютное значение межмодовой дисперсии в случае идеального ступенчатого многомодового световода вытекает из формулы (20) при $\alpha \rightarrow \infty$ как разность $\tau_{mms}(L, \delta = 1) - \tau_{mms}(L, \delta = 0)$ и составляет

$$\tau_{mms}(L) = \frac{n_1 \Delta}{c} L. \quad (21)$$

Для световода с идеальным градиентным профилем показателя преломления $\alpha \approx 2$ и оценка величины абсолютной дисперсии при аналогичных предположениях имеет следующую форму:

$$\tau_{mms}(L) = \frac{n_1 \Delta^2}{2c} L, \quad (22)$$

то есть является в $\Delta/2$ раз меньше.

Из соотношения (20) следует, что в ОВ со степенным профилем показателя преломления всегда будет существовать межмодовая дисперсия. Ее можно уменьшить, если использовать так называемый гиперболический закон изменения профиля показателя преломления. Однако даже в этом случае полностью устранить межмодовую дисперсию не удастся. Это обусловлено наличием в многомодовом световоде так называемых спиральных мод (моды, лучи которых не пересекают ось волокна), возникающих из-за осевой симметрии ОВ.

Для современных серийных многомодовых ОВ имеем $\Delta \approx 1\%$, то есть по частотным свойствам градиентные световоды превосходят ступенчатые более чем на два порядка. Качественное объяснение этого эффекта заключается в том, что градиентное волокно обладает свойством удержания мод вблизи центра сердцевины¹. Лучи мод высоких порядков, которые распространяются дальше от центра, проходят при этом больший путь, однако в материале с меньшей оптической плотностью, то есть с более высокой скоростью.

Из формул 21 и 22 следует, что межмодовая дисперсия линейно растет по мере увеличения длины световода. В реальных ОВ за счет взаимных переходов энергии одних мод в другие, возникающих из-за различных неоднородностей, линейный закон нарушается [41] и дисперсия становится пропорциональной \sqrt{L} , см. рис. 21. Данный эффект становится заметным не сразу, а только после определенного расстояния, называемого длиной установления связи мод L_o^2 .

¹ С учетом этого свойства для обозначения градиентных волокон ранее наряду с термином «градиент» даже использовался подчеркивающий данную особенность термин «селфок» (самофокусирующееся ОВ).

² Другое название — «длина установления (восстановления) стационарного состояния».

¹ Реже употребляются такие наименования этой дисперсионной составляющей, как «профильная дисперсия» и «дисперсия профиля».

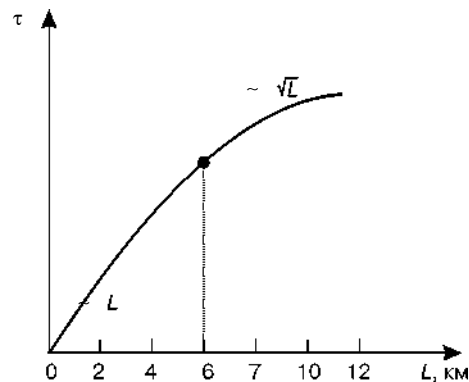


Рис. 21. Зависимость межмодовой дисперсии от длины многомодового световода со ступенчатым профилем показателя преломления

Экспериментально установлено, что у современных высококачественных ступенчатых световодов этот параметр составляет примерно 5–7 км, а у градиентных достигает 10–15 км [42].

Частотные свойства многомодовых ОВ определяются преимущественно межмодовой дисперсией. Необходимость учета хроматической дисперсии в волокне данной разновидности возникает только при значительной степени подавления межмодовой дисперсионной составляющей.

2.3.2. Дифференциальная модовая задержка

С явлением дифференциальной модовой задержки разработчики впервые столкнулись в процессе работы над стандартом IEEE 802.3z Gigabit Ethernet. Высокие скорости передачи данных не позволяют использовать СД в качестве источника излучения трансивера оптических передатчиков, работающих в гигабитном и мультигигабитном диапазонах скоростей передачи данных. Необходимость перехода на лазерные излучатели привела к радикальному изменению условий возбуждения [43]. Если излучение СД «переполняет» многомодовое ОВ, то в случае применения лазеров, для которых характерны небольшое поперечное сечение пучка и его невысокая расходимость, происходит возбуждение только малой части направляемых мод. Лучи этих мод распространяются вблизи оси, а остальная часть сердцевины на протяжении по меньшей мере нескольких сотен метров остается не заполненной излучением.

Дисперсия многомодовых волокон из-за относительно невысокой хроматической составляющей определяется главным образом различным поведением лучей отдельных мод в процессе их распространения вдоль световода. Различия обусловлены двумя основными причинами:

- отклонениями профиля показателя преломления от оптимального значения по всей площади сердцевины, в том числе на уровне флуктуаций по

технологическим причинам, которые порождают классическую межмодовую дисперсию;

- существованием локальных макроскопических дефектов профиля оси ОВ.

Макродефекты профиля показателя преломления сердцевины (distorted profile) возникают в процессе изготовления многомодового ОВ преимущественно в его осевой части. Основные разновидности данных дефектов изображены на рис. 22. [44]. Подавляющее большинство заготовок, из которых осуществлялось вытягивание многомодовых световодов первых поколений (волокна, частотные свойства которых соответствуют требованиям категорий OM1 и OM2 по классификации стандарта ISO/IEC 11801:2002), изготавливались из трубчатых преформ, так как методы этой группы обеспечивали на тот момент наиболее высокое качество продукта [45]. В процессе формирования стержня заготовки выполняется схлопывание трубки, которое происходит при повышении температуры и поэтому сопровождается достаточно интенсивным испарением тех слоев, которые осаждаются при заключительных проходах нагревателя. Скорость испарения легирующих добавок GeO_2 выше скорости испарения чистого кварца SiO_2 . В результате, если не учитывать данную особенность при разработке технологического процесса, в центральной части функции профиля показателя преломления наиболее вероятно образование провала (рис. 22а), который затем сохраняется в ОВ [46]. Таким образом, вместо оптимального параболического профиля показателя преломления в реальных условиях получался так называемый квазипараболический профиль.



Рис. 22. Типичные профили показателя преломления градиентных многомодовых волокон:

- а) с центральным провалом (centerline dip); б) с плоским центром (flat top); в) с центральным пиком (peak); г) оптимальный

При попадании излучения оптического передатчика на центральную часть сердцевины ОВ, которая имеет выраженную неоднородность характеристики показателя преломления, часть излучения за счет сильного рассеивающего действия начинает преобразовываться в моды высокого порядка. Прямым следствием появления таких паразитных мод, которым соответствуют близкие к максимальным значениям величины текущего номера m , является изменение формы импульса. Описанный процесс сопровождается увеличением вероятности появления ошибки на выходе решающего устройства приемника сете-

вого интерфейса и на основании формулы (20) эквивалентен росту дисперсии (уменьшению ширины полосы пропускания). Дифференциальная модовая задержка является количественной мерой интенсивности этого процесса.

Данная разновидность искажений при прочих равных условиях возрастает по мере уменьшения количества мод источника света из-за увеличения мощности излучения, переносимого каждой модой. Таким образом, она проявляется сильнее в случае применения в оптических передатчиках высоконаправленных излучателей, что характерно для диапазона длин волн 1300 нм. Более того, при работе в этом спектральном диапазоне при больших длинах линии, реализованных на основе ОВ старых типов (в отдельных ситуациях свыше 100–150 м), искажения могут проявиться настолько в сильной степени, что в некоторых случаях приводят даже к распадению исходного импульса на несколько частей. При использовании лазерных передатчиков диапазона 850 нм, которые обладают заметно большими габаритами излучающей области и меньшей направленностью излучения, а также генерируют увеличенное количество мод, эффект появления дифференциальной модовой задержки выражен несколько слабее.

Из описанного механизма возникновения дифференциальной модовой задержки ясны пути борьбы с этим нежелательным явлением: создание специальных условий ввода излучения в сердцевину, целенаправленное использование излучателей с большими размерами излучающей площадки и устранение самой причины модовой конверсии за счет совершенствования процесса изготовления волокна. Первый путь заключается в применении согласующего адаптера, функции которого выполняет так называемый МСР-шнур (подробнее об этом изделии см. параграф 7.2.1). Данный способ предпочтителен при работе с ОВ категорий ОМ1 и ОМ2, которые изготовлены по старым спецификациям. В ОВ категории ОМ3, специально оптимизированных для работы с высокоскоростными приложениями, функция, которая описывает профиль показателя преломления, за счет использования соответствующих технологических приемов выращивания заготовок не имеет провалов в осевой части и максимально приближена к идеальной с точки зрения достигаемых частотных свойств, рис. 22 г.

2.3.3. Коэффициент широкополосности, его связь с дисперсией и оценка потенциальной пропускной способности многомодовых световодов

Частотные характеристики многомодовых ОВ первых поколений из-за преобладающего влияния межмодовой составляющей дисперсии слабо зависели от спектральных свойств источника излучения. Поэтому их было удобно оценивать эквивалентом дисперсии в частотной области, называемым коэффициентом широкополосности и имеющим размерность МГц · км. На современном этапе развития техники предположение о преобладающем характере межмодовой дисперсии выполняется не во всех случаях. Однако из соображений со-

хранения преемственности понятие коэффициента широкополосности продолжает использоваться на практике далее.

В технике оптической связи пользуются классическим определением ширины полосы пропускания. Согласно рекомендации G.651 ITU-T [47] под верхней граничной частотой понимается то минимальное значение частоты синусоидального сигнала, модулирующего оптическую несущую, на котором коэффициент передачи по оптическому сигналу становится равным 0,5 относительно величины на низких частотах (измерения осуществляются на уровне –3 дБ оптической или –6 дБ электрической мощности), см. рис. 23. Физическим смыслом этого параметра является ширина полосы пропускания волокна длиной 1 км.

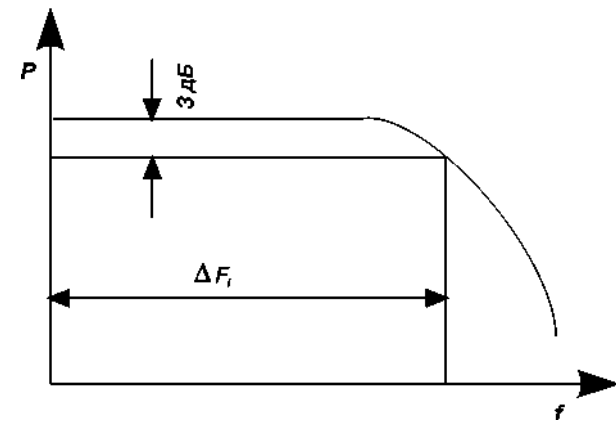


Рис. 23. Ширина полосы пропускания волоконного световода

В зависимости от длины волны типовые значения коэффициента широкополосности градиентных ОВ, применяемых в оптических кабелях СКС первого поколения, составляли 200÷500 МГц·км. В настоящее время с целью поддержки функционирования интерфейсов Gigabit Ethernet и 10G Ethernet величина этого параметра для некоторых типов световодов увеличена до 2000 МГц·км и более (см. параграф 3.2.2).

Для пересчета коэффициента ΔF широкополосности в дисперсию τ и обратно можно воспользоваться соотношением

$$\Delta F = \frac{k}{\tau}. \quad (23)$$

При этом величина параметра k достаточно сильно зависит от формы импульса, подаваемого на вход световода. Так, например, для импульса прямоугольной формы $k = 0,32 - 0,34$, а для импульса гауссовой формы $k = 0,19$.

Полученные данные позволяют выполнить оценку предельно достижимого коэффициента широкополосности многомодовых градиентных ОВ. За счет оптимального подбора профиля показателя преломления межмодовая дисперсия может быть подавлена до предельно малых значений, и частотные

свойства волокна будут определяться преимущественно хроматической дисперсией. В практически интересном для многомодовой техники спектральном диапазоне 850 нм согласно табл. 11 величина этой дисперсионной составляющей равна $\tau = 80$ пс/нм·км. В современных высокоскоростных интерфейсах, работающих в первом окне прозрачности, используются преимущественно VCSEL-излучатели, которые согласно табл. 28 имеют $\Delta\lambda = 0,5$ нм. Подстановка этих значений в формулу 23 дает $\Delta F \approx 20$ ГГц · км, что с четырехкратным запасом превышает требования к ширине полосы пропускания самого скоростного современного сетевого интерфейса 10G Ethernet.

2.3.4. Дисперсионный штраф по мощности

До середины 90-х гг. прошлого века оптические кабели СКС в независимости от типа применяемого в них ОВ считались средой передачи, которая не накладывала ограничений на пропускную способность формируемого канала связи. На рубеже веков в ИВС началось массовое использование сетевых интерфейсов, обеспечивающих передачу информации с гигабитными и мультигигабитными скоростями. В этой связи положение о пренебрежимой малости дисперсионных искажений может считаться справедливым только в отношении одномодовой техники. При использовании для построения линий оптической связи многомодовой элементной базы даже при характерных для техники структурированной проводки длинах формируемых трактов не свыше нескольких сотен метров слишком малая ширина полосы их пропускания является серьезным фактором, ограничивающим функциональные возможности системы связи на скоростях 1 Гбит/с и выше.

При недостаточной ширине полосы пропускания инерционность тракта передачи оказывается настолько большой, что в момент стробирования сигнала на входе решающего устройства приемника не успевает достигнуть того значения, которое наблюдается при отсутствии частотных ограничений. Более того, при больших значениях отношения f_T/f_0 , где f_T — тактовая частота линейного сигнала, f_0 — верхняя граничная частота тракта, импульс начинает «расплываться», что приводит к уменьшению его амплитуды¹. Одновременно его «хвосты» выходят за пределы тактового интервала, что сопровождается наложением на сигнал в соседнем тактовом интервале и появлением межсимвольной интерференции. Эти процессы удобно интерпретировать как дополнительное затухание в тракте передачи, что сопровождается уменьшением защищенности от шумов информационного сигнала. Для количественной оценки данного эффекта на практике используется так называемый штраф по мощности (power penalty, или optical path penalty). В общем случае параметр

¹ Для того чтобы терминологически подчеркнуть особую природу дисперсионного уменьшения амплитуды в некоторых отечественных публикациях, для обозначения данного процесса даже используется понятие «ослабление» вместо «затухание».

штрафа по мощности может применяться для учета влияния на качественные характеристики системы связи не только дисперсионных искажений, но и таких недисперсионных эффектов, как шумов разделения мод [48], так называемых RIN-шумов, отражений, неточности установки порога срабатывания решающего устройства, порогового характера энергетической характеристики (зависимости мощности излучения от прямого тока) полупроводникового лазера [49], так называемого чирпинга и т. д. При рассмотрении систем связи, линейная часть которых реализована на базе многомодового ОК, штраф, вызываемый межсимвольной интерференцией, имеет превалирующее значение [50]. Остальные составляющие дополнительных потерь не превышают десятых долей децибела, а их сумма — одного децибела [51].

В процессе оценки величины штрафа r считаем, что амплитудно-частотные искажения передаваемого сигнала создаются преимущественно ОВ. На основании стандарта IEC 60793-1-41 [52] многомодовый волоконный световод с точки зрения его частотных характеристик рассматривается как низкочастотный фильтр. Линейный сигнал представляется в форме периодической последовательности одинаковых импульсов, которые могут иметь различную форму и следуют с тактовой частотой $f_T = 1/T$. При описании формы сигнала на входе оптического тракта учитывается тот факт, что серийно выпускаемые промышленностью высокоскоростные передающие модули сетевых интерфейсов имеют достаточно высокое быстродействие. За счет этого они обеспечивают нахождение примерно 85% всей энергии излучаемого оптического импульса в половине тактового интервала [53].

Наиболее просто величина дисперсионного штрафа по мощности ищется в тех ситуациях, если известно аналитическое описание сигнала $P_{in}(t)$ на входе тракта. Для вычисления формы выходного сигнала в этом случае привлекается схема $P_{in}(t) \rightarrow S_{in}(\omega) \rightarrow S_{out}(\omega) = S_{in}(\omega)G(\omega) \rightarrow P_{out}(t)$, где $P(t)$ — сигнал во временной области, а $S(\omega)$ — соответствующий ему частотный спектр, $G(\omega)$ — частотная характеристика тракта передачи. Индексы *in* и *out* относятся к входу и выходу тракта соответственно.

Предлагаемый принцип дает возможность вычислить сигнал на входе решающего устройства приемника сетевого интерфейса при различных величинах отношения $\mu = f_T/f_0$. Численное значение штрафа по мощности находится в смысле определения, приведенного на рис. 24, с привлечением метода глаз-диаграммы. Для этого при сигналах симметричной формы, что имеет место на практике в основной массе случаев, достаточно положить $A_1 = P_{out}(0) - 2P_{out}(T)$ при $\mu = 0$ и $A_1 = P_{out}(0) - 2P_{out}(T)$ при произвольном μ .

Частотная характеристика оптического многомодового тракта СКС может быть с достаточной высокой точностью аппроксимирована гауссовой функцией $G(f) = \exp(-(\xi f/f_0)^2)$. При этом, исходя из определения граничной частоты f_0 , требуется положить $\xi = \sqrt{\ln 2} \approx 0,83$. Резонность выдвижения гипотезы о близости формы кривой частотной характеристики к гауссовой следует из того

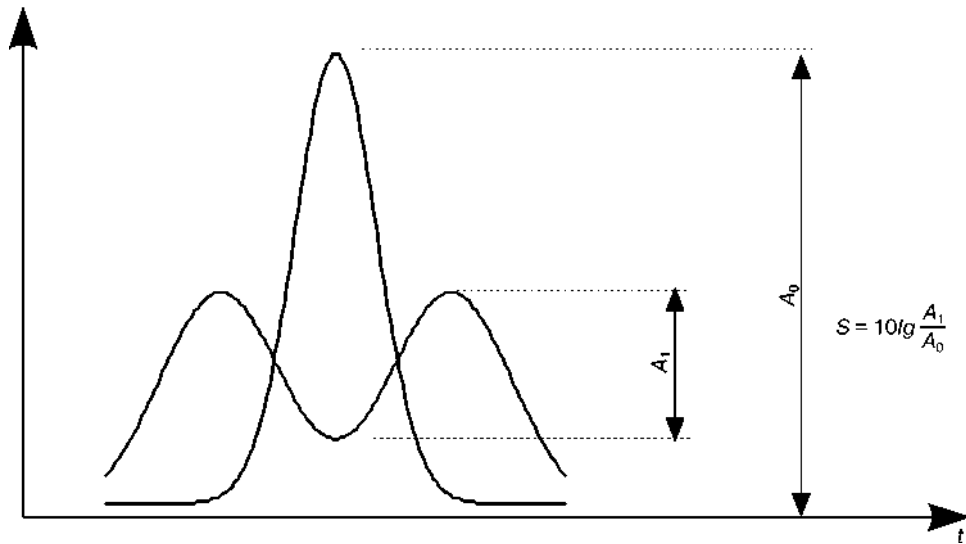


Рис. 24. Определение штрафа по мощности

факта, что тракт передачи образован рядом последовательно включенных и статистически независимых компонентов с конечной шириной полосы пропускания. За счет этого на основании центральной предельной теоремы результирующая частотная характеристика асимптотически стремится по форме к кривой Гаусса.

Импульсный сигнал на выходе излучателей оптических интерфейсов, используемых для передачи информационных потоков со скоростями 100 Мбит/с и выше, может быть описан гауссовой кривой $P_{in}(t) = k \exp(-t^2/\sigma^2)$. При единичной мощности этого сигнала $k = 1/\sqrt{\pi}\sigma$. Параметр σ может быть задан в форме $\sigma = \gamma T$. С учетом факта нахождения 85% энергии оптического импульса в половине тактового интервала величина σ ищется как решение уравнения

$\frac{2}{\sqrt{\pi}\sigma} \int_0^x \exp(-t^2/\sigma^2) dt = 0,85$. Из него получаем $t/\sigma = \text{erf}^{-1}(0,85) = 1,02$,

где $\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-y^2) dy$. При определении σ требуется положить $t = T/4$,

откуда $\gamma = 1/4 \times 1,02$.

Для перехода из временной области в частотную и обратно привлекается пара преобразований Фурье:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} P(t) e^{-j\omega t} dt, \quad P(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} dt. \quad (24)$$

При анализе на основе преобразования Фурье на выходе тракта достаточно определить форму одиночного импульса. Форма интерферирующих с ними

импульсов на основании свойства амплитудной линейности анализируемого тракта находится простым сдвигом во времени полученного сигнала на величину, кратную T . В реальных системах оптической связи для получения вероятности ошибки, требуемой спецификациями сетевых интерфейсов для достижения заданного качества передачи (вероятность ошибки порядка 10^{-12}), величина интерференции должна быть достаточно малой. Поэтому в процессе определения дисперсионного штрафа по мощности можно ограничиться рассмотрением влияющих сигналов только в двух соседних тактовых интервалах.

Вычисление формы выходного сигнала, выполненное на основе соотношений формулы 24, дает

$$P_{out}(t) = \frac{1}{\sqrt{\pi}\sigma_1} \exp(-t^2/\sigma_1^2), \quad (25)$$

где $\sigma_1^2 = \sigma^2 + (\frac{\xi}{\pi f_0})^2$.

Отсюда величина дисперсионного штрафа по мощности составляет

$$r_d = 10 \lg \frac{\sigma_1}{\sigma} \cdot \frac{1 - 2 \exp(-1/\gamma^2)}{1 - 2 \exp\{-1/\gamma^2 [1 + (\frac{\xi\mu}{\pi\gamma})^2]\}} \cong 5 \lg [1 + (\frac{\xi\mu}{\pi\gamma})^2] \text{ дБ}. \quad (26)$$

Значения величины r_d в зависимости от отношения $\mu = f_T/f_0$, рассчитанные по формуле 26, приведены на рис. 25. Характер функции $r_d(\mu)$ позволяет использовать для ее описания удобную для дальнейшего анализа кусочно-линейную аппроксимацию $r = dx + b$, где $d = 2,24$ и $b = -0,6$. При $\mu < -b/d$

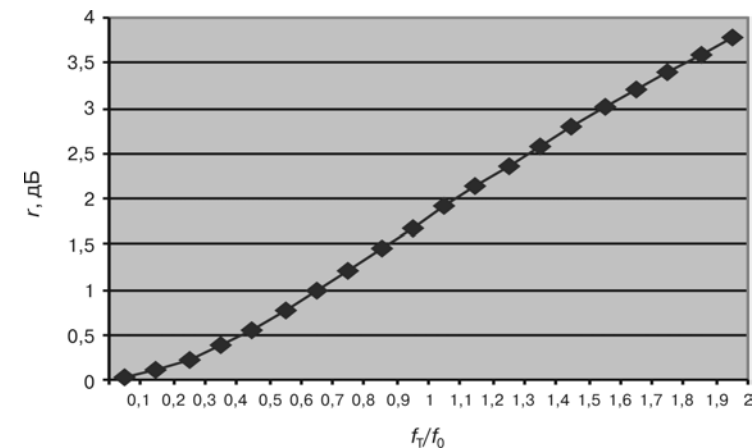


Рис. 25. Штраф по мощности как функция отношения f_T/f_0 при гауссовом представлении частотной характеристики многомодового тракта и импульса линейного сигнала

принимается $r_d = 0$. Значение максимальной ошибки аппроксимации данной разновидности в практически наиболее интересном интервале $0,3 < \mu < 2$ не превышает 0,13 дБ.

2.4. Затухание сигналов в световодах

2.4.1. Механизмы возникновения потерь

В процессе распространения по ОВ оптический сигнал согласно закону Бугера¹ постепенно теряет свою энергию, то есть испытывает затухание. При этом в соответствии с правилом Бера коэффициент затухания (в части публикаций, посвященных рассмотрению преимущественно различных физических явлений, происходящих во время распространения излучения по волоконному световоду, называется коэффициентом экстинкции [54]) не зависит от интенсивности излучения [55]. Величина данного параметра является одним из основных факторов, определяющих максимальное расстояние между двумя приемопередатчиками. Затухание зависит в первую очередь от таких фундаментальных факторов, как потери на рассеяние и потери на поглощение.

Потери на рассеяние в ОВ вызываются линейными и нелинейными эффектами. Линейная составляющая рассеяния обусловлена стационарными пространственными флуктуациями средней плотности материала сердцевины, которые неизбежно присутствуют в расплавленном кварце и сохраняются в нем после затвердевания. Данные флуктуации сопровождаются появлением небольших изменений показателя преломления. При попадании оптических лучей на эти нерегулярности (так называемые рэлеевские центры) они меняют свое направление распространения и высвечиваются в окружающее пространство, см. рис. 26. Интенсивность линейного рассеяния не зависит от мощности передаваемого сигнала, а ее вклад в общий коэффициент затухания может быть рассчитан по формуле [56]

$$\alpha_R = 4,34 \frac{8\pi^3 (n_1^2 - 1)}{3\lambda^4} k\beta T \times 10^3 \text{ [дБ/км]}, \quad (27)$$

где n_1 — показатель преломления материала сердцевины;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — постоянная Больцмана;

$T = 1500$ К — температура затвердевания кварцевого стекла при вытяжке ОВ;

$\beta = 8,1 \cdot 10^{-11}$ м²/Н — коэффициент изотермической сжимаемости кварца;

λ — длина волны в мкм.

Подстановка в формулу (27) числовых значений при $n_1 = 1,48$ и $\lambda = 1,568$ мкм дает $\alpha_R = 0,118$ дБ/км, что достаточно точно соответствует достигнутому на практике значению 0,128 дБ/км [57].

¹ В отечественных публикациях часто называется законом Бугера — Ламберта, или Бугера — Ламберта — Бера.

Нелинейное рассеяние имеет рамановскую и мандельштам-бриллюэновскую составляющие и возникает из-за рассеяния света на переменных во времени флуктуациях показателя преломления, которые вызываются тепловыми колебаниями плотности среды и внутримолекулярными колебаниями соответственно. Внешне этот эффект проявляется в форме возникновения излучения с длинами волн, отличными от длины волны исходного сигнала. Явление нелинейного рассеяния становится заметным в одномодовых волокнах при величинах мощности оптического сигнала порядка 30 мВт и выше, которые не характерны для сетевых интерфейсов, использующих кабельные тракты СКС.

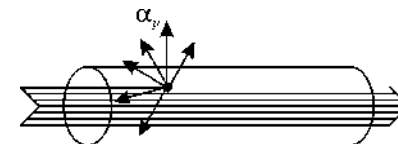


Рис. 26. Рэлеевское рассеяние

Потери на поглощение вызваны ИК поглощением, причиной которого являются гармоники резонансного возбуждения молекул SiO₂ на длинах волн 9, 12,5 и 21 мкм [58]. Данная составляющая потерь становится заметной при $\lambda > 1,7$ мкм. Для оценки ее величины в известной технической литературе обычно используется соотношение

$$\alpha_{IR} = C \times e^{-k/\lambda} \text{ [дБ/км]}, \quad (28)$$

где для кварца $k = 0,8 \cdot 10^{-6}$ м, $C = 0,9$ — постоянные коэффициенты.

Подстановка в формулу (28) числовых значений при $\lambda = 1,568$ мкм дает величину $\alpha_{IR} = 0,54$ дБ/км при реально полученной в эксперименте величине 0,018 дБ/км. Таким образом, соотношение (28) может быть использовано лишь для грубой качественной оценки величины потерь на поглощение и только предсказывает значительный рост этой составляющей затухания по мере увеличения длины волны.

Потери на рэлеевское рассеяние и ИК поглощение определяют нижний теоретический предел потерь ОВ, который находится в кварцевом световоде в районе длины волны 1,5 мкм. Минимальная величина потерь в реальных условиях не достигается по двум основным причинам.

Первая причина заключается в конечной эффективности очистки материала сердцевины световода, из-за чего она содержит атомы, молекулы и соединения примесей, резонансное возбуждение которых приводит к резкому возрастанию затухания на определенных длинах волн (так называемые избыточные потери). В практически интересном для техники оптической связи диапазоне 0,8–1,7 мкм наибольший вклад в этот процесс вносят гидроксильные остатки воды (ОН) и ионы переходных металлов ряда железа периодической системы элементов (никель, железо, хром, медь и др.) [59]. Для получения приемлемого уровня потерь концентрация примесей не должна превышать 10^{-9} .

Второй основной причиной увеличения затухания свыше теоретического предела является то, что в процессе изготовления ОК возникают так называемые кабельные потери, которые обусловлены деформациями ОВ при наложении

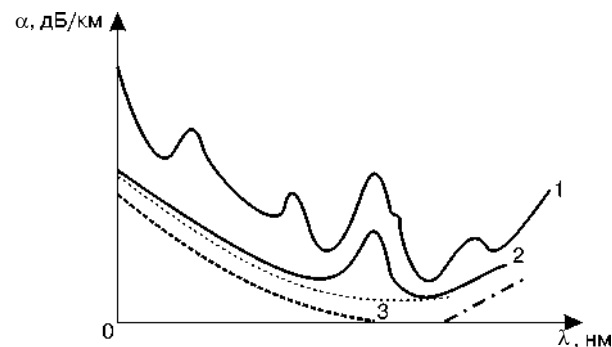


Рис. 27. Спектральные характеристики затухания волоконных световодов:
1) волокна первого поколения; 2) современные волокна;
3) волокна без водяного пика

нии покрытий и защитных оболочек, а также скруткой элементов кабельного сердечника. При хорошо отработанной технологии производства кабельных изделий величина этой составляющей потерь для изделий внешней прокладки в случае использования многомодового ОВ обычно не превышает 0,1 дБ/км [60].

Таким образом, область эффективного использования кварцевых волоконных световодов ограничена диапазоном видимого и ближнего ИК-диапазонов длин волн. Для среднего и дальнего ИК-диапазонов необходимы новые материалы, наиболее перспективными из которых считаются флюоридные и сульфидные стекла.

Рассмотренная выше модель, основанная на законах геометрической оптики, описывает процесс распространения оптического излучения по ОВ только в первом приближении. В частности, из нее следует, что падение и отражение света на границе раздела сердцевина — оболочка происходит в одной точке. В действительности, как показывают результаты более тонкого анализа с привлечением математического аппарата волновой теории, при полном внутреннем отражении за счет образования поверхностной волны излучение заходит в оптически менее плотную среду оболочки на глубину, примерно равную длине волны [61]. Данный процесс сопровождается его расщеплением на некоторое количество лучей, которые, пройдя в оболочке определенное расстояние δz по эллиптической траектории, снова собираются вместе и в виде единого луча опять входят в сердцевину, см. рис. 28. Таким образом, при полном внутреннем отражении падающий и отраженный лучи смещены на некоторое расстояние (сдвиг Гуса-Хенхена), величина которого зависит от длины волны излучения и угла падения луча на границу раздела. Отсюда возникает важное для практики требование изготовления не только сердцевин, но и оболочек из химически чистого материала для уменьшения коэффициента затухания [62]. Кроме того, теоретически на величину оптических потерь оказывает влияние также защитное покрытие ОВ. Для минимизации этой составляющей до приемлемого значения оболочка должна иметь достаточно большую толщину.

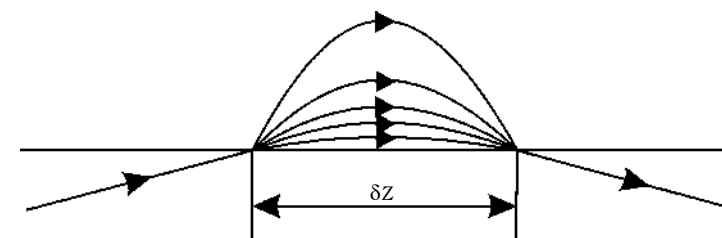


Рис. 28. Прохождение световой волны при условии полного внутреннего отражения на границе раздела сердцевина-оболочка в соответствии с волновой теорией

2.4.2. Окна прозрачности и спектральные диапазоны

На рис. 27 в схематическом виде кривой 3 показана спектральная зависимость коэффициента затухания реальных ОВ с учетом фундаментальных и дополнительных потерь, вызываемых примесями. Из графика следует, что для передачи оптических сигналов может быть использован довольно широкий участок спектра, где потери в световоде оказываются достаточно малыми. Из ряда соображений, которые не в последнюю очередь связаны с подбором элементной базы оптических приемников и передатчиков, весь диапазон разбивают на так называемые окна прозрачности. На ранних этапах развития техники оптической связи под ними понимались участки длин волн в районе локальных минимумов потерь, а для удобства использования этим окнам присваивались порядковые номера: 850 нм (первое), 1300 нм (второе) и 1550 нм (третье). Отметим также, что величины затуханий современных волокон и кабелей традиционно обычно указывают на так называемых опорных длинах волн 850, 1300 (1310) и 1550 нм, которые являются центральными длинами первого, второго и третьего окон прозрачности.

К концу 90-х гг. прошлого века достигнутый технологический уровень развития производства позволил получать ОВ с достаточно гладкой спектральной характеристикой затухания, на которой практически отсутствуют локальные максимумы потерь. В силу этого вместо понятия окон прозрачности в процессе описания ОВ и ОК часто используется методически более точное понятие спектральных диапазонов, хотя первый из указанных терминов не утратил своего значения, табл. 12 и рис. 29.

Отдельного комментария заслуживает Е-диапазон. Его появление было связано в первую очередь с тем, что начиная со второй половины 90-х гг. прошлого века резко возросли объемы строительства сетей городского масштаба, на которых экономически выгодным является применение принципов спектрального разделения оптических каналов (см. параграф 2.5.2). В случае использования такой технологии мультиплексирования возникает потребность в расширении спектрального диапазона ОВ. Для решения этой задачи в одномодовых ОВ с помощью соответствующих технологических мероприя-

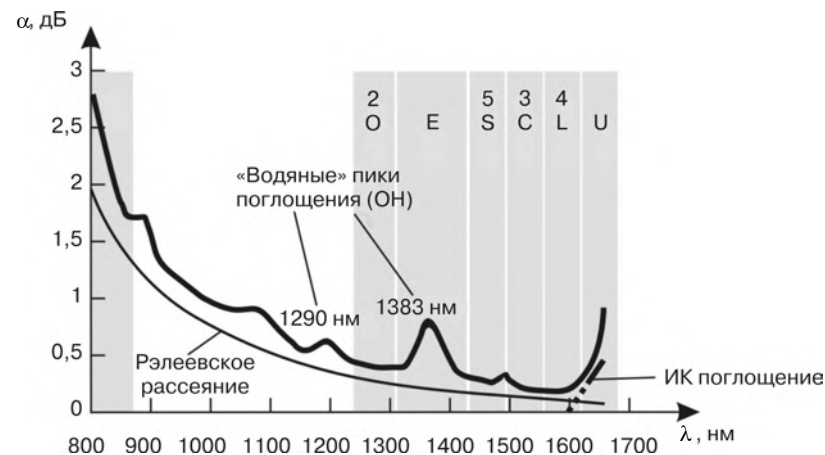


Рис. 29. Спектральные диапазоны одномодовых световодов и их связь с окнами прозрачности

тий снижают концентрацию ионов ОН до величины не хуже 10^{-5} и минимизируют тем самым затухание в области так называемого водяного пика¹, то есть в районе длин волн 1383 ± 3 нм. Такие световоды, разработанные в 1998 г. и внедряемые в широкую инженерную практику начиная примерно с 2000 г., обладают гладкой спектральной характеристикой затухания в диапазоне от 1250 до 1650 нм. Для их обозначения иногда используются термины ZWP-волокна (Zero Water Peak) [64, 65], RWP-волокна (Reduced Water Peak) [66] или LWP-волокна (Low Water Peak) [67]. Примерами такой продукции являются волокна SMF-28e (Corning), AllWave (OFS), E-SMF (Alcatel), Future Guide (Fujikura) и MagniLight (Pirelli) [68].

Таблица 12. Окна прозрачности и спектральные диапазоны волоконных световодов [63]

Окно	Диапазон	Длина волны, нм	Расшифровка	Типичные потери, дБ/км
1	А-диапазон	790–910	–	2–3
2	О-диапазон	1260–1360	Основной (Original)	0,35
5	Е-диапазон	1360–1460	Расширенный (Extended)	0,31–0,55*
	С-диапазон	1460–1530	Коротковолновый (short wavelength)	0,25

¹ Резонансная частота ионов ОН соответствует длине волны 2760 нм. Поэтому следующие максимумы затухания в пределах рабочей полосы систем волоконно-оптической связи будут возникать на ее второй и третьей гармониках, то есть на длинах волн 1380 и 920 нм.

Таблица 12. Окна прозрачности и спектральные диапазоны волоконных световодов [63] (продолжение)

Окно	Диапазон	Длина волны, нм	Расшифровка	Типичные потери, дБ/км
3	С-диапазон	1530–1565	Стандартный (Conventional)	0,19
4	Л-диапазон	1565–1625	Длинноволновый (Long wavelength)	0,20
6**	U-диапазон	1625–1675	Сверхдлинноволновый (Ultralong wavelength)	0,22

* Коэффициент затухания в этом диапазоне сильно зависит от степени подавления водяного пика.

** Номер поставлен условно.

2.4.3. Выбор типа многомодового волокна для применения в оптических кабелях СКС

Для реализации многомодовых ОК в общем случае могут быть использованы ступенчатые и градиентные ОВ. Основным преимуществом ступенчатых волокон являются возможность ввода в них более мощного оптического сигнала и потенциально несколько меньшая стоимость, градиентное волокно отличается заметно лучшими частотными свойствами. В процессе определения предпочтительного типа многомодового волокна для применения в оптических кабелях СКС используем следующую модель:

- затухание сигнала в тракте определяется исключительно кабелем; потери в ОР и неразъемных соединителях относятся к линейному кабелю и учитываются дополнительным увеличением его коэффициента затухания;
- числовая апертура, диаметры сердцевины и коэффициенты затухания волокон обоих типов принимаются одинаковыми;
- в градиентном ОВ используется параболический профиль показателя преломления, который дает возможность достижения наилучших частотных свойств;
- оптический передатчик работает в режиме возбуждения с переполнением;
- ширина полосы пропускания, обеспечиваемая парой приемник–передатчик оптического интерфейса, во много раз больше ширины полосы пропускания линейной части оптического тракта.

Заданное качество передачи сигнала может быть достигнуто при одновременном выполнении двух необходимых условий: затухание в тракте передачи не превышает определенной величины и ширина полосы пропускания оказывается выше определенного значения. Одновременный учет этих двух факто-

ров в аналитической форме в общем случае затруднен. Однако задача может быть упрощена за счет учета того обстоятельства, что подавляющее большинство разновидностей современной сетевой аппаратуры использует цифровой способ передачи информации. При этом условии корректность функционирования приемника сетевого интерфейса определяется преимущественно только соотношением порога срабатывания и амплитуды принимаемого сигнала в момент его стробирования решающим устройством, а форма импульса играет второстепенное значение. Данная особенность позволяет свести задачу выбора типа многомодового ОВ для применения в оптических кабелях СКС к решению одномерного уравнения. Это осуществляется за счет привлечения для анализа дисперсионного штрафа по мощности, который рассматривается в данном случае просто как дополнительное затухание.

Примем следующий алгоритм функционирования приемника сетевого интерфейса:

- фотоприемник состоит из включенных последовательно преобразователя оптического сигнала в электрический, усилителя фототока и решающего устройства;
- порог срабатывания решающего устройства установлен на уровне, который пропорционален средней мощности принимаемого сигнала;
- решение о приеме нуля или единицы принимается в момент достижения линейным сигналом своего экстремального значения на данном тактовом интервале.

Пусть p_0 — уровень мощности сигнала, вводимого в ступенчатое ОВ. Оценка уровня сигнала, поступающего на окно фотодиода приемника, при тракте длиной l в общем случае может быть оценена в следующем виде:

$$p_s = p_0 - \alpha l - r_{ds}(l), \quad (29)$$

где α — приведенный (учитывающий разъемные и неразъемные соединения) коэффициент затухания ОК на рабочей длине волны;

r_{ds} — дисперсионный штраф по мощности, причем $x = g$ для градиентного и $x = s$ для ступенчатого ОВ.

Аналогично для тракта, построенного на многомодовом градиентном ОК, можем записать

$$p_g = p_0 - p_w - \alpha l - r_{dg}(l), \quad (30)$$

где p_w — дополнительные потери, вызываемые тем, что в отличие от ступенчатого световода эффективность ввода излучения в сердцевину градиентного ОВ при прочих равных условиях быстро падает по мере удаления от оси за счет уменьшения локальной числовой апертуры.

Критическая длина l_0 тракта, при превышении которой применение ступенчатых волокон становится технически невыгодным, находится как решение уравнения $p_g(l) = p_s(l)$. Процесс отыскания его корня существенно упрощается, если принять во внимание тот факт, что в окрестностях l_0

$$r_{ds}(l) \gg r_{dg}(l). \quad (31)$$

При выполнении данного условия, а также на основании соотношений формул 29 и 30 расчетное уравнение принимает вид:

$$r_{ds}(l) = p_w. \quad (32)$$

Для определения p_w представим излучатель оптического передатчика в виде площадки с определенным распределением энергетической яркости $B(r, \theta, \varphi) = B_0 H(r, \varphi) F(\theta, \varphi)$, где B_0 — яркость в максимуме, $H(r, \varphi)$ — нормированное распределение яркости по площади, $F(\theta, \varphi)$ — диаграмма направленности. Мощность сигнала, вводимого в ОВ, в этом случае равна

$$P = B_0 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^a r dr \int_0^{\theta_A(r)} F(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta, \text{ где } 2a \text{ — диаметр сердцевины волокна.}$$

С учетом круговой симметрии оптического сигнала, генерируемого основной массой излучателей передатчиков трансиверов многомодовых оптических интерфейсов, в первом приближении допустимо положить $H(r, \varphi)$. Кроме того, для осесимметричной диаграммы направленности на основании пункта 4 модели $F(\theta, \varphi)$. В результате мощность сигнала, вводимая в волокно, составит:

$$P = 2\pi B_0 \int_0^a r [1 - \cos \theta_A(r)] dr = \pi B_0 \int_0^a r \theta_A^2(r) dr. \quad (33)$$

Вторая часть выражения (33) записана в предположении того, что ОВ, используемые в системах оптической связи, являются слабонаправляющими. Таким образом, с точностью, достаточной для выполнения инженерных расчетов, можем принять $\cos \theta_A(r) \approx 1 - \theta_A^2(r)/2$. Одновременно небольшие числовые апертуры многомодовых волокон позволяют применить приближение $\sin \theta_A(r) \approx \theta_A(r) = n_1 \sqrt{2\Delta(r)}$. Для ступенчатых ОВ в результате имеем $\theta_A(r) = n_1 \sqrt{2\Delta}$, а для градиентных с параболическим профилем $\theta_A^2(r) = 2n_1^2 \Delta [1 - (r/a)^2]$. После подстановки этих величин в формулу 33 и вычисления интеграла получаем $P_s = \pi B_0 n_1^2 a^2 \Delta$ и $P_g = \pi B_0 n_1^2 a^2 \Delta / 2$, то есть $p_w = 3 \text{ дБ}$.

На основании формулы 23 с учетом характерных для всех типов современных многомодовых ОВ длин установления стационарного модового состава не менее нескольких километров во всем диапазоне изменения протяженности оптических кабельных трактов СКС можно принять $f_0 = \Delta F / l$. С учетом данного положения в случае применения кусочно-линейной аппроксимации дисперсионного штрафа по мощности, предложенной в параграфе 2.3.4, уравнение (32) преобразуется в $d(f_T / \Delta F_s) l + b = 3$, где ΔF_s — коэффициент широкополосности ступенчатого волокна. После выполнения несложных выкладок получаем:

$$l_0 = \frac{(3-b)}{d} \Delta F_s / f_T. \quad (34)$$

Для определения ΔF_s воспользуемся формулой 21, из которой $\tau_s = \tau_{ms}(L = l) = n_1 \Delta / c$. Для волокон с 50-микронной сердцевиной, имеющих согласно стандартам серии IEC 60793-2 числовую апертуру $NA = 0,2$ со ссылкой, например, на табл. 27, можно принять $n_1 \approx 1,48$. Отсюда по формуле 14 получаем $\Delta = 0,91\%$. Таким образом, с привлечением формулы 23 для случая импульсов прямоугольной формы ($k = 0,34$) получаем $\Delta F_s = 7,6$ МГц·км. Из формулы 34 немедленно следует, что передача сигналов даже среднескоростных интерфейсов Fast Ethernet с $f_T = 125$ МГц по ступенчатым ОВ становится технически невыгодной при расстояниях более чем 98 м. В этой ситуации при организации более протяженных трактов, что достаточно часто встречается в практике реализации магистральной части структурированной проводки (см. параграф 13.7.2), для обеспечения требуемых качественных показателей канала связи необходимо переходить на одномодовую технику. Однако такой переход, в свою очередь, при длинах организуемых трактов не свыше 1200–1400 м невыгоден уже экономически (см. параграф 13.2.2). При использовании для организации информационного обмена сетевых интерфейсов 1G и 10G Ethernet указанное расстояние уменьшается еще на один и два порядка соответственно. Столь жесткие ограничения практически означают запрет на применение в технике классических СКС офисного назначения многомодовых световодов со ступенчатым профилем показателя преломления. Одновременно градиентные ОВ почти не отличаются от ступенчатых по таким эксплуатационным параметрам, как удельные потери, эффективность ввода излучения, сложность сращивания. Поэтому ниже под многомодовыми световодами в соответствии с требованиями стандартов СКС мы всегда будем подразумевать только ОВ с градиентным профилем показателя преломления.

Единственной возможной нишей массового использования ОВ со ступенчатым профилем показателя преломления могут считаться области, где протяженность организуемой линии не превышает 50 м, максимальная скорость передачи ограничена значением 500 Мбит/с, а магистральная подсистема отсутствует. Примерами таких объектов могут служить домашние сети и некоторые разновидности сетей промышленного назначения, реализуемые, например, на основе полимерных ОВ (см. главу 9).

На основании параграфа 2.3.1 ΔF для градиентного волокна примерно на два порядка превышает аналогичный параметр для ступенчатого. Это означает, что при $l \approx l_0$ дисперсионный штраф по мощности для градиентного волокна может считаться пренебрежимо малым, что может рассматриваться в качестве обоснования справедливости предположения формулы 15.

2.5. Особенности передачи цифровой информации по оптическим трактам СКС

СКС создается для обеспечения средой передачи информации различных видов сетевой аппаратуры. При выборе принципов построения этой аппаратуры

и используемых при ее создании схемотехнических решений разработчики в обязательном порядке учитывают особенности ОК как направляющей системы электромагнитных колебаний и особенности рабочего частотного диапазона. Это позволяет существенно улучшить характеристики линии связи в целом по дальности, пропускной способности и помехоустойчивости.

2.5.1. Линейные коды оптической сетевой аппаратуры

Наиболее простым способом доставки цифровой информационной последовательности от передатчика к приемнику является ее непосредственная передача в линию без применения каких-либо предварительных преобразований. Подобный способ представления сигнала получил название кодирования без возврата к нулю, или кодирования NRZ (от Non Return to Zero). Под термином «без возврата» в данном случае понимается то, что на протяжении всего тактового интервала не происходит изменения уровня сигнала.

В силу определенных причин применение NRZ-кодирования для передачи информации по оптическим трактам СКС является неоптимальным и в состав схемы передатчика вводится кодер. В функции этого устройства входит выполнение предварительного преобразования сигнала, которое заключается в добавлении к исходной информационной последовательности новых импульсов и изменении длительности исходных посылок. За счет этого линейный сигнал существенно лучше адаптирован к условиям передачи в конкретной направляющей системе (оптическое волокно, витая пара, коаксиальная трубка и т. д.). Таким образом, код в линии может существенно отличаться от кода исходной цифровой последовательности. На приемном конце декодер осуществляет обратное преобразование и восстанавливает исходное сообщение, которое поступает в приемник.

К линейным кодам предъявляется ряд требований, основные из которых могут быть сформулированы в следующем виде:

- энергетический спектр линейного кода должен иметь минимальное содержание ВЧ и НЧ-составляющих. При этом желательно, чтобы основная доля энергетического спектра была сосредоточена в относительно узком частотном диапазоне, так как это обеспечивает уменьшение искажений сигнала при ограниченной ширине полосы пропускания тракта;
- статистические характеристики сигнала должны обеспечить устойчивую работу приемных устройств, а также возможность контроля ошибок;
- код не должен налагать ограничений на передаваемое сообщение и позволять передачу любой последовательности нулей и единиц исходного сообщения;
- устройства кодирования и декодирования линейного сигнала, а также схемы выделения тактовой частоты должны иметь максимально простую конструкцию.

При выборе кодов для передачи информации по оптическим каналам связи необходимо учитывать следующие особенности этой среды передачи и элементной базы, на которой строятся схемы оптических приемопередатчиков:

- линейный сигнал может принимать только нулевое или положительное значение («отрицательный» свет не существует), то есть в линии всегда будет присутствовать постоянная составляющая;
- линии оптической связи используются для передачи высокоскоростных сигналов на большие расстояния, то есть требования минимального расширения полосы частот исходного сообщения имеют более важное значение по сравнению с электрическими системами;
- особенности элементной базы, используемой для построения приемопередатчиков оптических линий связи, и, в частности, существенная временная и температурная нестабильность мощности выходного сигнала оптических излучателей (особенно полупроводникового лазера) не позволяют эффективно использовать многоуровневые схемы кодирования;
- современные полупроводниковые излучатели без использования специальных технологических и схемных решений не могут генерировать чистое монохроматическое излучение. В силу этого в подавляющем большинстве линий оптической связи используется модуляция интенсивности (мощности) излучения, а применение дискретной фазовой и частотной модуляций излучения является невозможным;
- значительно более высокая стоимость ОВ по сравнению с витой парой (соотношение примерно 30 центов 1 м волокна 62,5/125 против 5–7 центов витой пары категории 5е) делает экономически нецелесообразным использование широко применяемого в электрических системах принципа распараллеливания информационных потоков и их передачу по нескольким отдельным ОВ с меньшей скоростью;
- оптические интерфейсы сетевой аппаратуры из-за наличия так называемого квантового шума обладают существенно меньшим энергетическим потенциалом. Так, например, согласно стандартам ISO/IEC 11801 и TIA/EIA-568-B энергетический потенциал сетевого интерфейса 100Base-TX, использующего в качестве среды передачи витую пару категории 5е, должен превышать полное затухание тракта передачи общей длиной 100 м на частоте 100 МГц, то есть должен составлять как минимум 24 дБ. Аналогичный оптический интерфейс 100Base-FX имеет значение данного параметра в 11 дБ, то есть на 13 дБ меньше. Это обстоятельство приводит к тому, что в оптических системах двунаправленная передача информационного сигнала по одному ОВ получила крайне ограниченное распространение на практике и канал связи образуется двумя световодами, по каждому из которых информация передается в одном направлении.

В оптических системах связи со скоростью передачи информации до 16 Мбит/с широко применяется манчестерское кодирование, так как дис-

персионные параметры современных ОК вполне позволяют организацию кабельных трактов длиной до 3 км. При скоростях порядка 100 Мбит/с и выше широкополосность многомодового ОК оказывается уже недостаточной, и используются более экономичные в смысле требуемого частотного диапазона блочные коды [69]. Возможность применения этого кодирования обосновывается тем, что стабильность частоты тактового генератора, реализованного на современной элементной базе, достаточно высока. Это позволяет выполнять подстройку не по каждому сигнальному биту, а реже.

Код 4B5B является примером блочного самосинхронизирующего кодирования, который используется в системах FDDI и Fast Ethernet 100-Base-FX. Согласно алгоритму его реализации каждые четыре входных информационных бита кодируются пятью линейными в соответствии с так называемой кодовой таблицей. Вид кодовой таблицы может быть самым различным в зависимости от поставленной задачи и требуемых свойств кода. Так, в системе FDDI из соображений обеспечения устойчивости тактовой синхронизации и минимизации флуктуаций средней оптической мощности линейный сигнал при передаче данных всегда имеет не менее двух изменений в каждом блоке. Схема блочного кодирования системы FDDI приведена в табл. 13.

Таблица 13. Схема кодирования 4B5B

Символ блока данных	Двоичный код блока	Представление сигнального	
		десятичное	двоичное
0	0000	30	11110
1	0001	09	01001
2	0010	20	10100
3	0011	21	10101
4	0100	10	01010
5	0101	11	01011
6	0110	14	01110
7	0111	15	01111
8	1000	18	10010
9	1001	19	10011
A	1010	22	10110
B	1011	23	10111
C	1100	26	11010
D	1101	27	11011
E	1110	28	11100
F	1111	29	11101

Линейный сигнал при блочном кодировании обладает избыточностью по сравнению с информационным. Избыточность используется для увеличения помехоустойчивости и обнаружения ошибок, так как часть кодовых комбинаций при этом оказывается запрещенной. При их обнаружении выдается команда VIOLATION, означающая обнаружение ошибки [70].

В сравнении с RZ и манчестерскими кодами кодирование 4B5B обеспечивает тактовую частоту не в два, а только в 1,25 превышающую тактовую частоту информационного сигнала. Это позволяет намного более эффективно использовать полосу пропускания линии связи.

Код 8B10B является другим примером блочного кода, который изначально был разработан компанией IBM для применения в аппаратуре ESCON, затем использовался в аппаратуре Fibre Channel и отсюда был заимствован для применения в оптических интерфейсах Gigabit Ethernet. В коде 8B10B для представления 8 битов данных используются 10 сигнальных битов. Исходная информация представляется в форме последовательности блоков из восьми информационных битов A,B,C,D,E,F,G,H каждый, к которым добавляется контрольный бит Z. Эти биты преобразуются с помощью кодовой таблицы в биты a,b,c,d,e,i,f,g,h,j десятибитового так называемого передаваемого символа (transmission character). Контрольный бит принимает значение D* для символов, представляющих исходные данные, и K — для специальных символов. Отметим также, что принцип составления кодовой таблицы для упрощения схемных решений цепей синхронизации приемника выбран таким образом, чтобы символы D-типа не содержали более четырех нулей или единиц подряд.

Каждой входной последовательности из 8 информационных и одного контрольного бита ставится в соответствие название, составленное по формуле Zxx.y, где Z — контрольный бит, xx — десятичное число, составленное из пяти последних битов D, E, F, G и H, и y — десятичное число, составленное из трех первых битов A, B и C. Например, специальный (типа K) шестнадцатеричный символ «BC» называется K28.5. Приемник декодирует полученную информацию блоками по 10 бит, после чего символы типа D* преобразуются в одну из 256 восьмибитовых комбинаций, а символы типа K используются для управления протоколом. Символы, которые не являются символами типа D* или K, рассматриваются как ошибки.

Каждый символ типа D* или K имеет два, необязательно различных, варианта представления, которые зависят от начального значения нечетности символа или текущего диспаритета (Running Disparity, RD). Для каждого следующего передаваемого символа передатчик и приемник вычисляют новое значение RD на основе сбалансированности нулей и единиц в подблоках (первые шесть бит и последние четыре бита) переданного только что символа и на основе полученного результата определяют то представление следующего импульса, которое будет передаваться в линию. Механизм вычисления парамет-

ра RD обеспечивает наличие достаточного количества смен уровня сигнала для синхронизации передатчика и приемника.

Некоторые дополнительные сведения о правилах формирования кода 8B10B содержатся в статье [71].

2.5.2. Системы со спектральным разделением оптических каналов

Увеличение скорости передачи информации в оптическом канале связи свыше 1 Гбит/с в настоящее время не представляет непреодолимых технических сложностей. Однако создание подобных интерфейсов сопряжено с необходимостью применения в оптических приемниках и передатчиках сложных и дорогих электронных схем и оптоэлектронных компонентов [72]. В сложившейся ситуации для увеличения технико-экономической эффективности канала связи часто используют схему спектрального, или волнового, разделения оптических каналов (мультиплексирования), называемого также иногда уплотнением, или мультиплексированием, по длинам волн (wavelength division multiplexing — WDM)¹.

Схема, иллюстрирующая принцип передачи информации с использованием спектрального разделения, изображена на рис. 30. Передаваемые сигналы поступают в оптические передатчики, модулируя по интенсивности оптические несущие с длинами волн $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$. Затем излучение этих несущих объединяется в сумматоре (функции этого устройства может выполнять интерференционный фильтр), с выхода которого оно поступает в ОВ. На приемном конце демультиплексор делит групповой оптический поток на отдельные составляющие со своей длиной волны, которые поступают на оптические приемники и преобразуются ими в электрические сигналы.

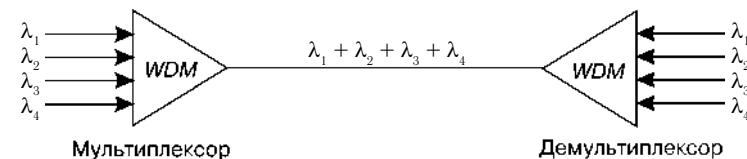


Рис. 30. Принцип передачи информации со спектральным разделением

В зависимости от используемых окон прозрачности и расстояния между отдельными оптическими несущими различают следующие виды спектрального разделения:

¹ Некоторые авторы используют для описания этой технологии термин «частотное уплотнение» («частотное разделение»), который верно передает суть данного технического решения. Однако он «занят» ранее для описания аналоговых систем передачи телефонной информации. Именно поэтому возникает необходимость введения нового термина — «спектральное разделение», который нормирован ОСТ 45.190-2001 Министерства РФ по связи и информатизации.

- двухволновое спектральное разделение, когда используются всего две оптические несущие из различных окон прозрачности, например 1310 и 1550 нм; в случае необходимости к такой системе может быть подключен еще один канал с номинальной центральной длиной волны 1490 или 1650 нм;
- неплотное спектральное разделение (coarse wavelength division multiplexing – CWDM, реже употребляется сокращение WDM)¹, согласно которому применяются оптические несущие в диапазоне от 1270 до 1610 нм с расстоянием между ними в 20 нм согласно рекомендации ITU-T G.694.2 [73];
- плотное спектральное разделение (dense wavelength division multiplexing – DWDM), согласно которому используются оптические несущие из одного окна прозрачности с расстоянием между ними согласно рекомендациям ITU-T G.692.1 в 0,8 нм [74].

Необходимость учета возможности применения принципа спектрального разделения в технике СКС обусловлена предложениями рабочей группы IEEE 802.3ae в отношении принципов построения оптических интерфейсов 10G Ethernet (табл. 14). Этими предложениями предусматривается использование схемы CWDM на многомодовых ОК, что дает возможность получения экономически более выгодного решения.

Таблица 14. Номенклатура спецификаций 10G Base-XYZ по IEEE 802.3ae

X	S (short, 850 нм) L (long, 1310 нм) E (extra long, 1550 нм)
Y	W (WAN SONET, кодирование STM-192) R (LAN, последовательная передача, код 64B/66B) X (LAN, CWDM и кодирование 8B/10B)
Z	Количество каналов при спектральном разделении
10G Base-SR	850 нм, последовательная передача LAN
10G Base-LR	1310 нм, последовательная передача LAN
10G Base-ER	1550 нм, последовательная передача LAN
10G Base-LX4	1310 нм, 4-канальное CWDM, LAN

В системах CWDM, использующих весь спектр длин волн 1270–1610 нм (так называемая Full-spectrum CWDM, или FS-CWDM [75]), количество поддерживаемых каналов в волокнах с подавленным водяным пиком согласно рекомендации G.694.2 ITU-T достигает 18. При построении интерфейсов 10G Ethernet применяется 4-канальная схема спектрального разделения CWDM

¹ Общеизвестное наименование этой технологии до настоящего времени еще не устоялось. В различных публикациях ее называют также технологией редкого, разреженного или грубого спектрального разделения.

с номинальными длинами волн оптических несущих 1270, 1290, 1330 и 1350 нм. Число каналов выбрано, вероятно, из соображений обеспечения максимальной унификации схемных решений с предполагаемым для внедрения интерфейсом 10G Base-T, а применение решения на основе техники неплотного спектрального уплотнения обеспечивает заметное улучшение экономических характеристик оптической части интерфейса. Последнее обусловлено как существенным упрощением схем интерференционных фильтров, так и возможностью применения в оптических передатчиках более дешевых лазеров с большей спектральной шириной излучения и меньшей температурной и временной стабильностью.

Проиллюстрируем данные положения несколькими числовыми примерами. Фильтр, предназначенный для применения в оборудовании CWDM, обычно реализуется с привлечением технологии нанесения интерференционных покрытий. Такие устройства обеспечивают ширину полосы пропускания порядка 13 нм при вносимых потерях 1 дБ и эффективность подавления перекрестной помехи в 30 дБ при отстройке от центральной длины волны в 20 нм. Эти характеристики позволяют без ограничений применять в CWDM-системах серийные неохлаждаемые лазеры с распределенной обратной связью (DBF-лазеры, РОС-лазеры), имеющие типовой разброс центральной длины волны ± 2 нм и температурный дрейф 0,1 нм/°С при мощности генерируемого излучения около 1 мВт.

Технология спектрального разделения в различных вариантах ее исполнения является очень перспективной при разработке интерфейсов ЛВС со скоростями передачи свыше 10 Гбит/с. Так, в частности, реализацию интерфейса 100G Ethernet предполагается осуществить на основе технологии DWDM.

2.6. Выводы

Реализация физического уровня информационно-вычислительной системы на базе структурированной проводки при характерных на сегодняшний день и в обозримой перспективе объемах и скоростях передаваемой информации не требует разработки новых типов волоконных световодов. Это позволяет унифицировать оптические волокна, применяемые в конструкциях оптических кабелей СКС и сетей связи общего пользования.

Широкополосность ступенчатых многомодовых волокон недостаточна для поддержки функционирования подавляющего большинства современных и тем более перспективных сетевых интерфейсов. С учетом этого обстоятельства многомодовые оптические кабели СКС должны строиться исключительно на основе градиентных световодов.

Основным фактором, ограничивающим предельную дальность передачи информационных потоков с мультигигабитными скоростями по многомодовым оптическим трактам СКС, являются дисперсионные искажения, обусловленные межмодовой дисперсией. Для преодоления этого барьера используют

ся совершенствование волокна как среды передачи информационного сигнала и аппаратурные решения (передача с привлечением блочного кодирования линейного сигнала и использование техники спектрального разделения).

Параметры современных градиентных многомодовых волокон позволяют создавать на их основе тракты передачи сигналов со скоростью вплоть до 10 Гбит/с длиной порядка 500 м с возможностью увеличения этого параметра в перспективе до 1000 м, то есть до того предела, за которым применение многомодовой техники становится невыгодным по экономическим причинам.

В процессе создания волокон, рассчитанных на поддержку передачи информационных потоков со скоростями передачи 10 Гбит/с при длине тракта в несколько сотен метров, в обязательном порядке необходимо учитывать влияние хроматической дисперсии, которая минимизируется за счет применения в сетевых интерфейсах излучателей с шириной линии излучения менее 1 нм.

Фактические величины длины установления связи мод современных многомодовых волокон таковы, что, во-первых, в случае отсутствия локальных дефектов сердцевины они потенциально могут поддерживать функционирование одномодовых приемопередатчиков и, во-вторых, при расчетах кабельных трактов СКС можно без ограничений пользоваться линейным описанием зависимости межмодовой дисперсии от расстояния.

Основным типом оптического волокна для одномодовых кабелей СКС, наиболее предпочтительным по критерию цена — функциональные возможности, являются стандартные световоды В1.1 по IEC 60793-2-50 (G.652). Технические преимущества одномодовых световодов с модифицированными дисперсионными свойствами (G.655, G.656 и аналогичные им) в области структурированной проводки являются невостребованными из-за небольших длин организуемых трактов передачи информации.

ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СКС

3.1. Система международной стандартизации оптических волокон

3.1.1. Общие положения

В настоящее время стандартизацией параметров ОВ на международном уровне занимаются две организации: Международный союз электросвязи ITU-T и Международная электротехническая комиссия ISO. Документы, публикуемые этими организациями, рассматривают проблему стандартизации продукции с несколько отличных позиций и взаимно дополняют друг друга (табл. 15). Классификация различных типов ОВ ITU-T описана в рекомендациях серии G.65X этой организации. Основные положения данной классификации без существенных изменений содержатся в международных стандартах серии IEC 60793-2. При этом международные нормативные документы вводят несколько новых разновидностей достаточно популярных на практике волокон, которые отсутствуют в классификации ITU-T. Так, в области многомодовой техники рекомендация G.651 содержит информацию только о волокне типа 50/125, тогда как стандарт IEC 60793-2-10 [76] описывает также актуальное для техники СКС волокно типа 62,5/125. Аналогичным примером из области одномодовой техники служит волокно с подавленным водяным пиком затухания (см. параграф 2.4.2), нормированное стандартом IEC 60793-2-50 [77], которое вообще не упоминается в более ранних рекомендациях серии G.65X.

Общим принципом, положенным в основу классификации IEC, является разделение всего множества ОВ на две основные группы по номинальному режиму функционирования волокна в смысле количества направляемых мод. Внутри группы выделяются классы и подклассы волокон. Обозначение класса многомодовых волокон всегда начинается с символа А, отличительным признаком одномодового световода является использование символа В на первой позиции его обозначения.

Таблица 15. Основные отличия в подходах ITU-T и ISO к проблеме стандартизации волоконных световодов

Организация	ITU-T	ISO
Тип документа	Рекомендации	Спецификации
Доминирующие организации	Операторы связи	Производители
Цель деятельности	Определение функциональных требований	Разработка спецификаций
Особенности принятия документов	Достижение договоренности	Голосование

Основным признаком отнесения многомодового волокна к определенному классу является материал, из которого изготавливаются его оболочка и сердцевина. Стандарты серии IEC 60793-2 предусматривают многомодовые ОВ структуры стекло/стекло, стекло/полимер и полимер/полимер¹, которые образуют классы A1–A4, см. табл. 16. Деление на отдельные подклассы осуществляется по номинальному диаметру сердцевин и оболочки. При этом в качестве обозначения определенного подкласса используется термин «категория» (category).

Таблица 16. Классы многомодовых световодов по IEC 60793-2

Класс	Материал сердцевин и оболочки	Диаметр сердцевин/оболочки			
		a	b	c	d
A1	Стекло/стекло	50/125 *	62,5/125	-	100/140
A2	Стекло/стекло	200/240	-	-	-
A3	Стекло/полимер	200/280	-	-	-
A4	Полимер/полимер	980/1000	735/750	485/500	980/1000

* Волокно G.651 по классификации ITU-T

Описание одномодовых ОВ вынесено в стандарт IEC 60793-2-50. Данный документ в действующей редакции предусматривает световоды трех классов, см. табл. 17. Признаком отнесения одномодового ОВ к определенному классу являются рабочий диапазон длин волн и длина волны нулевой дисперсии. Класс В1 представляет собой так называемые стандартные волокна и включает в себя также конструкции, разработанные на их основе. Волокна со смещением дисперсии объединяются в класс В2. Продукция класса В4 представляет собой ОВ с ненулевой смещенной дисперсией.

¹ Иногда вместо термина стекло употребляется термин кварц, и название звучит как кварц/полимер и т. д.

Особенностью стандарта IEC 60793-2-50 является то, что он не предусматривает в явном виде категорий световодов. Деление на отдельные подклассы осуществляется только для световодов класса В1. ОВ класса В1.1 являются волокнами без смещения дисперсии и оптимизированы для работы в спектральном диапазоне 1310 нм. При относительно небольших длинах участков и скоростях передачи возможно их использование в спектральном диапазоне 1550 нм. Световоды класса В1.2 представляют собой ОВ со смещением дисперсии и обладают наилучшими частотными свойствами в спектральном диапазоне 1550 нм, то есть там, где достигается минимум потерь. В класс В1.3 объединяют волокна с подавленным водяным пиком.

Таблица 17. Классы одномодовых световодов по IEC 60793-2-50

Класс	Обозначение		Длина волны нулевой дисперсии, нм	Рабочая длина волны, нм	Тип волокна
	ITU	ISO/IEC 11801			
B1.1	G.652	OS1	1300	1300	SF
B1.2	G.654	–	1300	1550	–
B1.3	G.652C	OS2*	1300–1324	1300–1625	LWP, ZWP
B2	G.653	–	1550	–	DSF
B4	G.655	–	–	1550	NZDSF
–	G.656**	–	<1460	1460–1625	–

*В настоящее время не стандартизовано (см. параграф 3.3.2).

**Так называемые волокна с ненулевой смещенной дисперсией для широкополосной оптической передачи [78].

Классификация стандартов серии IEC 60793-2 предусматривает матричную схему формирования кода класса и категории. При этом по мере развития техники из списка нормируемых могут исключаться некоторые устаревшие разновидности волокон. Так, например, из редакции стандарта от 2002 г. выведены многомодовые ОВ категории A1с типа 85/125 мкм, которые перестали пользоваться сколько-нибудь заметной популярностью на практике. В области нормирования одномодовых световодов из этой редакции исключены ОВ категории В3. Схема формирования кода допускает также его простое расширение в случае возникновения такой необходимости. Так, появление 50-микронных волокон для работы с лазерными излучателями (см. параграф 3.2.2) потребовало введения нового подкласса A1a.2, уже используемого в проектах нормативных документов. С учетом этого обстоятельства за обычными ОВ этой разновидности в будущих редакциях стандарта предполагается закрепить обозначение A1a.1.

Согласно документам серии IEC 60793-2 стандартизуются следующие группы параметров волокон:

- геометрические параметры (dimensional requirments);
- механические параметры (mechanical requirments);
- передаточные параметры (transmission requirments);
- стойкость к воздействию факторов окружающей среды (environmental requirments).

Дополнительно со ссылкой на соответствующие стандарты IEC определяются также методы тестирования нормируемых параметров. Полная совокупность этих параметров делится на общие для всех типов волокон и дополнительные, задаваемые для каждого типа ОВ отдельно.

Для части характеристик стандарты серии IEC 60793-2 нормируют только метод измерения без указания предельного значения или диапазона допустимого изменения. В качестве примера можно указать некруглость первичного защитного покрытия и длину волокна из группы геометрических параметров. В данной ситуации считается, что конкретная величина оговаривается между поставщиком и заказчиком в каждом конкретном случае индивидуально. Такой метод нормирования можно назвать «мягкой» стандартизацией.

3.1.2. Геометрические параметры

Геометрические параметры ОВ различных классов и категорий, актуальных для использования в технике СКС, приведены в табл. 18.

Специфика передачи оптического излучения по световодам различных типов накладывает определенный отпечаток на характер стандартизации геометрических параметров. Для одномодовых ОВ в отличие от многомодовых не нормируются диаметр сердцевины и ее некруглость. Вместо этого для них в передаточных параметрах указывается номинальный диаметр модового поля.

Номинальный внешний диаметр оболочки у многомодовых и одномодовых ОВ из соображений унификации выбран одинаковым и равным 125 мкм. Более жесткие допуски на возможные отклонения этого параметра у одномодовых волокон обусловлены необходимостью обеспечения приемлемых потерь в ОР.

Внешний диаметр первичного защитного покрытия составляет 245 ± 10 мкм. При окраске волокна в маркировочные цвета согласно, например, табл. 40, его внешний диаметр и допуск на его колебания несколько возрастает и составляет 250 ± 15 мкм. Эти величины считаются основными для ОВ, используемых при производстве ОК связи. Стандартами допускается применение первичных защитных покрытий с другими номинальными значениями диаметров. Для многомодовых волокон ряд разрешенных значений диаметров составляет 400 ± 40 , 500 ± 50 , 700 ± 100 и 900 ± 100 мкм, для одномодовых световодов этот ряд выбран практически таким же и включает в себя величины 400 ± 40 , 700 ± 100 и 900 ± 100 мкм.

Таблица 18. Геометрические параметры волокон различных классов и категорий, применяемых в оптических кабелях СКС

Класс волокна	A1a	A1b	B	Метод тестирования
Диаметр оболочки, мкм	125 ± 2	125 ± 2	125 ± 1	IEC 60793-1-20
Диаметр сердцевины	50 ± 3	$62,5 \pm 3$	-	IEC 60793-1-20
Некруглость оболочки, %	< 2	< 2	$< 2,0$	IEC 60793-1-20
Некруглость сердцевины, %	< 6	< 6	-	IEC 60793-1-20
Неконцентричность сердцевины – оболочка, мкм	< 3	< 3	$< 0,8$	IEC 60793-1-20
Диаметр неокрашенного первичного защитного покрытия, мкм	245 ± 10	245 ± 10	245 ± 10	IEC 60793-1-21
Диаметр окрашенного первичного защитного покрытия, мкм	250 ± 15	250 ± 15	250 ± 15	IEC 60793-1-21
Неконцентричность первичное защитное покрытие – оболочка, мкм	$< 12,5$	$< 12,5$	$< 12,5$	IEC 60793-1-21

Кроме того, задаются некруглость и неконцентричность сердцевины и отдельных трубчатых покрытий. Нормирование этих параметров необходимо для гарантированного получения требуемых величин потерь в ОР и в некоторых разновидностях неразъемных соединителей.

В перечень параметров с мягкой стандартизацией входят некруглость первичного защитного покрытия (метод измерения IEC 60793-1-21) и длина волокна, которая измеряется в соответствии с IEC 60793-1-22.

3.1.3. Механические параметры

Стандарты серии IEC 60793-2 задают следующие механические параметры волокон:

- уровень напряжения при испытаниях на разрыв или минимальное натяжение перемотки (proof test);
- величины среднего и максимального усилий снятия (стягивания) первичного защитного покрытия (strip force);
- радиус собственного изгиба (fibre curl radius).

Первые три параметра из приведенного перечня достаточно очевидны и не требуют развернутого комментария. Испытания на разрыв обычно выполняются на кабельных заводах непосредственно перед изготовлением модулей или иных функционально аналогичных элементов сердечника и используются

для отбраковки дефектных волокон. Усилие снятия первичного защитного покрытия, наоборот, является чисто эксплуатационной характеристикой. Нормирование этого параметра фактически определяет требования к зачистным инструментам и во многом диктует технологию разделки ОВ в процессе установки вилок ОР и соединения волокон.

Необходимость нормирования радиуса собственного изгиба для одномодовых волокон возникает из-за того, что при использовании сварной технологии сращивания концевой участок ОВ на достаточно большую длину выступает из держателя сварочного аппарата. Аппарат в процессе юстировки не выполняет компенсацию угловых отклонений световодов от положения, оптимального для сращивания. В силу этого при малых значениях радиуса собственного изгиба не гарантируется качество соединения по величине затухания. Для многомодовых волокон этот параметр критичен не столь существенно. Это связано как со значительно меньшим влиянием угловых рассогласований соединяемых световодов на качество изготовления сварного сростка, так и с относительно меньшей распространенностью сварной технологии в многомодовой технике.

Числовые значения нормируемых механических параметров приведены в табл. 19.

Таблица 19. Механические параметры оптических волокон

Класс волокна	A1	B
Уровень напряжения при испытаниях на разрыв, ГПа	> 0,69	
Среднее усилие снятия первичного защитного покрытия, Н	1 – 5	
Максимальное усилие снятия первичного защитного покрытия, Н	1 – 8,9	
Радиус собственного изгиба, м	–	2

3.1.4. Передаточные параметры

Стандарты серии IEC 60793-2 нормируют передаточные параметры, численные значения которых приведены в табл. 20 (для многомодовых волокон) и в табл. 21 (для одномодовых волокон).

Многомодовые волокна могут быть использованы для передачи аналоговой и цифровой информации. Конструкция данной разновидности световодов рассчитывается на их применение в окне прозрачности 850 и 1300 нм или же в обоих этих спектральных диапазонах одновременно. В последнем случае значения коэффициента широкополосности в указанных диапазонах технологическими приемами устанавливаются примерно одинаковыми (область Y на рис. 31), что является одним из необходимых условий обеспечения универсальности оптического тракта (так называемые двухоконные световоды).

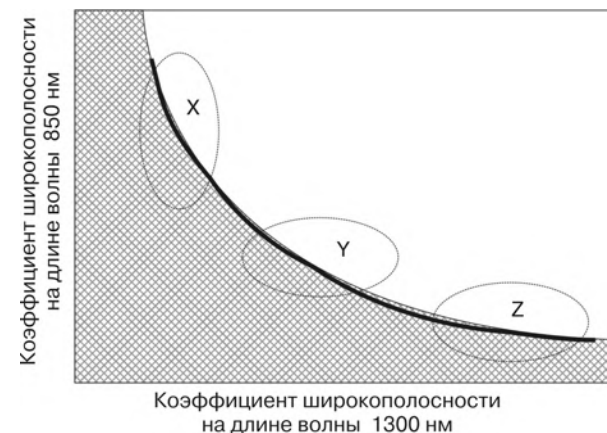


Рис.31. Спектральная зависимость коэффициента широкополосности различных типов многомодовых световодов по IEC 60793-2-10

Стандарт IEC 60793-2-50 предусматривает три различных типа длины волны отсечки: собственно волокна λ_c , линейного кабеля λ_{cc} и гибкого кабеля λ_{cj} . В общем случае $\lambda_{cc} < \lambda_c < \lambda_{cj}$.

Стандарт IEC 60793-2-50 дополнительно фиксирует, что для одномодовых ОВ типа В1.1 спектральная характеристика дисперсии в районе длины волны 1550 нм аппроксимируется линейной функцией. При типовом значении дисперсии в этом спектральном диапазоне 17 пс/нм·км ее крутизна составляет 0,056 пс/нм²·км.

Анализ данных табл. 21 показывает, что передаточные параметры волокон классов В1.1 и В1.3 практически идентичны. Это позволяет без ограничения использовать перспективные ОВ класса В1.3 в качестве замены стандартных волокон В1.1.

Из-за различных областей использования и назначения одномодовых волокон они имеют единственную общую нормируемую в численной форме передаточную характеристику: потери на макроизгибах. Предусматривается также измерение поляризационной модовой дисперсии, однако в действующей редакции стандарта численные значения этой характеристики отсутствуют.

3.1.5. Параметры стойкости к воздействиям окружающей среды

Стандарты серии IEC 60793-2 предусматривают четыре разновидности воздействий окружающей среды, которым должно противостоять одномодовое и многомодовое ОВ, см. табл. 22. При этом какие-либо численные значения этих параметров в стандартах не приводятся, то есть их нормирование осуществляется по мягкой схеме.

Таблица 20. Передаточные характеристики многомодовых оптических волокон классов A1a и A1b

Класс волокна	A1a		A1b		Метод тестирования
	850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм	
Коэффициент затухания, дБ/км	2,4–3,5	0,7–1,5	2,8–3,5	0,7–1,5	IEC 60793-1-40
Минимальный коэффициент широкополосности, МГц·км	200–800	200–1200	100–800	200–1000	IEC 60793-1-41
Числовая апертура	0,20±0,02 или 0,23±0,02		0,275±0,015		IEC 60793-1-43
Длина волны нулевой хроматической дисперсии, λ_0 , нм	1295 < λ_0 < 1365		1295 < λ_0 < 1365		IEC 60793-1-42
Крутизна S_0 спектральной характеристики дисперсии, пс/нм ² ·км, в диапазоне длин волн 1295 < λ_0 < 1300 1300 < λ_0 < 1348 1348 < λ_0 < 1365	< 0,105+0,001(λ_0 – 1295) < 0,11 < 0,001(1458 – λ_0)		< 0,105+0,001(λ_0 – 1295) < 0,11 < 0,001(1458 – λ_0)		

Таблица 21. Передаточные характеристики одномодовых оптических волокон некоторых классов

Класс волокна	B1.1		B1.3		B4		Метод тестирования
	1310	1550	16XX	1310	1550	16XX	
Длина волны, нм	1310	1550	16XX	1310	1550	16XX	16XX
Коэффициент затухания, дБ/км (XX < 0,25 нм)	< 0,40	< 0,30	< 0,40	< 0,40	< 0,30	< 0,40	IEC 60793-1-40
Длина волны нулевой дисперсии, λ_0 , нм	1300 < λ_0 < 1324	1295 < λ_0 < 1365		1295 < λ_0 < 1365	1295 < λ_0 < 1365		IEC 60793-1-42
Крутизна спектральной характеристики дисперсии в окрестностях длины волны нулевой дисперсии, пс/нм ² ·км	< 0,093		< 0,093		± 0,7		IEC 60793-1-42
Номинальный диаметр модового поля, мкм на длине волны	8,6–9,5±0,7/1310 нм		8,6–9,5±0,7/1310 нм		8,0–11±0,7/1550 нм		IEC 60793-1-45
Длина волны отсечки, нм	< 1260		< 1260		< 1260		IEC 60793-1-45
Потери на макроизгибах на длине волны 1550 нм, 100 витков на катушке диаметром 75 мм	–	< 0,50	–	–	< 0,50	–	IEC 60793-1-47

Таблица 22. *Параметры стойкости к воздействиям окружающей среды*

Параметр	Метод тестирования
Стойкость к повышенной температуре при повышенной влажности (damp heat tests)	IEC 60793-1-50
Стойкость к повышенной температуре при нормальной влажности (dry heat tests)	IEC 60793-1-51
Стойкость к изменению температуры (change of temperature tests)	IEC 60793-1-52
Стойкость к погружению в воду (water immersion tests)	IEC 60793-1-53

3.2. Принцип нормирования параметров и особенности конструкции волокон для кабелей СКС

3.2.1. Нормирование параметров

В оптических кабелях СКС действующими нормативно-техническими документами допускается применение многомодовых и одномодовых световодов.

3.2.1.1. Многомодовые волокна

Согласно стандарту ISO/IEC 11801:2002 в многомодовых ОК должны применяться градиентные ОВ структуры стекло-стекло классов A1a и A1b по IEC 60793-2-10 с диаметром сердцевины 50 или 62,5 мкм, см. табл. 16. [79].

Стандарт ISO/IEC 11801:2002 делит волокна многомодовых оптических кабелей СКС на категории по частотным свойствам. ОВ категорий OM1 и OM2 могут иметь диаметр сердцевины как 50, так и 62,5 мкм. Практика, однако, свидетельствует, что к категории OM1 относятся преимущественно волокна типа 62,5/125, тогда как параметры основной массы обычных 50-микронных волокон соответствуют требованиям категории OM2. Широкополосные волокна категории OM3 могут иметь диаметр сердцевины только в 50 мкм.

Американские стандарты СКС не предусматривают в явном виде категорий многомодовых ОВ. Нормирование характеристик волокон, работающих в режиме возбуждения с переполнением, осуществляется в стандарте TIA/EIA-568-B.3 (табл. 24). Дополнение к этому нормативному документу TIA/EIA-568-B.3-1 [80] описывает параметры (табл. 25) и области применения широкополосного волокна типа 50/125, оптимизированного для подключения лазерных излучателей и ориентированного на поддержку функционирования оптических интерфейсов 10G Ethernet.

В области передаточных параметров стандарты СКС в явном виде задают только две наиболее важные характеристики: затухание и частотные свойства (табл. 23, табл. 23 и табл. 26). Стандартизация остальных параметров осуществляется ссылками на другие нормативные документы.

Таблица 23. *Минимально допустимое значение коэффициента широкополосности, МГц · км многомодовых световодов по ISO/IEC 11801:2002*

Источник излучения		Светодиод		Лазер
Длина волны, нм		850	1300	850
Категория волокна	Диаметр сердцевины, мкм			
OM1	50 или 62,5	200	500	Не специфицируется
OM2	50 или 62,5	500	500	Не специфицируется
OM3	50	1500	500	2000

Таблица 24. *Коэффициенты затухания и широкополосности волокон оптических кабелей по TIA/EIA-568-B.3*

Тип волокна	Длина волны, нм	Максимальное затухание, дБ/км	Минимальный коэффициент широкополосности при возбуждении с переполнением, МГц·км
Многомодовое 50/125	850	3,5	500
	1300	1,5	500
Многомодовое 62,5/125	850	3,5	160
	1300	1,5	500
Одномодовое в кабелях внутренней прокладки	1310	1,0	–
	1550	1,0	–
Одномодовое в кабелях внешней прокладки	1310	0,5	–
	1550	0,5	–

Параметры допустимых величин затухания и коэффициента широкополосности многомодовых ОК американским и международным стандартами нормируются в независимости от формы их конструктивного исполнения (табл. 26 и табл. 23). Американский стандарт TIA/EIA-568-B.3 с точки зрения коэффициента затухания предъявляет к одномодовым кабелям внешней прокладки существенно более жесткие требования по сравнению с изделиями, ориентированными на использование внутри помещений.

Таблица 25. Коэффициенты затухания и широкополосности многомодовых оптических волокон типа 50/125, оптимизированных для работы с лазерными излучателями, по TIA/EIA-568-B1.3

Тип волокна	Длина волны, нм	Максимальное затухание, дБ/км	Минимальный коэффициент широкополосности МГц·км	
			При возбуждении с переполнением	При возбуждении от лазера
50/125	850	3,5	1500	2000
	1300	1,5	500	Не специфицируется

Сравнение данных табл. 24, табл. 26 и табл. 16 показывает, что по своим параметрам ОВ типа 62,5/125 стандарта TIA/EIA-568-B.3 практически соответствуют волокну категории OM1 международного стандарта, а ОВ типа 50/125 эквивалентно волокну категории OM2. ОВ категории OM3 международного стандарта является полным аналогом волокон для работы с лазерными передатчиками стандарта TIA/EIA-568-B.1-3.

Таблица 26. Максимально допустимое значение коэффициента затухания волокон оптических кабелей СКС на рабочих длинах волн по ISO/IEC 11801:2002

Длина волны, нм	Многомодовое волокно категорий OM1 и OM2		Одномодовое волокно категории OS1	
	850	1300	1310	1550
Коэффициент затухания, дБ/км	3,5	1,5	1,0	1,0

Быстрые темпы совершенствования параметров многомодовых волокон нашли свое прямое отражение в основных нормативных документах СКС. Так, еще в 1995 г. международный стандарт ISO/IEC 11801:1995 рассматривал многомодовое ОВ типа 50/125 как альтернативное (дополнительное) волокну 62,5/125, тогда как американский стандарт TIA/EIA-568-A его применения не разрешал. По сравнению с волокнами 62,5/125 световод 50/125 имеет заметно лучшие частотные свойства, что является особенно важным в случае передачи сигналов высокоскоростных вариантов аппаратуры Fibre Channel и интерфейсов 1G и 10G Ethernet. Поэтому популярность многомодовых ОК с волокнами этого типа значительно возросла в конце 90-х гг. во всем мире,

в том числе и в США. Более того, после 2000 г. ряд аналитиков высказывают мнение о бесперспективности волокон 62,5/125 [81]. С учетом хороших потребительских свойств ОВ типа 50/125 введено также в американский стандарт TIA/EIA-568-B.1.

Отметим также, что промежуточная редакция стандарта ISO/IEC 11801 от 2000 г. допускала применение стандартных по TIA/EIA-568-A многомодовых ОК, имеющих коэффициент широкополосности 160 МГц·км на длине волны 850 нм (иногда обозначаемые как волокна TIA 62,5/125 мкм [82]). При этом, однако, максимальная длина тракта передачи на их основе была ограничена значением 1,6 км. В редакции международного стандарта от 2002 г. ограничения на длину многомодового тракта по затуханию и дисперсионным искажениям учитываются индивидуально для каждого типа приложения в соответствии с табл. 3. Такой же подход с не принципиальными отличиями по допустимой длине тракта поддерживаемого приложения принят в американском стандарте TIA/EIA-568-B.1.

3.2.1.2. Одномодовые волокна

Волокна, используемые в одномодовых оптических кабелях СКС, согласно международному стандарту ISO/IEC 11801:2002 относятся к классу B1.1 по IEC-60793-2-50. Американский стандарт TIA/EIA-568-B.1 предполагает построение одномодовых ОК на основе волокон ANSI/TIA/EIA-492CAAA-1998. Приведенные в этих нормативных документах требования определяют одномодовое ОВ без смещения дисперсии. Использование ОВ со смещенной и выровненной дисперсией не запрещается, однако является явно нецелесообразным в первую очередь по соображениям экономического характера.

В указанных нормативных документах задается только величина предельно возможного затухания одномодовых ОВ. В международный стандарт в явном виде введено дополнительное требование по минимально возможному значению длины волны отсечки в 1260 нм.

Параметры допустимого затухания одномодовых ОК международным стандартом нормируются в независимости от формы их конструктивного исполнения (табл. 26). Американский стандарт TIA/EIA-568-B.3 с точки зрения коэффициента затухания предъявляет к одномодовым кабелям внешней прокладки существенно более жесткие требования по сравнению с изделиями, ориентированными на использование внутри помещений.

3.2.1.3. Особенности задания параметров

Сравнение данных, приведенных в табл. 20, табл. 21, табл. 23 и табл. 25 показывает, что в основу стандартов СКС положен принцип задания передаточных параметров по нижнему допустимому пределу ссылочных нормативных документов. Из соображений увеличения технико-экономической эффективности на сетях связи общего пользования и в области построения структурированной проводки используются однотипная кабельная продукция.

Поэтому на практике следует ожидать от кабельных изделий заметно лучших характеристик по затуханию и дисперсионным свойствам. В качестве иллюстрации данного положения в области многомодовой техники сошлемся на результаты анализа заводских паспортов (рис. 32) и измерений затухания реальных кабельных линий (рис. 206).

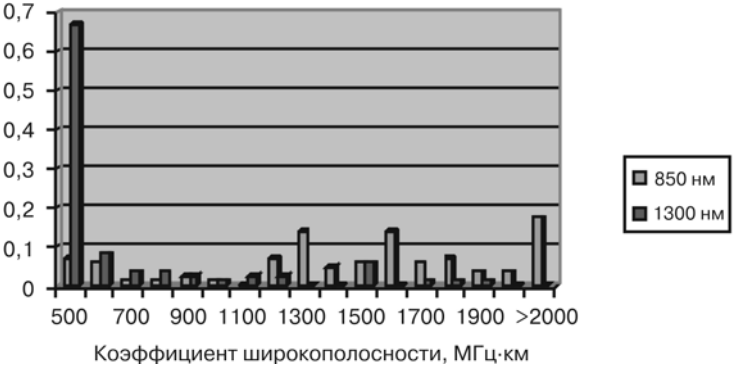


Рис.32. Функция распределения коэффициента широкополосности для многомодовых волокон типа 62,5/125 на опорных длинах волн с паспортным значением $\Delta F = 400/400$ МГц·км

Получаемый выигрыш расходуется в первую очередь на возможность введения в тракт передачи дополнительных ОР. В некоторых ситуациях имеющиеся резервы могут быть использованы для увеличения протяженности тракта свыше тех предельных значений, которые нормируются стандартами СКС (см. параграф 13.6.3).

3.2.2. Широкополосные многомодовые световоды для работы с лазерными передатчиками

До середины 90-х гг. прошлого века в оптических кабелях СКС использовались многомодовые световоды, разработанные для применения в сетях связи общего пользования и для поддержки функционирования интерфейсов FDDI. Параметры этих волокон были достаточны для того, чтобы при скоростях передачи не свыше 100–155 Мбит/с любой оптический тракт структурированной проводки максимальной длины не накладывал ограничений технического характера на пропускную способность. Данная ситуация радикальным образом изменилась в течение фактически одного только 1998 г. в связи с началом массового использования при построении ИВС сетевых интерфейсов Gigabit Ethernet. Буквально сразу же после этого появилась его еще более скоростная модификация 10G Ethernet. При этом выяснилось, что ОК, параметры ОБ которых полностью соответствовали действовавшему на тот момент редакциям

Таблица 27. Геометрические и передаточные параметры многомодовых световодов для передачи сигналов интерфейсов 1G и 10G Ethernet

Тип волокна	LaserWave 150/300/500	MaxCap 150/300/550	GigaLite 3 (Gigalite 10) Class A/Class B	Infinitcore SX+	OptiGrade 150/300/600	MaxBand 150/300/550
Производитель	OFS, США	Draka, Нидерланды	Alcatel, Франция	Corning, США	J-Fiber, Германия	YOFC, Китай
Диаметр сердцевины, мкм	50,0±2,5	50,0±2,5	50,0±3,0	50,0±3,0	50,0±2,5	50,0±2,5
Некруглость сердцевины, %	≤ 5	≤ 6	≤ 6	≤ 5	≤ 5	≤ 6
Диаметр оболочки, мкм	125±1	125±2	125±2	125±2	125±2	125±1
Неконцентричность сердцевина/оболочка, мкм	1,5	1,5	–	3,0	1,5	–
Диаметр первичного защитного покрытия, мкм	245±10	245±10	245±10	245±5	245±10	242±7
Некруглость защитного покрытия, %	5	6	6	2	–	6
Неконцентричность первичного защитного покрытия и оболочки, мкм	6	12,5	12,5	3,0	10	12
Затухание, дБ/км, на длине волны 850 нм	2,40	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
1300 нм	0,70	0,70	0,70	0,80	0,80	0,70

Таблица 27. Геометрические и передаточные параметры многомодовых световодов для передачи сигналов интерфейсов 1G и 10G Ethernet (продолжение)

Тип волокна	LaserWave 150/300/500	MaxCap 150/300/550	GigaLite 3 (Gigalite 10) Class A/Class B	Infinicore SX+	OptiGrade 150/300/600	MaxBand 150/300/550
Числовая апертура 0,200±0,015	0,200±0,015	0,200±0,015	0,200±0,015	0,200±0,015		0,200±0,015
Длина волны нулевой дисперсии λ ₀ , нм	1297–1316	1295–1320	1295–1320	1300–1320	1295–1320	1295–1320
Наклон дисперсионной характеристики, пс/нм ² ·км	0,101	0,11	0,11	0,101	0,11	0,11
Эффективный показатель преломления на длине волны 850 нм	1,483	1,482	1,482	1,490	1,483	1,482
1300 нм	1,479	1,477	1,480	1,486	1,478	1,477
Дальность действия интерфейса 10G Ethernet, м	150/300/500	150/300/550	150/300	300	150/300/600	150/300/600
850 нм, последовательный						
850 нм, 4 × 2,5 Гбит/с	450/600/-	-	-	-	-	-
1300 нм, последовательный	300/300/-	-	-	-	-	-
1300 нм, 4 × 2,5 Гбит/с	300/300/300	-	-	-	-	-
Дальность действия интерфейса Gigabit Ethernet, м						
850 нм	750/970/1040	-/900/1100	550/550	1000	-	-
1300 нм	600/600/600	-	1000/1000	2000	-	-

Таблица 27. Геометрические и передаточные параметры многомодовых световодов для передачи сигналов интерфейсов 1G и 10G Ethernet (продолжение)

Тип волокна	LaserWave 150/300/500	MaxCap 150/300/550	GigaLite 3 (Gigalite 10) Class A/ Class B	Infinicore SX+	OptiGrade 150/300/600	MaxBand 150/300/550
Коэффициент широкополосности, МГц·км						
Лазер	950/2000/4000	-/2000/4700	2000	4700	-/2000/4000	950/2000/4700
850 нм	500/500/500	500/500/-	500	-	-	-
1300 нм						
Светодиод	700/1500/3000	750/1500/3500	750/1500	1500	750/1500/3000	700/1500/3500
850 нм	500/500/500	500/500/500	500/500	500	500/500/500	500/500/500
1300 нм						

стандартов СКС, не позволяли гарантировать в окне прозрачности 850 нм дальность связи свыше даже нескольких десятков метров, см. табл. 29. Данные значения были явно недостаточны для удовлетворения тех технических требований к волоконно-оптическому тракту, которые могут возникнуть в процессе строительства структурированной проводки. В частности, столь жесткие ограничения существенно ограничивали свободу проектировщика как в области реализации подсистемы внутренних магистралей, так и построения системы с централизованной оптической архитектурой.

Таблица 28. Технические параметры типичных излучателей с рабочей длиной волны 850 нм для применения в сетевых интерфейсах ЛВС

Тип излучателя	Спектральная ширина, нм	Ток модуляции, мА	Выходная мощность, дБм	Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	Диаметр излучающей площади, мкм
Светодиод	50	60	–15	125	100
Лазер со структурой VCSEL	0,5	10	0	2000	30
Лазер традиционной конструкции	0,2	10	+10	2000	10

Таблица 29. Гарантированная дальность действия интерфейса 10G Ethernet для различных типов волокон на длине волны 850 нм [83]

Тип волокна	62,5/125		50/125		
Коэффициент широкополосности, МГц·км	160	200	400	500	2000
Дальность действия, м	2–26	2–33	2–66	2–82	2–300

С точки зрения оптических трактов СКС оборудование Gigabit Ethernet и 10G Ethernet имеет следующие основные особенности, радикальным образом отличающие его от менее скоростных аналогов этого интерфейса:

- в качестве излучателя используется полупроводниковый лазер, так как быстроедействие современных СД недостаточно для рассматриваемой области применения;

- официальные документы спецификаций 802.3z и 802.3ae задают параметры оптического интерфейса в первом и втором окнах прозрачности, однако из соображений получения хороших стоимостных показателей предпочтительным является использование первого окна прозрачности (850 нм, или SX-диапазон).

Прокомментируем эти положения более подробно на примере системы Gigabit Ethernet. Основная масса передающих блоков оптических интерфейсов 1000Base-X сконструирована с использованием лазеров с вертикальным объемным резонатором (очень часто сокращенно обозначаются как VCSEL-излучатели¹, от Vertical Cavity Surface Emitting Laser) с номинальной длиной волны оптической несущей 850 нм. Сравнение излучателя этого типа со СД и лазером традиционной конструкции приведено в табл. 28 и ясно показывает техническое превосходство лазера с такой структурой по всей совокупности основных параметров. Основное преимущество над серийными лазерными источниками излучения LX-диапазона (1300 нм), активная область которых реализована на основе резонатора Фабри-Перо, заключается в возможности достижения значительно меньшей стоимости элементной базы. Это обусловлено:

- большим сходством полупроводниковых структур VCSEL-лазеров и СД и возможностью применения в процессе сборки излучателей хорошо отработанных технологий монтажа и тестирования [84];
- круговой симметрией диаграммы направленности VCSEL-лазеров, что позволяет эффективно стыковать этот излучатель с ОВ без применения оптических согласующих устройств [85].

Как результат достигается значительное снижение стоимости решения. Так, по данным концерна Alcatel, соотношение стоимости лазеров LX-диапазона и структуры VCSEL в середине 1998 г. составляло 5:1. Величину абсолютно-го выигрыша проиллюстрируем данными компании АйТи, согласно которым по состоянию на конец 1999 г. средняя по девяти ведущим фирмам-производителям сетевого оборудования ЛВС разница в рекомендованной изготовителями стоимости функционально аналогичных трансиверов LX- и SX-диапазонов превышала 1000 долл. на один интерфейс. Очень близкие к указанной величине значения приводятся также в работе [86].

Известны также лазерные излучатели со структурой VCSEL, работающие на длине волны 1310 нм, где их применение из-за меньших дисперсионных искажений позволяет получить заметно лучшие характеристики канала связи. Однако в данном спектральном диапазоне заметного финансового выигрыша по сравнению с традиционными излучателями на основе резонатора Фабри-Перо получить не удастся, и оптические трансиверы с этим излучателем не вышли из стадии опытных образцов [87].

¹ Сокращение VCSEL читается как «виксэл».

Таким образом, практическая потребность адаптации параметров тракта передачи оптического сигнала к техническим особенностям излучателя данного вида обусловила необходимость создания новых типов ОВ, получивших впоследствии в международных стандартах наименование волокон категории ОМЗ, а в американских — волокон, оптимизированных для работы с лазерными излучателями (*laser-optimized*). В процессе разработки решались следующие основные задачи:

- оптимизация характеристик для работы в диапазоне 850 нм, где, как известно, по сравнению с диапазоном 1300 нм в существенно более сильной степени проявляются дисперсионные искажения¹;
- подавление эффекта дифференциальной модовой задержки, возникающего в части стандартных по TIA/EIA-568-A и ISO/IEC-11801:1995 световодов в случае использования в оптических передатчиках лазерных излучателей.

Оптимизация характеристик световода как среды передачи информации осуществляется следующим образом. Известно, что спектральная характеристика коэффициента широкополосности ΔF многомодового ОВ носит экстремальный характер. При этом координаты максимума зависят от профиля показателя преломления, который определяется наличием и концентрацией легирующих добавок в материале сердцевин (см. параграф 2.1.1). На скоростях до 100–155 Мбит/с в передатчиках экономически выгодно использование СД, которые обеспечивают наилучшие характеристики тракта в диапазоне 1300 нм, где широкополосность волокон категорий ОМ1 и ОМ2 из-за минимума хроматической дисперсии естественным образом достигает своего максимума. В процессе производства новых типов ОВ координату максимума данной характеристики сдвигают в область коротких волн (область X на рис. 29). Это осуществляется за счет изменения параметра δ в формуле 16 и выполняется технологическими приемами на этапе формирования заготовки. Так, в частности, в [88] показано, что для получения максимальной широкополосности 50-микронного ОВ на длине волны $\lambda = 850$ нм необходимо устанавливать параметр $\alpha = 2,04$, тогда как наилучшие частотные свойства на длине волны $\lambda = 1300$ нм достигаются при $\alpha = 1,94$.

В процессе производства ОВ для лазерной передачи применяются специальные технологические меры по устранению искажений профиля показателя преломления сердцевин и подавлению эффекта дифференциальной модовой задержки (см. параграф 2.3.2). Кроме дефектов осевой области ОВ и прямо связанной с ними дифференциальной модовой задержки, на коэффициент широкополосности заметное влияние оказывает также степень отличия профиля от идеального. Поэтому в процессе выращивания заготовки дополнительно контролируются уровень «размытости» перехода сердцевина — обо-

¹ Согласно рекомендации G.651 величина хроматической дисперсии многомодовых волокон типа 50/125 на длине волны 850 нм составляет не более 120 пс/нм · км, а при переходе в диапазон 1300 нм ее максимально допустимое значение уменьшается до 6 пс/нм · км.

лочка и величина «ступенчатости» функции профиля, вызванная конечной толщиной слоя осаждаемого стекла (гладкость или однородность профиля). Для достижения требуемой формы профиля количество осаждаемых слоев материала сердцевин в процессе формирования заготовки широкополосного ОВ увеличивают примерно на порядок. В частности, в волокне типа MaxCap значение этого параметра составляет около тысячи.

Выбор конкретного метода выращивания трубчатой преформы заготовки волокон типа ОМЗ определяется наличием технологического оборудования и опытом производственного персонала и на практике отличается большим разнообразием. В частности, при изготовлении заготовок, используемых в процессе выпуска световодов серии Infinicore, компания Corning применяет технологию OVD (Outside Vapor Deposition). Корпорация Alcatel при изготовлении заготовок волокон серии GigaLite использует технологию APVD (Advanced Plasma and Vapour Deposition), а фирма OFS — технологию IVD (Inside Vapor Deposition). Тем не менее, несмотря на все усилия технологов, в середине 2000-х гг. примерно 50% всех волокон для лазерной передачи, изготовленных методами MCVD и PCVD, имели провал в центральной части профиля (остаточный дефект типа *centraline dip*) [89].

Коэффициент широкополосности многомодовых ОВ определяется в основном межмодовой дисперсией. 50-микронное волокно по сравнению с 62,5-микронным на основании табл. 20 имеет примерно в 1,5 раза меньшую числовую апертуру. Поэтому из соотношений формул 14 и 20 немедленно следует, что при прочих равных остальных факторах в волокне типа 50/125 существенно проще добиться значительно больших значений коэффициента ΔF по сравнению с ОВ типа 62,5/125. Исходя из этого положения и с учетом большой популярности среди пользователей СКС интерфейсов Gigabit Ethernet, а также принимая во внимание перспективы внедрения оборудования 10G Ethernet, многие производители СКС из США начали вводить ОК с волокном этого типа в состав штатного оборудования еще в конце 90-х гг. прошлого века. При этом поставки осуществлялись даже несмотря на то, что волокно 50/125 не допускалось для использования действующей на тот момент редакцией TIA/EIA-568-A основного американского стандарта. Среди таких компаний присутствовали такие известные производители СКС, как Tyco Electronics (AMP) и Siemon. Дополнительным доводом в пользу применения данной продукции является ее объективно меньшая примерно на 5% стоимость.

Сверхвысокоскоростные оптические интерфейсы типов 10G Ethernet, Gigabit Ethernet, Fibre Channel и ATM, для передачи сигналов которых достаточно широко используются оптические тракты СКС, обладают заметно меньшим энергетическим потенциалом по сравнению с аппаратурой, работающей на скоростях не более 100–155 Мбит/с (порядка 7 дБ против 11). С учетом этого обстоятельства производители новых типов ОВ гарантируют несколько меньшие значения коэффициента затухания по сравнению со стандартными, что позволяет создать в тракте определенные запасы по помехоустойчивости.

Волокна категории OM3 являются полностью идентичными по оптическим и механическим параметрам со световодами категорий OM2 и OM1 в 50-микронном варианте. Иногда, чтобы подчеркнуть особенности использования этой продукции, такие ОВ называют световодами, оптимизированными для работы с лазерными сетевыми интерфейсами (laser-optimized fiber)¹, оставляя за волокнами традиционной конструкции обозначение световодов для светодиодных оптических передатчиков.

Особенности области использования накладывают также определенную специфику на нормировку коэффициента широкополосности, что обусловлено сильной зависимостью этого параметра от условий возбуждения волокна. Первоначально некоторые производители, например Corning, просто гарантировали для своей продукции достижение стандартным интерфейсом Gigabit Ethernet определенной дальности связи без указания коэффициента широкополосности. В настоящее время стандарт ISO/IEC 11801 : 2002 требует от ОВ категории OM3 минимального значения $\Delta F = 2000$ МГц·км на длине волны 850 нм при возбуждении от лазерного источника и 1500 МГц·км на этой же длине волны при возбуждении от СД. Последний режим достаточно часто называется режимом возбуждения с переполнением (OFL — overfilled launch), реже используется термин «полномодовый» режим (по аналогии с этим термином режим возбуждения от лазера можно назвать «маломодовым» режимом). Отметим также, что при работе с возбуждением от лазера (underfilled laser launch, или RML — restricted mode launch) коэффициент широкополосности, в англоязычной технической литературе обозначаемый иногда effective modal bandwidth, указывается только на одной длине волны 850 нм, соответствующей рабочему спектральному диапазону лазеров VCSEL, тогда как для режима возбуждения с переполнением величина ΔF нормируется для обоих окон прозрачности.

3.2.3. Градации широкополосного многомодового волокна по дисперсионным параметрам

Передача информационных потоков с гигабитными и мультигигабитными скоростями по многомодовым трактам требует применения специальных ОВ, учитывающих особенности частичного возбуждения световода лазерными излучателями сетевых интерфейсов. Использование данной продукции с системной точки зрения имеет две характерные особенности, учет которых может увеличить эффективность внедрения оптической техники в структурированную проводку.

¹ Для обозначения ОВ этой разновидности в англоязычной технической литературе иногда используется сокращение LOMMF (laser optimized multi mode fiber). Другим вариантом является применение более длинного сокращения 850 LO 50, в котором указываются основные отличительные признаки этого продукта: рабочая длина волны 850 нм, оптимизация для работы с лазерным источником излучения (laser optimized — LO) и диаметр сердцевины 50 мкм.

Во-первых, получение дисперсионных свойств многомодового световода, необходимых для обеспечения передачи информационных потоков с гигабитными и мультигигабитными скоростями на расстояние в несколько сотен метров, представляет собой непростую инженерную задачу. Процесс изготовления такого волокна требует применения прецизионного технологического оборудования и отличается высокой трудоемкостью из-за большого диаметра сердцевины. Более того, по мере увеличения коэффициента широкополосности выше некоторого порога требования к уровню допустимых отклонений фактического профиля от идеального существенно ужесточаются. Все это на данном этапе развития техники приводит к резкому росту стоимости волокна при улучшении его дисперсионных свойств, см. рис. 33. Так, стоимость волокна, рассчитанного на поддержание передачи 10-гигабитных сигналов на 300 м, превышает стоимость обычного волокна в 1,5–1,8 раза. При увеличении предельной дальности передачи до 550–600 м разрыв в стоимости возрастает в 1,5–2,5 раза [90].

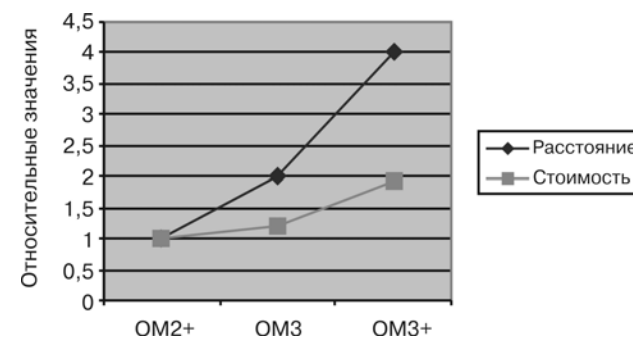


Рис.33. Относительные значения стоимости и обеспечиваемой дальности передачи 10-гигабитных сигналов на длине волны 850 нм в зависимости от категории ОВ

Во-вторых, распределение длин оптических линий подсистемы внутренних магистралей имеет статистически устойчивый характер, см. рис. 34. При этом примерно 80% всех линий не могут быть реализованы на стандартном ОВ категории OM2. Одновременно коэффициент широкополосности многомодового волокна категории OM3 недостаточен для обеспечения функционирования 10-гигабитных сетевых интерфейсов при протяженности тракта 300–600 м, относительная доля которых в проектах достигает 10–15%. Особое внимание, которое целесообразно уделить этому диапазону длин, объясняется тем, что в нем применение многомодовой техники вместо одномодовой еще дает заметный финансовый выигрыш.

Действующие редакции стандартов СКС предусматривают только одну разновидность световодов для лазерной передачи. Однако совокупность указанных факторов приводит к тому, что появляется прямой смысл применить разбиение многомодовых ОВ для лазерной передачи на несколько групп по

частотным свойствам. Возможность выбора позволяет в зависимости от решаемой задачи использовать в проекте тот ОК, волокно которого оптимально по критерию цена — функциональные возможности.

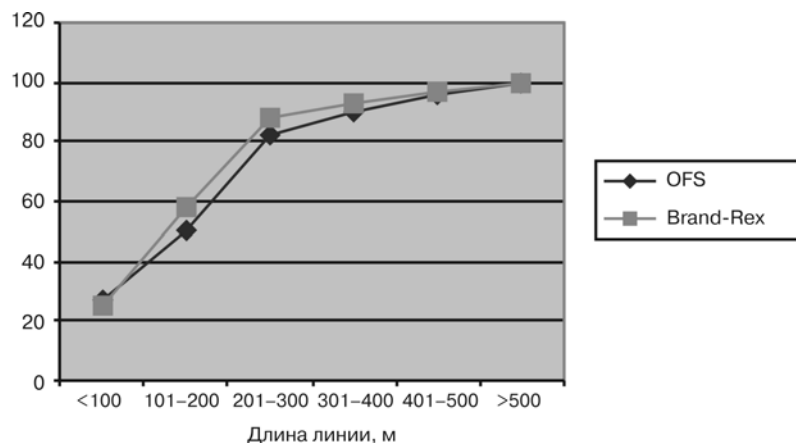


Рис. 34. Функции распределения длин стационарных оптических линий подсистемы внутренних магистралей

Линейный характер зависимости ширины полосы пропускания оптического тракта от его длины дает возможность положить в основу количественного критерия отнесения многомодовых волокон к одной из вводимых групп статистике распределения трактов по длинам. Из рис. 32 следует, что при протяженности трактов до 300 м функция распределения вероятностей числа линий от их длины близка к линейной. Стандартное многомодовое ОВ категории ОМ2 позволяет передавать 10-гигабитные потоки на расстояние не свыше 82 м, что примерно в четыре раза меньше 300 м, обеспечиваемого волокном категории ОМ3. На основании этих двух факторов при выборе количества градаций широкополосных световодов по дисперсионным параметрам удобно воспользоваться принципом половинного деления и ввести три группы многомодовых ОВ для лазерной передачи.

В соответствии с этим принципом волокна первой группы могут иметь коэффициент широкополосности при лазерном возбуждении примерно 1000 МГц·км. Это достаточно для поддержки передачи 10-гигабитных потоков на расстояние до 150 м и закрывает примерно треть случаев, встречающихся на практике. Значение параметра ΔF таких световодов превышает ту величину, которая нормируется стандартами для волокон категории ОМ2. Поэтому данную разновидность продукции иногда обозначают как ОВ категории ОМ2+.

Вторую группу образуют стандартные волокна категории ОМ3, обеспечивающие дальность передачи 10-гигабитного потока до 300 м. В третью группу выделяются многомодовые световоды с улучшенными частотными свой-

вами, позволяющими увеличить дальность передачи сигналов со скоростями 10 Гбит/с до 500–600 м.

К делению волокон для лазерной передачи на три группы традиционно тяготеют европейские производители ОВ. Компании, ориентирующиеся преимущественно на американский рынок, могут не выделять в отдельную группу световоды категории ОМ2+, применение которых вместо волокон ОМ3 на основании рис. 33 не дает потребителю заметного финансового выигрыша. Поэтому эти производители ограничиваются выпуском только многомодовых световодов категории ОМ3 и их «500-метровой» разновидности под наименованием волокно категории ОМ3+ или ОМ3е.

3.3. Световоды со специальными свойствами по оптическим и механическим параметрам

3.3.1. Многомодовые оптические волокна со смещенной полосой нормирования параметров

Первым представителем многомодовых ОВ со смещенной полосой нормирования параметров являются световоды HiCapXS нидерландской компании Draka Fibre Technology. Характеристики волокна оптимизированы для длины волны 1300 ± 10 нм, однако изготовитель гарантирует его параметры и, в частности, величину коэффициента широкополосности не хуже 500 МГц·км в диапазоне длин волн 1240–1550 нм. Одновременно в этом же диапазоне на уровне ТУ задается коэффициент затухания не свыше 0,7 дБ/км даже с учетом его увеличения в области водяного пика ($\lambda = 1383$ нм)¹.

ОВ типа HiCapXS выпускается в вариантах 50/125 и 62,5/125. Согласно замыслу разработчиков эти световоды ориентированы на применение в ОК, предназначенных для построения сетей доступа [91]. Превосходство этих изделий перед классическими ОВ проявляется в возможности эффективного применения принципа спектрального разделения оптических каналов. Световоды типа HiCapXS обеспечивают наибольшие преимущества при скоростях передачи в отдельном канале не свыше 1 Гбит/с и по комплексу своих характеристик могут быть использованы в ОК подсистемы внешних магистралей в тех случаях, когда ЛВС предприятия строится с использованием интерфейсов LX-диапазона.

Неудовлетворительные стоимостные показатели гигабитных и мультигигабитных оптических интерфейсов с рабочей длиной волны 1300 нм привели к тому, что направление создания широкополосных многомодовых ОВ с «одномодовым» принципом нормирования характеристик в рабочем диапазоне

¹ По остальным параметрам ОВ данного типа полностью совместимы с обычными световодами и могут быть без ограничений использованы совместно с ними не только в рамках одного проекта, но даже в пределах одного тракта.

длин волн не получило развития. Усилия разработчиков были сосредоточены в области создания световодов с расширенным спектральным диапазоном нормирования характеристик.

3.3.2. Световоды с расширенным спектральным диапазоном нормирования параметров

Первые световоды с расширенной полосой нормирования параметров были внедрены в широкую инженерную практику в период после 2000 г. Появление этой разновидности волокон было обусловлено стремлением к:

- использованию преимуществ хороших экономических параметров оптоэлектронных компонентов, работающих на длине волны 850 нм;
- упрощению процедур стыковки сетей доступа и магистральных подсистем СКС за счет возможности их построения на единой элементной базе.

Общим требованием к изделиям данной разновидности является возможность поддержания функционирования приложений со скоростями передачи вплоть до 1 Гбит/с на расстояниях максимум до 1 км.

Стоимость аппаратной части линии связи складывается из стоимости оконечного активного оборудования и соединяющих их пассивных компонентов линейного тракта с соответствующей арматурой. Соотношение между этими статьями расходов на ранних этапах развития техники оптической связи было таким, что в области ЛВС организацию информационного обмена экономически выгодно было осуществлять на длинах волн 850 и 1300 нм, а на линиях дальней связи из этих же соображений использовались оптические несущие 1310 и 1550 нм. Необходимость конвергенции кабельной проводки сетей доступа и СКС потребовала расширения спектрального диапазона нормирования характеристик затухания и дисперсии. Технической предпосылкой выгодности данной процедуры является применение в ОК структурированной проводки и сетей связи общего пользования ОВ с идентичными геометрическими характеристиками.

Нормативные документы разрешают использовать при построении волоконно-оптических трактов СКС многомодовые и одномодовые ОК. Согласно стандарту ISO/IEC 11801:2002 для применения в одномодовых ОК предназначены волокна, характеристики которых отвечают категории В1 стандарта IEC 60793-2-50 и рекомендации G.652 ITU-T, ОВ многомодовых кабелей описаны в стандарте IEC 60793-2-10. Отсюда следует, что спектральный диапазон нормирования параметров одномодовых световодов расширяется в область коротких волн, а многомодовых — в длинноволновую часть спектра (принцип triple play performance).

Технической основой возможности использования одномодовых ОВ в спектральном диапазоне 850 нм без выполнения дорогостоящих разработок излучателей новых типов является то, что VCSEL-лазеры SX-диапазона имеют мощ-

ность и направленность излучения, которые вполне достаточны для того, чтобы обеспечить передачу сигналов на достаточно большое расстояние. Длина волны отсечки, при которой в ОВ с диаметром сердцевины 8—10 мкм перестает поддерживать одномодовый режим распространения излучения, в соответствии со стандартом IEC 60793-2-50 составляет примерно 1260 нм. Ниже этой длины волны волокно переходит в маломодовый режим работы и его характеристики как среды передачи становятся в общем случае непредсказуемыми.

Для обеспечения заданного качества передачи по одномодовому тракту на длине волны 850 нм итальянская компания Pirelli предлагает использовать ОВ типа FineLight. Данное волокно в спектральных диапазонах 1310 и 1550 нм полностью соответствует рекомендации G.652 ITU-T. Новым является введение в перечень специфицируемых характеристик его параметров на рабочей длине волны VCSEL-лазеров, где гарантируется коэффициент затухания не выше 2,0 дБ/км. Нормирование частотных свойств в SX-диапазоне осуществляется в традиционной для широкополосных многомодовых ОВ форме, причем наряду со значением коэффициента широкополосности указывается также величина дифференциальной модовой задержки, см. табл. 30. Из приведенных данных можно констатировать, что:

- как среда передачи рассматриваемые одномодовые волокна примерно эквивалентны широкополосным многомодовым световодам категории OM3 при скоростях передачи 1 Гбит/с и заметно уступают им при переходе на скорость 10 Гбит/с;
- основной областью применения ОК на основе ОВ серии FineLight без привязки к сетям доступа могут считаться магистральные подсистемы СКС, устанавливаемые на объектах с большими линейными размерами и небольшими ожидаемыми объемами передачи информации.

Таблица 30. Параметры одномодовых световодов FineLight в окне прозрачности 850 нм

Тип волокна	FineLight Giga	FineLight Base	Волокно G. 652
Дальность связи, м			
10G Base-SR	100	50	—
1000 Base-SX	1000	600	—
100 Base-SX	~ 7 км*	~ 5 км*	< 1000 м**
Коэффициент широкополосности при возбуждении с переполнением, МГц·км	> 1000	> 600	—
Дифференциальная модовая задержка, пс/м	< 0,38	< 0,5	—

*Ограничение по потерям.

**Ограничение по полосе пропускания.

Представителем многомодового ОВ с расширенной полосой нормирования параметров (WW-MMF, от wide-window multimode fiber [92]) является волокно типа WideGrade, разработка которого выполнена немецкой компанией J-Fiber. Прототипом изделия явилось 10-гигабитное многомодовое ОВ типа OptiGrade, которое за счет отсутствия дефектов осевой части сердцевинны может достаточно эффективно работать с одномодовыми оптическими передатчиками (см. параграф 2.1.5). Появление этого изделия было обусловлено стремлением к расширению функциональных возможностей многомодовой элементной базы за счет ее адаптации для работы в третьем окне прозрачности. Применение волокна данной разновидности обеспечивает возможность поддержки функционирования аппаратуры массового применения с рабочей длиной волны оптической несущей 1550 нм, широко используемой при построении сетей доступа.

Во всех трех окнах прозрачности волокно типа WideGrade имеет одинаковый коэффициент широкополосности. Это позволяет в независимости от длины волны оптической несущей передавать информационные потоки со скоростями до 1 Гбит/с на расстояние не менее 550 м, см. табл. 31. Нормирование затухания в области водяного пика (длина волны 1383 нм) открывает перспективы применения техники со спектральным разделением каналов.

Таблица 31. Телекоммуникационные параметры волокна WideGrade

Параметр	Длина волны, нм	Значение
Коэффициент широкополосности, МГц·км	850	≥ 500
	1300	≥ 500
	1550	≥ 500
Длина тракта при скорости передачи 1 Гбит/с, м	850	≥ 550
	1300	≥ 550
	1550	≥ 550
Коэффициент затухания, дБ/км	850	≤ 2,6
	1300	≤ 0,8
	1383	≤ 2,0
	1550	≤ 0,6
Числовая апертура	–	0,200±0,015
Эффективный показатель преломления сердцевины	850	1,483
	1300	1,478

По своим механическим, геометрическим и эксплуатационным параметрам волокна с расширенным спектральным диапазоном нормирования параметров полностью соответствуют требованиям стандартов серии IEC 60793-2. За счет этого они могут без ограничений использоваться в пределах одного тракта совместно со стандартными одномодовыми ОВ (изделия FineLigth) и с многомодовыми световодами калибра 50/125 (волокно WideGrade).

3.3.3. Волокна проекта категории OS2

Действующие редакции стандартов СКС предусматривают возможность использования при построении структурированной проводки только одного типа одномодовых световодов (OS1 по ISO/IEC 11801:2002). Необходимость расширения списка типов одномодовых волокон, применяемых при производстве оптических кабелей СКС, обусловлена следующими основными причинами:

- часть изготовителей ОВ прекратила выпуск стандартных одномодовых волокон класса В1.1 по IEC 60793-2-50 (G.652) и серийно производит только ОВ класса В1.3 с подавленным водяным пиком¹;
- с конца 2003 г. органами по стандартизации обсуждается проект стандарта ISO/IEC 24702 «Generic Cabling for Industrial Premises», предусматривающий передачу сигналов высокоскоростных приложений на 5–10 км [93], то есть на расстояния, превосходящие предельные значения, приведенные в стандарте ISO/IEC 11801:2002.

С целью достижения высокой технико-экономической эффективности решения в офисной и промышленной структурированной проводке, а также в системах связи общего пользования целесообразно использование однотипной элементной базы. С учетом этого и перечисленных выше обстоятельств является оправданным введение в технику СКС волокон категории OS2. Их параметры приведены в табл. 32. Сравнение данных табл. 21 и табл. 32 показывает, что волокна категории OS2 по своим передаточным параметрам практически соответствуют ОВ класса В1.3.

Таблица 32. Передаточные параметры оптических волокон проекта категории OS2

Длина волны, нм	Максимальное погонное затухание, дБ/км	Поляризационная модовая дисперсия, пс/км
1310	0,4	–
1383 – 1385	0,4	–
1550	0,4	0,4

На практике некоторые производители кабельной продукции для СКС достаточно широко используют ОВ без водяного пика. При этом для обозначения волокон, используемых в конструкции этих изделий, в первую очередь из соображений маркетингового характера используются индексы OS1e (компа-

¹ Согласно данным компании OFS, к 2005 г. доля волокон с подавленным водяным пиком в общем объеме выпуска световодов стандарта В1 превысила 65%.

ния Keppen) или SM2 (компания Mohawk-CDT). Они в явном виде подчеркивают новые свойства кабелей, привычны и, что немаловажно, интуитивно понятны широкому кругу пользователей структурированной проводки.

3.3.4. Специализированные волокна для коммутационных шнуров

Большинство компаний, занимающихся производственной деятельностью в области кабельных изделий, из соображения оптимизации технологического процесса и снижения собственных издержек используют в составе конструкции коммутационных шнуров такие же волокна, как в линейных кабелях. Комплекс требований к ОВ, применяемому в ОК для шнуров, несколько отличается от требований к световодам для линейных кабелей. Основные отличия обусловлены особенностью области эксплуатации и, в частности:

- высокой вероятностью появления изгибов с небольшим радиусом;
- опасностью возникновения значительных сдавливающих механических воздействий.

В то же время параметр удельных потерь для данной области применения не играет критически важной роли по сравнению с линейными кабельными изделиями. Это определяется тем, что длина подавляющего большинства шнуровых изделий может считаться пренебрежимо малой по сравнению с линейными ОК.

Стремление разработчиков к учету перечисленных особенностей с целью обеспечению наилучших параметров создаваемого ими оборудования для построения оптических кабельных трактов привело к появлению в широкой коммерческой продаже ОВ, изначально ориентированных на применение в составе конструкций коммутационных шнуров. Световоды для коммутационных шнуров создаются на основе серийных конструкций. С целью минимизации потерь в ОР и получения свойства обратной совместимости с традиционными изделиями конструкция световедущей сердцевины не меняется. Общим принципом, положенным в основу адаптации волокна на данную область эксплуатации, является изменение структуры оболочки ОВ с целью получения новых свойств в первую очередь по механическим параметрам.

Задача уменьшения минимально допустимого радиуса изгиба для многомодовой и одномодовой техник решается по-разному.

В области многомодовой техники известно серийное ОВ типа GGP (от glass-glass-polymer), в массовых масштабах применяемое в шнуровых изделиях различного назначения компанией 3M. Отличительной особенностью данной конструкции является использование двухслойной оболочки. Первый внутренний слой обеспечивает условия нормального распространения оптического излучения по сердцевине. Он изготавливается из стекла и имеет внеш-

ний диаметр 100 мкм. Материалом второго внешнего слоя диаметром 125 мкм служит полимер. Его состав, структура и технология нанесения подобраны таким образом, что данный слой не может быть удален механическим зачистным инструментом в случае применения обычной технологии обработки. В результате при сохранении номинальных габаритов за счет уменьшения внешнего диаметра стеклянной оболочки на 20% ОВ типа GGP имеют повышенную гибкость и позволяет сгибать его с радиусом до 15 мм без изменения передаточных характеристик. Дополнительным полезным следствием введения внешней полимерной оболочки является заметное возрастание стойкости к воздействию раздавливающих усилий. Наличие полимерного покрытия блокирует также прямой доступ атмосферной влаги к стеклу световода. Это открывает перспективы создания разъемных оптических соединителей без центрального наконечника (см. параграф 5.5.4).

Примером практической реализации принципа создания специальных волокон для коммутационных шнуров для одномодовой техники является ОВ типа PCF (Photonic Crystal Fiber) компании Hitachi. Отличительной особенностью этого изделия является применение структурирования слоев оболочки, непосредственно примыкающих к сердцевине. Для этого вокруг сердцевинки в толще оболочки выполнено шесть цилиндрических отверстий, ориентированных параллельно оси волокна, см. рис. 35. Отверстия, окружающие сердцевину PCF-световода, понижают эффективный показатель преломления оболочки. Следствием этого является увеличение диаметра модового пятна, что обеспечивает малую чувствительность к изгибам. Данное изделие (так называемое «дырчатое» волокно, holey fiber) за счет равенства диаметров сердцевинки обладает малыми потерями при стыковке с обычными световодами. Однако его удельные потери и дисперсия существенно выше по сравнению с обычными волокнами. При относительно небольших длинах коммутационных шнуров это не является существенным недостатком.

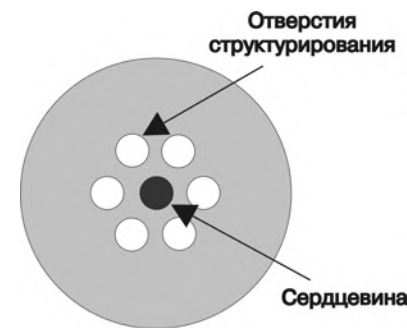


Рис.35. Структура волокна типа PCF

3.4. Защитные покрытия

Защитные покрытия обеспечивают сохранение потребительских качеств ОВ при разрешенных ТУ на кабель механических и климатических воздействиях в процессе его хранения, прокладки и эксплуатации. В общем случае эти покрытия делятся на две основные группы: первичные и вторичные.

3.4.1. Первичные защитные покрытия

Первичное защитное покрытие (primary coating) является составной частью конструкции световода и наносится непосредственно на внешнюю поверхность его оболочки. Необходимость применения покрытия этой разновидности определяется двумя основными факторами:

- относительно небольшой механической прочностью и гибкостью реального ОВ, которая существенно ограничивается микродефектами верхней поверхности его оболочки;
- чувствительностью кварцевого стекла даже к небольшим количествам влаги, содержащимся в окружающей среде (например, в атмосферном воздухе).

К материалу первичного защитного покрытия предъявляется следующий комплекс требований:

- стабильность характеристик во времени и во всем рабочем диапазоне температур;
- химическая инертность и нейтральность по отношению к кварцевому стеклу, гидрофобному наполнителю и т. д.;
- стабильность адгезии к ОВ на протяжении всего срока службы;
- возможность окраски в различные цвета;
- легкость удаления с поверхности ОВ механическим стриппером при усилении снятия покрытия 1,0–8,9 Н.

В качестве материала первичного защитного покрытия современных ОВ применяются главным образом уретанаакрилаты, отвердевающие под действием УФ излучения. Обычно используется двухслойное первичное покрытие. Мягкий внутренний слой защищает ОВ от сжатия, а твердый внешний слой гарантирует необходимый уровень защиты от влияния влаги, обеспечивает стойкость к абразивным воздействиям и повышает прочность световода. Технологическим преимуществом уретанаакрилата является очень высокая скорость перехода в твердое состояние при низкой температуре. Кроме уретанаакрилатов, возможно применение двухкомпонентных силиконовых смол, отвердевающих при нагреве [94].

Показатель преломления акрилата существенно превышает аналогичный параметр кварцевого стекла оболочки. Важным полезным следствием этого факта является то, что вытекающие и излучаемые моды, которые являются источником искажений сигналов, испытывают большое затухание.

Внешний диаметр первичного защитного покрытия для ОВ, используемых в оптических кабелях СКС, не зависит от их типа и в подавляющем большинстве случаев составляет 245 ± 10 мкм. Другие величины этого параметра встречаются в серийных конструкциях крайне редко в тех случаях, когда выдвигаются специальные требования. Так, в частности, компания OFS предлагает многомодовые

ОВ с двухслойным акрилатным покрытием внешним диаметром 500 ± 25 мкм, которые предназначены для применения в кабелях военного назначения, на борту летательных аппаратов, в геофизических установках и других аналогичных областях. Такое исполнение объединяет в рамках единой конструкции основные свойства первичного и вторичного защитных покрытий.

Примером применения ОВ с меньшим диаметром первичного защитного покрытия в 200 мкм являются одномодовые световоды Primalight компании Prysmian (ранее Pirelli). В данном случае отход от требований стандартов обосновывался разработчиком стремлением к увеличению максимального количества ОВ в трубке модуля до 16 по сравнению с традиционными 12.

Для обеспечения нормальных условий разделки ОК в них целесообразно использовать только окрашенное ОВ. Волокно, окрашенное идентификационной краской (чернилами) в стандартные маркировочные цвета согласно, например, табл. 40, в соответствии со стандартами серии IEC 60793-2-10 должно иметь номинальный диаметр 250 ± 15 мкм. Поэтому некоторые изготовители кабельной продукции иногда указывают в технических данных на свои изделия в разделе, описывающем ОВ, именно последнее значение. Окраска может производиться на кабельном заводе или же осуществляться непосредственно в процессе изготовления ОВ. Примером подхода второй разновидности является технология Colorlock, используемая компанией Alcatel. Согласно данной технологии красящий слой наносится на внутреннюю часть двухслойного первичного покрытия в процессе изготовления ОВ. При этом прозрачная внешняя часть оболочки обеспечивает защиту от истирания [95].

При окраске ОВ красящий состав подбирается таким образом, чтобы не влиять на его оптические свойства. Кроме того, применяемая для этой цели краска должна быть прозрачной для оптического излучения, что позволяет использовать оптические телефоны и автоматические сварочные аппараты, принцип юстировки которых основан на методе LID (см. параграф 10.3.4).

3.4.2. Вторичные защитные покрытия

В процессе производства ОК и его эксплуатации волокно неизбежно подвергается различным механическим воздействиям. Считается, что первичное покрытие не обеспечивает необходимого уровня устойчивости, то есть такое ОВ не может использоваться в качестве самостоятельного изделия. Поэтому его обязательно снабжают дополнительными защитными элементами, называемыми в общем случае вторичными защитными покрытиями.

В настоящее время в процессе конструирования и производства ОК применяются несколько разновидностей вторичных защитных покрытий или их аналогов, каждое из которых оптимизировано для решения определенной задачи. Их функции могут выполнять плотная или свободная трубка, пазы профилированных сердечников различной формы и ленточные структуры.

В конструкциях магистральных ОК внешней прокладки в массовом масштабе используются так называемые модули (рис. 36е). Модуль (loose tube) представляет собой трубку из пластика различной жесткости, в которой свободно уложены один или несколько ОВ. Диаметр наиболее распространенных на практике конструкций данной разновидности составляет от 1,4 до 3,0 мм. Толщина стенки трубки из соображений получения необходимой механической прочности и технологичности при производстве выбирается равной примерно 20% от ее наружного диаметра. В модуле диаметром 1,4 мм обычно укладывается один световод, поэтому в технической литературе иногда встречается его название «односветоводный модуль». При увеличении диаметра трубки количество ОВ возрастает (максимум 12 в известных серийных образцах). Вполне возможно и находит применение на практике увеличение диаметра трубки свыше 3 мм. Данное решение предназначено в первую очередь для кабелей с так называемой однотрубочной конструкцией. Его использование позволяет увеличить количество укладываемых световодов до 24. Дальнейшее увеличение вполне возможно технически, однако представляется нецелесообразным из-за трудностей идентификации отдельных волокон. Во всех конструкциях рассматриваемого вида отсутствует прямая механическая связь между ОВ и защитным покрытием, что обеспечивает очень малую чувствительность затухания к температурным колебаниям [96].

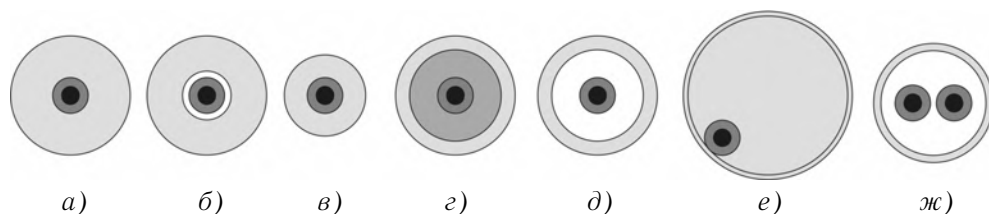


Рис. 36. Варианты конструктивного исполнения вторичных защитных покрытий одиночных волоконных световодов:

- а) плотное буферное покрытие внешним диаметром 0,9 мм типа Vollader;
- б) плотное буферное покрытие внешним диаметром 0,9 мм типа Kompaktader или Festader;
- в) плотное буферное покрытие внешним диаметром 0,6 мм;
- г) двухслойное защитное покрытие с внешним диаметром 0,9 мм;
- д) микромодульная конструкция;
- е) трубчатая модульная конструкция (трубчатое покрытие);
- ж) типа mini-breakout

Для изготовления трубки модуля ОК внешней прокладки на ранних этапах развития техники оптической связи использовался преимущественно ПЭ. С конца 90-х гг. прошлого века для этого широко применяют полибутелентерефталаты (ПБТ-материалы), которые обладают заметно лучшими техническими параметрами и в первую очередь низким влагопоглощением и малой послеэкструзионной усадкой.

Свободное внутреннее пространство трубок модуля в подавляющем большинстве случаев заполняется гидрофобным гелем (см. параграф 4.2.4.1).

В ОК внутренней прокладки широко применяется так называемое плотное вторичное буферное покрытие (tight buffer), которое безшовным методом прямой экструзии уложено на первичное защитное покрытие диаметром 0,245 мм, см. рис. 36а. Внешний диаметр 0,9 мм и допуски на него в $\pm 0,1$ мм полностью соответствуют значениям, задаваемым стандартом IEC 60793-2 в отношении первичного защитного покрытия максимального диаметра. Наличие подобного буфера, изготавливаемого обычно из ПВХ или нейлона, заметно увеличивает устойчивость ОВ к воздействию сжимающих усилий и изгибам. Данное техническое решение было впервые предложено еще в 1984 г. лабораториями Белла (Bell Labs) и в настоящее время считается классическим. Небольшой внешний диаметр в сочетании с высокой гибкостью и отсутствием внутреннего гидрофобного заполнителя обеспечивает простоту монтажа вилок ОР. Главными недостатками такого покрытия считаются плохая защита ОВ от воздействия влаги и заметное ухудшение массогабаритных характеристик ОК. Наблюдается также некоторый рост затухания за счет увеличения потерь на микроизгибах, вызванных механической деформацией поверхности волокна внешним покрытием, см. рис. 38. Среднее увеличение коэффициента затухания для многомодовых ОВ составляет примерно 0,1 дБ/км.

Плотное вторичное покрытие на ранних этапах его использования наносилось непосредственно на первичное покрытие, см. рис. 36а. Такое решение существенно затрудняло зачистку ОВ в процессе сращивания с помощью сварки или механических сплайсов волокон отдельных строительных длин или подключения монтажного шнура, а также установки вилок ОР. Для преодоления этого недостатка технология нанесения и конструкция были модернизированы и между волокном и покрытием был оставлен небольшой зазор, см. рис. 36б. Данный зазор может быть дополнительно заполнен материалами с различной вязкостью для придания волокну новых свойств (улучшение защиты от влаги, увеличение длины покрытия, снимаемого за один цикл зачистным инструментом, и т. д.). В англоязычной и отечественной технической литературе эти варианты реализации не различаются, в немецкоязычных публикациях для их обозначения пользуются терминами Vollader (или Festader) и Kompaktader соответственно.

ОВ в буферном покрытии с внешним диаметром 0,9 мм имеет самостоятельное практическое значение, так как широко используется для изготовления монтажных шнуров (см. параграф 7.1.2). Поэтому его иногда называют микрокабелем, или кабелем для пигтейлов (pigtail cable).

В некоторых ситуациях могут использоваться плотные вторичные покрытия с другим внешним диаметром, см. рис. 36в. Необходимость их применения обусловлена требованием получения высокой гибкости (волокна для системы Blolite, см. параграф 8.1.3) или конструктивными особенностями ОР (например, в некоторых ОК внутренней прокладки, выпускаемых, в частности, фир-

мами Corning и Brand-Rex и рассчитанных на установку разъемов MT-RJ, диаметр вторичного покрытия составляет 700 и 600 мкм соответственно).

Стремление к объединению основных достоинств рассмотренных выше решений привело к появлению так называемых полуплотных, или квазивторичных (semi tight buffer) покрытий. В настоящее время такие покрытия известны в двух основных разновидностях. Первая из них получила название микромодульной конструкции и представляет собой тонкостенную трубку внешним диаметром 0,9 мм и со свободной внутренней укладкой одного ОВ (рис. 36д). Остальное внутреннее пространство может быть полностью заполнено гидрофобным гелем. Во втором варианте вторичное покрытие изготавливается двухслойным, причем материалом внутреннего слоя, имеющего обычно диаметр порядка 400–500 мкм, служит мягкий силикон или акрилат (рис. 36г). Оба этих решения обеспечивают достаточно эффективную механическую развязку внешнего слоя и поверхности волокна, что имеет своим следствием значительное уменьшение потерь от микроизгибов. Кроме того, эффективная механическая развязка первичного и вторичного покрытий в конструкциях квазивторичного типа дает возможность значительного увеличения длины оболочек, удаляемых за один технологический цикл без повреждения первичного покрытия и самого ОВ в процессе разделки кабелей, см. табл. 33. В некоторых случаях решениям со специальными свойствами по длине удаляемого покрытия из соображений в первую очередь маркетингового характера присваиваются собственные торговые марки. В качестве примера сошлемся на компанию Mohawk/CDT, которая продвигает ОВ с гарантированной длиной удаляемого за один цикл вторичного покрытия в 1 м под наименованием superstrip, тогда как покрытие со значением этого параметра в 3 м называется freestrip.

Таблица 33. Типовая длина вторичного защитного покрытия, снимаемого ручным стриппером за один технологический цикл

Тип вторичного покрытия	Классическое плотное	Полуплотное	
		Двухслойное	С гелевым заполнением
Удаляемая длина, мм	5–10	50–100	500–1000

Дополнительным положительным эффектом от применения квазивторичных структур с гелевым заполнением является довольно заметное улучшение влагостойкости создаваемой конструкции. Поэтому ОК, в которых используются такие световоды, могут применяться для соединения зданий при протяженности внешнего участка трассы вплоть до нескольких сотен метров.

Общим недостатком вторичных буферных покрытий диаметром 0,9 мм являются их значительные внешние габариты, вызывающие заметный рост общего диаметра кабеля. Для устранения этого недостатка предложено решение типа «mini-breakout», которое можно рассматривать как распространение модульного принципа на область ОК для внутренней прокладки. Конструкция рассматриваемого типа реализована на основе трубки внешним диаметром 900 мкм и номинальной толщиной стенки 100 мкм, внутри которой без гелевого заполнения свободно уложены два ОВ в первичном защитном покрытии (рис. 36е). Применение этого решения наиболее целесообразно в случае установки некоторых типов ОР из группы SFF (см. далее раздел 5.5) и позволяет, в частности, вдвое улучшить массогабаритные показатели кабеля для шнуров [97].

В случае применения ОВ ленточного типа вторичное защитное покрытие имеет иное конструктивное исполнение. Кроме механической защиты, на него накладывается также функция формирования ленты. Исторически первый внедренный в широкую инженерную практику способ формирования ленты был разработан американской компанией AT&T и основан на наклейке отдельных световодов на пленку, которая изготовлена из полиэфирной смолы, см. рис. 37а. Современные способы реализуют схему заполнения промежутка между отдельными световодами акрилатом (рис. 37б) и их полное заключение в общую оболочку (рис. 37в), что обеспечивает более надежную защиту от механических воздействий [98].

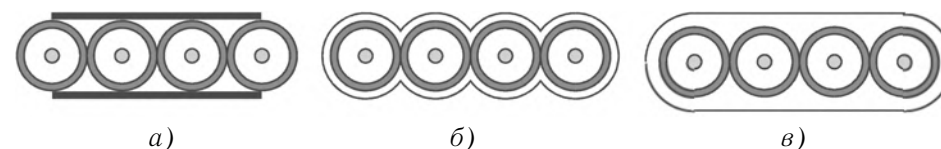


Рис. 37. Варианты формирования структуры ленточных волокон: а) на основе наклейки на ленту; б) с заполнением междуволоконного пространства полиэфирной смолой; в) заключение в общую оболочку

3.5. Выводы

Международные нормативные документы, действующие в форме стандартов и рекомендаций, задают основной ряд волоконных световодов, использование которых позволяет решить подавляющее большинство задач передачи информации с помощью аппаратуры связи массового применения.

В оптических кабелях СКС из соображений увеличения экономической эффективности целесообразно применение волоконных световодов, однотипных с волокнами кабелей для построения сетей связи общего пользования. Из-за характерного для структурированной проводки сочетания относительно небольших расстояний и необходимости передачи информационных потоков

со скоростью до 10 Гбит/с на данном этапе развития техники и в обозримой перспективе наиболее предпочтительно использование преимущественно многомодовых волокон типа 50/125 и стандартных одномодовых волокон без смещения дисперсии.

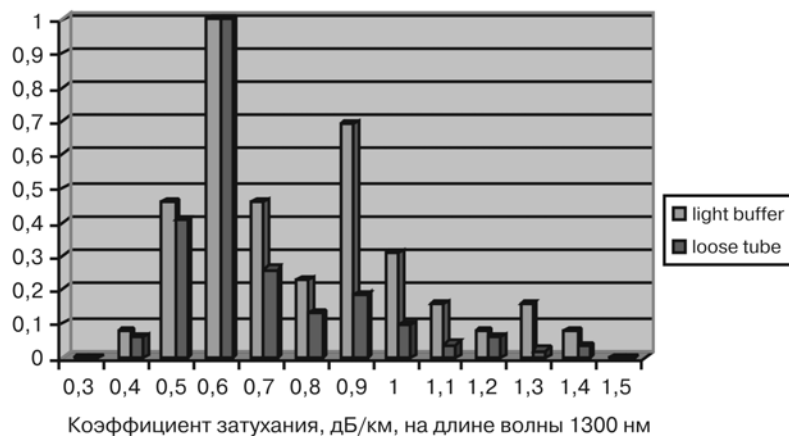
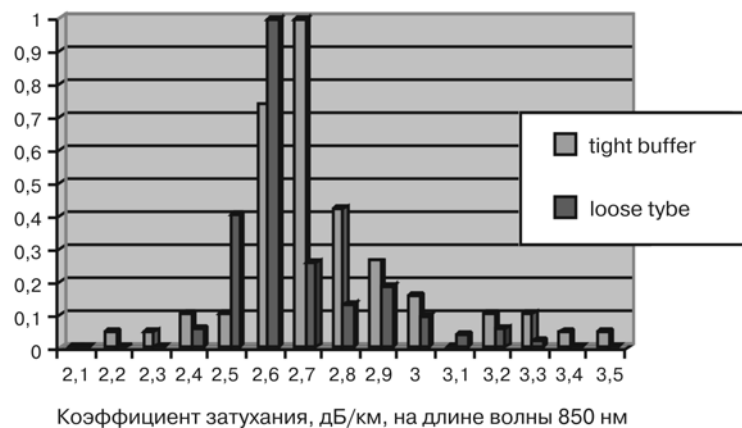


Рис.38. Коэффициент затухания многомодовых кабелей с волокном типа 62,5/125 с трубчатым и плотным вторичным защитным покрытием на опорных длинах волн

В области одномодовой техники, применяемой для построения оптических линий структурированной проводки, наиболее перспективным является использование волокон с подавленным водяным пиком (волокон проекта категории OS2). Такой подход обеспечивает возможность поддержки перспективных технологий передачи информации, основанных на принципах спектрального разделения оптических каналов, и существенно упрощает сопряжение инфор-

мационно-вычислительной системы предприятия с сетями связи общего пользования.

Заложенные в стандарты СКС принципы нормирования характеристик оптических кабелей таковы, что в случае использования элементной базы ведущих производителей техники структурированной проводки на практике следует ожидать определенное превышение нормируемых значений. Достигнутый за счет этого выигрыш может быть направлен на введение в тракт дополнительных точек коммутации, на увеличение его протяженности сверх нормируемых значений и т. д.

Появление в широкой коммерческой продаже ряда образцов многомодовых и одномодовых волокон со специальными дисперсионными свойствами, полностью совместимых по геометрическим и механическим параметрам с продукцией массового применения, позволяет очень эффективно стыковать структурированную проводку с сетями доступа (решение проблемы «последнего метра последней мили»).

Любой волоконный световод снабжается защитными покрытиями, обеспечивающими возможность монтажа кабельной системы с использованием известных хорошо отработанных высокопроизводительных технологий и ее последующей нормальной эксплуатации на протяжении минимум 10 лет. Конструктивное исполнение покрытий подбирается с учетом механических и климатических параметров таким образом, чтобы по своим эксплуатационным характеристикам оптический и медножильный кабели СКС были эквивалентными.

ГЛАВА 4

ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

4.1. Общие положения

4.1.1. Области применения, классификация и требования к оптическим кабелям СКС

Волоконно-оптические кабели СКС используются для передачи сигналов оптических интерфейсов сетевой аппаратуры внутри зданий и между ними. На их основе могут быть реализованы все три подсистемы структурированной проводки, хотя на горизонтальном уровне волоконная оптика в первую очередь из-за неудовлетворительных экономических параметров пока находит лишь очень ограниченное использование. В подсистеме внутренних магистралей ОК применяются одинаково часто с кабелями из витых пар, а в подсистеме внешних магистралей оптические решения в некоторых случаях играют доминирующую роль.

В зависимости от основной области эксплуатации ОК подразделяются на три основных вида, каждый из которых, в свою очередь, может иметь определенные разновидности [99]:

- кабели внешней прокладки (outdoor cables);
- (магистральные) кабели внутренней прокладки (indoor cables или indoor backbone cables);
- кабели для организации нижних уровней СКС.

ОК внешней прокладки ориентированы на построение подсистемы внешних магистралей и связывают между собой отдельные здания. Основной областью применения кабелей внутренней прокладки является создание внутренней магистрали здания. Кабели для организации нижних уровней кабельной проводки используются для построения горизонтальной подсистемы классических СКС и формирования централизованных структур. Их конструкция позволяет в большинстве случаев выполнять также разводку при реализации проектов класса «fiber to the desk» — волокно до рабочего места и «fiber to the room» — волокно до комнаты. К кабельным изделиям данной разновидности

очень тесно конструктивно примыкают гибкие кабели, используемые для изготовления оконечных коммутационных шнуров. Упрощенную общую классификацию оптических кабелей СКС можно представить в схематичном виде, изображенном на рис. 39.



Рис. 39. Классификация оптических кабелей СКС

В процессе реализации структурированной проводки международными стандартами допускается использовать кабели как с одиночными, так и с ленточными световодами [100].

Начиная с 1995 г. стандарты СКС разрешают применять при построении кабельной проводки многомодовые и одномодовые ОК. На сегодняшний день выбор типа кабеля, используемого в конкретной подсистеме, определяется преимущественно экономическими соображениями. Мномодовые ОК в некоторых случаях применяются при создании горизонтальной подсистемы СКС (обычно в рамках реализации проектов «fiber to the desk» — волокно до рабочего места). Основой подсистемы внутренних магистралей достаточно часто являются многомодовые кабели, однако в дополнение к ним могут быть использованы одномодовые изделия. В подсистеме внешних магистралей прокладываются ОК с многомодовыми или с одномодовыми ОВ, причем выбор конкретного типа зависит от требуемой дальности передачи и пропускной способности организуемого тракта.

ОК, применяемые при построении линейной части СКС, исходя из типичных условий строительства и эксплуатации структурированной проводки, должны удовлетворять следующему комплексу требований:

- отвечать требованиям стандартов СКС по оптическим и механическим параметрам;
- давать возможность прокладки в тех же условиях и по такой же технологии, которая используется при работе с кабелями из витых пар;
- обеспечивать быстрое и простое сращивание и монтаж непосредственно на объекте строительства СКС;
- гарантировать устойчивость к разнообразным внешним воздействиям окружающей среды;
- обеспечивать надежную эксплуатацию на протяжении всего гарантийного срока.

Для выполнения этих требований в конструкции ОК, кроме собственно ОВ, предусматривается более или менее полный набор следующих компонентов [101]:

- упрочняющие элементы, защищающие световоды от растягивающих и сдавливающих механических воздействий;
- жесткие наполнители, выполненные, например, в виде пластиковых стержней, которые обеспечивают сохранение формы кабеля в процессе его прокладки и эксплуатации;
- гелеобразные наполнители для обеспечения продольной герметизации кабельного сердечника;
- одна или несколько демпфирующих и защитных оболочек для защиты от проникновения влаги, паров агрессивных материалов и т. д.

При этом согласно стандарту EN 60794-1-1 [102] материалы, из которых изготовлены данные компоненты, должны быть совместимы по своим физическим и оптическим свойствам с ОВ.

4.1.2. Нормируемые параметры

Действующие редакции стандартов СКС специфицируют:

- типы световодов, которые могут быть использованы в ОК;
- параметры волокон ОК по затуханию, а также коэффициенту широкополосности для многомодовых изделий и дисперсии для одномодовых;
- задержку распространения сигнала;
- механические характеристики различных типов кабелей.

В процессе задания численных значений и методов тестирования параметров широко используются ссылки на другие национальные и международные нормативные документы.

Основная масса специфицируемых параметров ОК не зависит от области их использования. Исключением являются механические характеристики, а также содержащаяся в стандарте TIA/EIA-658-B.3 норма, ужесточающая требования по затуханию для изделий внешней прокладки. Это является одним из немногих принципиальных отличий оптической подсистемы от подсистемы на базе кабелей из витых пар.

Из соображений обеспечения высокой экономической эффективности в СКС и сетях связи общего пользования применяется однотипная кабельная продукция. Поэтому сравнение табл. 20 и табл. 25 показывает, что стандарты СКС нормируют величины коэффициента затухания по верхнему допустимому пределу, то есть на практике следует ожидать заметно лучших значений величин затуханий. Данное положение отражается также в фирменных спецификациях производителей этого вида продукции. Так, например, многомодовые ОК компании Mohawk с ОВ типа 62,5/125 обеспечивают на длине волны 1300 нм коэффициент затухания 0,8 дБ/км вместо нормируемого стандартами 1 дБ/км.

Величина задаваемой стандартами задержки распространения оптического сигнала составляет 5 нс/м, что соответствует скорости 2×10^8 м/с (0,667 от скорости света в вакууме).

В области механических характеристик ISO/IEC 11801:2002 требует, чтобы оптические кабели СКС соответствовали стандартам IEC 60794-2 (конструкции для внутренней прокладки) и IEC 60794-3 (изделия внешней прокладки).

4.1.3. Принцип конструктивной однородности

Конструкция ОК наряду с обеспечением заданных значений параметров передачи на протяжении всего нормативного срока службы должна обеспечивать максимально возможную степень удобства монтажа и последующей эксплуатации. Одним из условий реализации данного положения является выполнение принципа конструктивной однородности изделия. Суть такого подхода состоит в том, что однотипные компоненты сердечника изготавливаются из одинаковых материалов по одинаковой технологии и отличаются друг от друга только элементами маркировки.

Применительно к световедущим компонентам кабеля выполнение принципа конструктивной однородности означает:

- использование в ОК волокон конкретной категории и типа только одного производителя;
- размещение в конструктивной единице защиты от механических воздействий и воздействия влаги (трубке модуля, пазе профилированного сердечника и т. д.) волокон только одной конкретной категории или определенного типа.

Производящие предприятия обычно придерживаются данного подхода на уровне стандарта «де-факто». Известно также применение приведенных выше положений в корпоративных требованиях к кабельной продукции, см. [103].

4.2. Кабели внешней прокладки

4.2.1. Технические требования к конструкции

Стандарты СКС выдвигают только самые общие требования к конструкции ОК внешней прокладки. Количественно для изделий этой группы непосредственно нормируются только передаточные параметры и механические характеристики. Дополнительно стандарт TIA/EIA-568-B.3 требует в явном виде, чтобы конструкция ОК внешней прокладки была устойчива к воздействию влаги.

Изделия данной разновидности в процессе реализации СКС на основании, например, стандартов IEC 60794-3-21 [104] и IEC 60794-3-12 [105] могут прокладываться в грунт, кабельную канализацию или использоваться для воздушной подвески.

Передаточные параметры обсуждались ранее и приведены в таблицах параграфа 3.2.1. Из механических характеристик стандарт TIA/EIA-568-B.3 задает допустимое усилие растяжения, которое должно составлять не менее 2760 Н. Кроме того, этот нормативный документ выделяет в отдельный подкласс так называемые кабели для организации отводов (drop cables), которые обычно имеют меньшую емкость и используются преимущественно для подключения к основной магистрали отдельных групп пользователей. Значение растягивающего усилия для этих конструкций должно составлять не менее 1335 Н.

Радиус изгиба ОК внешней прокладки в процессе прокладки и эксплуатации должен соответствовать ТУ изготовителя. В тех ситуациях, когда в силу каких-либо причин информация об этих параметрах отсутствует, стандарт TIA/EIA-568-B.1 рекомендует придерживаться следующих минимальных величин параметров изгиба: 20 внешних диаметров в процессе прокладки (под действием осевой нагрузки) и 10 внешних диаметров в ненагруженном состоянии, то есть фактически во время эксплуатации. Под ненагруженным состоянием понимается то, что величина остаточного напряжения не превышает 25% от максимально допустимого значения.

4.2.2. Конструктивные особенности различных видов кабелей внешней прокладки

ОК внешней или наружной прокладки используются для построения подсистемы внешних магистралей СКС. Согласно ТУ предприятий-изготовителей, данная разновидность изделий предназначена для прокладки в кабельной канализации, трубах, блоках, коллекторах, на мостах и в кабельных шахтах. Некото-

рые ОК могут эксплуатироваться непосредственно в грунте при отсутствии мерзлотных деформаций. Основным требованием к конструкции такой продукции наряду с обеспечением малого затухания, низкой дисперсии (для одномодовых конструкций) и большой широкополосности (для многомодовых изделий) является высокая механическая прочность к растягивающим и сжимающим усилиям, воздействию инея, росы, соляного тумана и солнечного света, а также влагостойкость и широкий диапазон рабочих температур. Немаловажное значение имеют хорошие массогабаритные показатели и простота разделки в процессе сращивания отдельных строительных длин и установки оконечных коммутационных устройств. Создание единой конструкции, в абсолютно полной степени отвечающей приведенным выше требованиям, экономически нецелесообразно. Можно лишь приблизиться к идеалу по большей или меньшей группе определенных параметров. Поэтому необходимый для практической эксплуатации уровень характеристик ОК может быть достигнут несколькими различными способами, каждому из которых отвечает своя каноническая конструкция.

В настоящее время на практике используется большое количество конструкций ОК внешней прокладки. Полную совокупность этих изделий можно условно разделить на несколько основных групп, которые изображены на рис. 40.

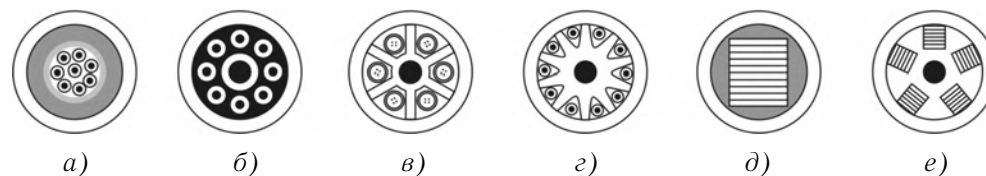


Рис. 40. Типовые конструкции сердечников оптических кабелей:
а) с центральной трубкой; б) модульная; в) с профилированным сердечником и волокнами в трубчатых модулях; г) с профилированным сердечником и волокнами в защитных пазах; д) ленточная; е) с профилированным сердечником и волоконными лентами в защитных пазах

Основой ОК с профилированным сердечником (star core cable, slotted core cable или slot type cable, см. рис. 40в) является фигурный элемент, в пазах которого укладываются одно или несколько одиночных ОВ или ленточные световоды. Количество пазов зависит от диаметра фигурного элемента и может достигать 12. Основная масса конструкций данной разновидности, впервые предложенных компаниями Ericsson, имеет открытые паза V-образной или трапециевидной формы (профилированный сердечник розеточного или звездного типа [106]). Существенно реже в первую очередь из-за технологических сложностей изготовления и неудобства разделки применяется вариант профилированного сердечника с закрытыми внутренними полостями для укладки волокон. Кабели с профилированным сердечником были достаточно широко распростра-

нены в 80-х гг. прошлого века. Из-за меньшей по сравнению с другими конструкциями емкости в настоящее время они применяются сравнительно редко.

ОК так называемой модульной (или многомодульной [107]) конструкции¹, иногда называемые концентрическими кабелями или кабелями с трубчатым сердечником (рис. 40б), имеют структуру сердечника на основе центрального опорного силового элемента, вокруг которого уложено от четырех до двенадцати трубчатых модулей диаметром около 3 мм (см. параграф 3.4). Некоторые зарубежные фирмы называют рассматриваемую конструкцию как *multitube cable*, в отечественной литературе иногда употребляется буквальный эквивалент этого термина, звучащий как «многотрубчатый кабель»². В модуле может размещаться от одного до 12 волокон, то есть типовая максимальная емкость этой конструкции составляет 144 волокна. В процессе формирования модуля обеспечивается свободная укладка ОВ в трубку. Поэтому в обычном состоянии кабеля световоды слегка скручиваются по спирали, витки которой располагаются вдоль внутренней поверхности трубки. Это обеспечивает возможность небольшого упругого растяжения и сгибания ОК во время прокладки без ухудшений его оптических характеристик. Основная масса изделий рассматриваемой разновидности, предлагаемых в настоящее время на рынке, имеет одноповивное исполнение. Наибольшее распространение получили шестимодульные конструкции, несколько реже применяются восьмимодульные варианты. При необходимости увеличения емкости модули располагают в двух повивах или используют центральный силовой элемент увеличенного диаметра, вокруг которого размещается большее количество модулей.

В качестве основы сердечника может быть использована также одна трубка большого диаметра (конструкция типа *single loose tube* или *central duct*), которая расположена по оси ОК (рис. 40а). В отечественной технической литературе эту разновидность кабелей иногда называют однострубочной, центрально-модульной или одномодульной конструкцией. Рассматриваемый вариант ОК более удобен в разделке, за счет максимального удаления ОВ от внешней поверхности оболочки обеспечивает наилучшую защиту от раздавливающих усилий, однако несколько уступает традиционной многомодульной конструкции по рабочему диапазону температур и устойчивости к растяжению. Это определяется отсутствием скрутки и создаваемого ею избытка длины ОВ, что уменьшает допустимую величину удлинения кабеля.

Диаметр центральной трубки зависит от количества волокон. Так, например, в кабелях для соединения зданий, входящих в состав СКС NetConnect

¹ В англоязычной технической литературе для их обозначения используются термины *loose tube cable*, *stranded loose tube cable* и *unit type cable*.

² Иногда употребляется наименование такой конструкции как ОК с повивной скруткой или с сердечником повивного типа. Это название появилось по аналогии с многопарными телефонными кабелями, каждый слой проводников которых называется повивом. Данное обозначение в настоящее время может считаться устаревшим и практически не используется в отечественной научно-технической литературе.

фирмы Tyco Electronics (AMP), при емкости до 16 волокон трубка имеет диаметр 2,8 мм, а переход на диаметр 4,1 мм позволяет увеличить емкость до 24 волокон [108]. Для дополнительного улучшения условий защиты волокон финская фирма NK Cables применила в трубчатых элементах *Spirale Space* канал в форме геликоиды (спирали). По сравнению с функционально аналогичной модульной конструкцией такое решение дает возможность увеличить допустимое сдавливающее усилие с 3 кН/100 мм до 6 кН/100 мм [109].

В настоящее время ОК модульной конструкции в тех или иных вариантах реализации занимают доминирующее положение в общем объеме выпуска изделий внешней прокладки (по некоторым оценкам, их доля в действующих на рубеже тысячелетий линиях связи составляет 70–80% [110]). Это объясняется хорошей защитой ОВ от механических и климатических воздействий, а также простотой и достаточно высоким удобством работы в процессе монтажа промежуточных муфт и коммутационных устройств.

На рынке в ограниченном количестве представлены также изделия, которые объединяют в себе основные черты кабелей с профилированным сердечником и модульной конструкции. В качестве основы их сердечника использован профилированный элемент, в пазы на внешней поверхности которого уложены трубки модулей с ОВ. Наличие профилированного сердечника заметно увеличивает устойчивость к воздействию раздавливающих усилий (например, у кабелей серии GNSLWLV фирмы Ericsson паспортная величина этого параметра составляет 6 кН/100 мм вместо обычных 1,5 кН/100 мм у традиционной модульной конструкции [111]), а наличие трубчатых модулей — удобство работы и повышенную продольную герметичность.

ОК с ленточным сердечником, или просто ленточные ОК (рис. 40г), за счет очень плотной компоновки обеспечивают преимущество над конструкциями других типов при большом (несколько сотен и более) количестве ОВ. Данные конструкции используются главным образом при создании основных магистралей крупных городских телекоммуникационных сетей. Применение этих кабелей для построения СКС в настоящее время нецелесообразно, так как высокая емкость, на которой начинают проявляться их преимущества, в области построения структурированной проводки пока не требуется. Кроме того, дополнительным ограничивающим фактором является то, что из-за особенностей конструкции работа по установке ОР и изготовлению неразъемных соединителей на данных изделиях требует применения существенно более сложного и дорогого технологического оборудования, а также предъявляет повышенные требования к квалификации монтажников.

ОК внешней прокладки могут содержать металлические упрочняющие элементы и/или электрические проводники или же иметь полностью диэлектрическую структуру.

В сравнении с полностью диэлектрическими конструкциями кабели с металлическими упрочняющими элементами обычно обладают большей механи-

ческой прочностью к растягивающим, а в некоторых случаях — также к сдвигающим усилиям, их ОВ не повреждаются грызунами и при равной разрывной прочности имеют несколько меньший внешний диаметр. Главным недостатком бронированных конструкций является наличие гальванической связи соединяемых пунктов. Практически полностью данная проблема решается тем, что в ОК внешней прокладки металлические элементы любого назначения исключаются из конструкции сердечника. Это позволяет упростить и удешевить решения по защите от внешних электромагнитных воздействий [113].

Рабочий температурный диапазон ОК внешней прокладки широкого применения обычно составляет от -40 до $+70$ °С. Существуют также морозостойкие конструкции, нормально функционирующие при температурах до -60 °С. Нижняя рабочая температура определяется преимущественно жесткостью полимерных материалов, используемых для изготовления внешних оболочек, см. табл. 34. Наиболее часто для этой цели используется ПЭ, который становится хрупким при температурах порядка -70 °С. Учитывается также температура застывания гидрофобного геля. Аналогичным образом верхняя граничная рабочая температура также лимитируется в первую очередь характеристиками ПЭ, точка плавления которого составляет примерно 120 °С. С учетом этой особенности некоторые производители гарантируют сохранение параметров своей продукции при кратковременном нагревании кабеля до 90 °С при условии отсутствия механических нагрузок. Дальнейшее увеличение рабочей температуры достигается в специальных конструкциях, ориентированных в первую очередь для применения на нефтепромыслах, складах горюче-смазочных материалов и других аналогичных объектах с повышенной пожарной опасностью. Такие кабельные изделия за счет применения термостойких материалов с малой теплопроводностью гарантированно выдерживают нагрев до нескольких сотен градусов на протяжении нескольких часов.

4.2.3. Упрочняющие покрытия и элементы

ОК выдвигают к механической прочности более жесткие требования по сравнению с симметричными кабелями на основе витых пар. Это связано с меньшей пластичностью стекла по сравнению с медью, которое допускает лишь небольшое безопасное относительное удлинение под действием растягивающих усилий. Так, например, для получения гарантированного срока службы не менее 25 лет величина этого параметра не должна превышать $0,36\%$ [114]. Необходимую механическую прочность кабелям придает применение в их конструкции упрочняющих стеклопластиковых и/или металлических элементов, которые воспринимают деформирующие усилия при прокладке и эксплуатации.

Работающие на растяжение упрочняющие элементы ОК могут являться интегральной составной частью его сердечника, выполняться в форме оболочки или же располагаться в толще поясной изоляции. Центральное расположе-

Таблица 34. Параметры некоторых полимерных материалов, используемых для изготовления оболочек поясной изоляции современных оптических кабелей внешней прокладки [112]

Аббревиатура	Мало- дым- ный компаунд	Поливи- нилхлорид	Поли- этилен	Полиуре- тан	Полибу- теленте- рефталат	Полиамид	Термопла- стичный эластомер
LSFH, LSZH*	PVC/ПВХ	PE/ПЭ	PUR	PBT	РА	ТПЭ	
Рабочий диапазон температур, °С	$-20...+70$	$-20...+50$	$-40...+70$	$-50...+80$	$-40...+90$	$-40...+90$	$-50...+115$
Наличие галогенов	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Горючесть	Самозату- хающий	Самозату- хающий	Горючий	Самозату- хающий	Горючий	Горючий	Горючий
Стойкость к УФ излучению	0	-	0	+	++	++	++
Стойкость к маслам	-	-	-	0	+	+	++
Абразивная стойкость	+	-	+	+	++	+	+
Механическая прочность	+	-	+	+	++	+	+

* LSFH – Low Smoke Free of Halogen, LSZH – Low Smoke Zero Halogen.

ние силового элемента обеспечивает хорошую гибкость и высокую технологичность производства. При выносе основного силового элемента из центра в периферийную часть конструкции жесткость кабеля возрастает, однако одновременно растет его стойкость к раздавливающим усилиям и скручивающим воздействиям. В качестве силовых элементов может быть использован стеклопластиковый или арамидный пруток, стальной трос в полимерном шланге или обычная (существенно реже) проволока. В ОК модульной конструкции при небольшом количестве волокон некоторые модули могут дополнительно заменяться равными с ними по диаметру и работающими на растяжение прутками (filler), которые в соответствии с принятой в отечественной технической литературе терминологией иногда называют корделями. Внешние по отношению к сердечнику силовые элементы могут располагаться между оболочками поясной изоляции и выполняться в этом случае в виде оплеток из кевлара или стеклопластиковых нитей, а также из стальной проволоки различного диаметра (рис. 41г, д). Другим несколько менее популярным решением является применение в качестве силовых элементов проволоки или стеклопластиковых стержней, расположенных в толще внешней оболочки. Вынос стержневых упрочняющих элементов на внешнюю поверхность оболочки позволяет уменьшить толщину внешнего шланга, что улучшает массогабаритные и стоимостные параметры ОК. Однако такое решение, использованное, в частности, в кабелях серии LT компании Fujikura, заметно усложняет технологию изготовления, нарушает осесимметричность изделия и пока не нашло широкого применения.

Периферийное расположение центральных силовых элементов дает возможность перейти к однотрубной конструкции, что позволяет уменьшить внешний диаметр ОК, однако сопровождается снижением его гибкости. Стремление к преодолению этого недостатка привело к разработке кабелей с многопрутковым центральным силовым элементом (рис. 41е), в котором два упрочняющих стержня вместе с трубкой модуля образуют структуру, близкую по форме к осесимметричной (решение компании Furukawa).

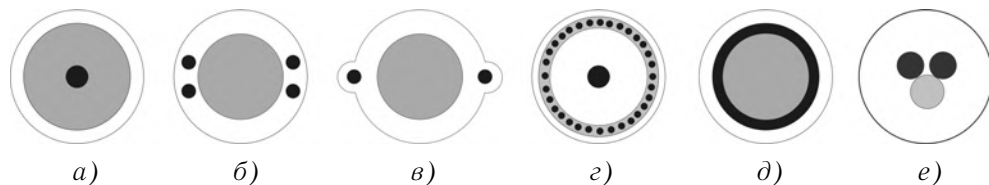


Рис. 41. Схемы расположения силовых элементов кабелей внешней прокладки:

- а) центральный силовой элемент; б) скрытые периферийные силовые элементы; в) полускрытые периферийные силовые элементы;
- г) круглая стальная проволока броневого покрытия;
- д) оплетка из упрочняющих нитей или тонкой проволоки;
- е) многопрутковый центральный силовой элемент

Броневого покрытия ОК придают ему дополнительную разрывную прочность и защищают от сдавливающих усилий, а также от повреждений грызунами. В качестве брони могут быть использованы металлические ленты, редкая или плотная металлическая оплетка и круглая оцинкованная стальная проволока различного диаметра. Отметим, что по классификации некоторых производителей кабельной продукции (в частности, Corning) броневого покрытия считаются только слои из круглой стальной проволоки. Остальные упрочняющие компоненты относятся к элементам защиты от грызунов.

Для изготовления ленточного упрочняющего покрытия используется главным образом низкоуглеродистая сталь. Другие материалы (например, медь и алюминий) применяются существенно реже и в тех случаях, когда к конструкции ОК предъявляются особые требования по поперечной герметичности. Броня из стальной ленты толщиной в несколько десятых миллиметра выполняется в двух разновидностях. Наиболее часто шов ленты располагается параллельно оси кабеля. При таком конструктивном исполнении покрытия лента обязательно выполняется с небольшими гофрами, что позволяет добиться высокой гибкости изделия и увеличивает его сопротивляемость к сдавливающим воздействиям. Броня на основе обмотки стальной лентой (оси ленты и кабельного сердечника располагаются в этом случае под определенным углом) используется значительно реже. Покрытия обмоточного типа позволяют применить для их реализации гладкие ленты без ущерба для гибкости ОК. Это несколько уменьшает внешний диаметр готового изделия.

Для предотвращения коррозии поверхность стальной ленты в современных ОК практически в обязательном порядке снабжается двухсторонним полимерным покрытием.

Покров в виде оплетки различной плотности, которая изготовлена из стальной проволоки диаметром в несколько десятых долей миллиметра, выгодно отличается от стальной гофрированной ленты меньшей высотой и большей гибкостью. Широкому распространению данной разновидности защитных покрытий препятствует малая производительность моточных станков для их нанесения.

Броня из стальной проволоки различного диаметра применяется при работе в тяжелых условиях и опасности воздействия значительных растягивающих усилий. При необходимости на ОК накладываются два слоя проволоки, причем оси проволок образуют небольшой угол с осью кабеля, а направления намотки слоев выбираются противоположными с целью получения баланса по крутящему моменту для устранения эффекта закручивания. В отличие от прочих рассмотренных выше видов покрытий данный вариант брони обеспечивает увеличение разрывной прочности ОК за счет того, что проволока хорошо работает на растяжение.

Для увеличения механической прочности вместе с главными упрочняющими покровами часто применяются оплетки из стеклопластиковых нитей раз-

личных модификаций (кевлар фирмы Dupont и тварон компании Nobel). Известно также дополнительное усиление ленточной брони двумя или четырьмя стальными проволоками в толще шланга внешней оболочки (конструкция, используемая, например, OFS и Corning). Последнее решение придает ОК стойкость к растягивающим усилиям, близкую к стойкости кабеля с традиционной проволоочной броней, и при этом за счет незначительного увеличения массы и внешнего диаметра по сравнению с ОК, имеющими упрочняющие покрытия ленточного типа.

Функции элементов защиты от раздавливающих усилий выполняют в основном различные покрытия и оболочки, которые обеспечивают защиту от усилия 500 Н и более, приложенного к 1 см длины кабеля [115]. Заметное улучшение этого параметра достигается в случае применения в качестве основы сердечника профилированного элемента. На практике находит использование также решение компании Ericsson, реализованное в кабелях GNSLLDV и основанное на применении так называемого амортизационного слоя из терморастягиваемой ленты. Лента располагается между двумя внешними оболочками и выполняет функции подушки, воспринимающей раздавливающие усилия.

4.2.4. Средства обеспечения влагостойкости

Сердечник ОК внешней прокладки должен быть защищен от проникновения в него воды. Это обусловлено тем, что влага при прямом контакте с ОВ инициирует в нем процессы водородной коррозии, что сопровождается ростом затухания и разрушением световода. В тех ситуациях, когда кабель охлаждается до отрицательной температуры и влага превращается в лед, его механическое воздействие на волокно может вызвать увеличение затухания, а в тяжелых случаях привести к разрушению световодов. Влагостойкость ОК определяется наличием в его конструкции элементов, обеспечивающих продольную и поперечную герметизацию.

4.2.4.1. Гидрофобный гель

Гидрофобный гель является основным средством обеспечения продольной герметизации ОК. Гидрофобные (водоотталкивающие) составы имеют желеобразную консистенцию и заполняют пустоты кабельного сердечника, а также свободное от световодов пространство внутри трубчатых модулей на всем протяжении длины изделия. Материал геля выбирается таким образом, чтобы удовлетворять следующему комплексу требований:

- не терять водоотталкивающих свойств во всем рабочем диапазоне температур ОК;
- не затвердевать при низких температурах;
- иметь такую вязкость, чтобы, с одной стороны, не препятствовать перемещению ОВ внутри трубки модуля и в то же самое время не выте-

кать из нее в процессе разделки и эксплуатации ОК при температурах вплоть до +70 °С;

- легко удаляться при монтаже;
- не иметь неприятного запаха;
- быть химически нетоксичным и нейтральным, в том числе в отношении материала первичного буферного покрытия ОВ и трубки модуля.

В конце прошлого века в Западной Европе в условиях дефицита свободной емкости традиционной кабельной канализации большую популярность начала приобретать прокладка ОК внутри каналов различных городских служб¹, в том числе в водопроводных трубах. В конструкциях, ориентированных на такое применение, на гидрофобные материалы дополнительно накладывается требование абсолютной нейтральности к питьевой воде.

Наиболее часто в качестве гидрофобного геля используются вязкие компаунды, основой которых являются высокомолекулярные соединения углеводородов. Как правило, свободное пространство внутри модуля и прочие пустоты кабельного сердечника из соображений минимизации стоимости заполняются гелем разного состава. Основным техническим отличием геля для заполнения модулей является его заметно меньшая вязкость.

Наиболее существенным недостатком технологии герметизации на основе гидрофобных составов является то, что гель изготавливается с использованием горючих материалов и поэтому существенно снижает пожаростойкость кабельных изделий. Большие внешние габариты трубки модулей вынуждают применять специальные меры по ее герметизации в оконечных и промежуточных муфтах и затрудняют установку вилок ОР.

4.2.4.2. Элементы обеспечения поперечной герметизации

Поперечная герметизация ОК задается бесшовными наружными оболочками. В качестве материала для их изготовления используются традиционные в кабельной технике материалы, преимущественно различные модификации ПЭ, обладающие среди прочих полимерных материалов наименьшим коэффициентом влагопроницаемости (примерно 10^{-16}). При этом для обеспечения высокой стойкости к воздействию УФ составляющей солнечного излучения в ПЭ добавляется газовая сажа в количестве порядка 3% от объема, выполняющая функции стабилизатора. За счет этого оболочка приобретает насыщенный черный цвет (отсюда достаточно часто употребляемое название **черный ПЭ**).

В некоторых современных конструкциях под внешней оболочкой дополнительно размещают так называемый водоблокирующий слой. Его реализуют на основе ленты из гидрофильной (влагопоглощающей) бумаги (water blocking tape), которая изготавливается из распушенной целлюлозы. При попадании влаги такая бумага разбухает и герметизирует небольшие проколы оболочки.

¹ Технической основой такого решения является очень малый внешний диаметр современных оптических кабелей, которые за счет этого практически не уменьшают просвет канала.

Эту же функцию могут выполнять нити и порошкообразные материалы, которые в случае нахождения в теле сердечника дополнительно увеличивают продольную влагостойкость ОК. Гидрофильные материалы используются в ОК с 1993 г. и существенно увеличивают эффективность защиты от влаги. Однако их применение заметно увеличивает стоимость готового изделия, что препятствует массовому внедрению решений данной группы в серийную кабельную продукцию.

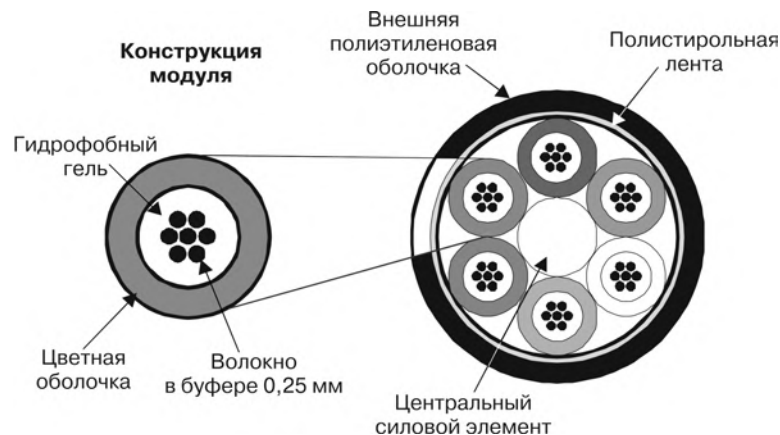


Рис. 42. Пример конструкции кабеля внешней прокладки модульной конструкции без металлических защитных покрытий

Известно, что полимерные материалы, используемые в кабельной технике, имеют ограниченную стойкость к воздействию влаги, которая с течением времени просачивается через различные пластиковые оболочки. Высокую степень защиты собственно ОВ от диффундирующих молекул воды обеспечивает гидрофобный гель. Считается поэтому, что в случае заполнения этим составом внутренних пустот сердечника применение специальных мер по защите от влаги не требуется даже при работе ОК во влажных и сырых условиях. При эксплуатации кабелей в условиях так называемой предельной влажности, то есть фактически при постоянном нахождении в воде, наиболее эффективным средством защиты от влаги является тонкая оболочка из алюминия или меди, реализованная в форме поясной изоляции. Основным преимуществом ее применения является то, что эти материалы являются практически абсолютно непроницаемыми для молекул воды (коэффициент влагопроницаемости 10^{-29}).

Поперечную герметизацию ОК увеличивают также некоторые типы броневых покрытий. Наибольшую эффективность из них в этом смысле имеет защитное покрытие из гладкой или гофрированной стальной ленты при условии дополнительной проклейки стыковочного шва влагостойким клеем или его сварки.

4.2.5. Прочие элементы конструкции

Кроме рассмотренных выше основных элементов, в конструкции ОК внешней прокладки в более или менее полном объеме может использоваться ряд дополнительных компонентов и технических решений. Их применение имеет своей целью улучшение определенных свойств кабеля, а также увеличение производительности труда монтажников.

Для облегчения разделки ОК под часть или даже под все защитные оболочки закладывается изготовленная из кевлара или тварона разрывная нить (rip-cord), которая при вытягивании делает на оболочке продольный разрез, открывая доступ к элементам кабельного сердечника. В некоторых ОК такая нить располагается также под упрочняющим покровом из стальной гофрированной ленты и вполне может быть использована для вскрытия клеевого шва.

Одной из проблем, возникающей в процессе эксплуатации ОК, в первую очередь конструкций для внешней прокладки, является обеспечение их защиты от повреждений грызунами. Известен ряд способов решения данной задачи вплоть до таких экзотических, как добавление ядовитых и отпугивающих компонентов в материал внешней оболочки. Наиболее эффективным и в то же время недорогим средством решения проблемы защиты является использование на местности, зараженной грызунами, бронированных ОК. При необходимости обеспечения гальванической развязки применяются неметаллические элементы. В случае принятия решения об использовании брони из диэлектрических компонентов возможно ее исполнение как на основе оплеток из стеклопластиковых нитей, так и монолитных трубок, причем данные компоненты располагаются обычным образом непосредственно под шлангом внешней оболочки. Считается, однако, что различные неметаллические покрытия обеспечивают надежную защиту сердечника ОК только от таких мелких грызунов, как полевки, белки, малый суслик и аналогичные им. Гарантированно противостоять крысам и другим крупным грызунам могут только металлические бронеовые и сплошные упрочняющие покровы.

В тех ситуациях, когда в процессе прокладки и эксплуатации ОК подвергается сильным абразивным воздействиям, применяют дополнительную внешнюю оболочку из полиамида (более известен под торговыми марками капрон и нейлон). Высокая механическая прочность этого материала попутно увеличивает эффективность защиты кабельного сердечника от повреждения грызунами. Аналогичными свойствами обладает также полиуретан. Однако высокая стоимость этих материалов и технологическая сложность нанесения дополнительных покрытий не способствуют их массовому распространению на практике.

4.3. Магистральные кабели внутренней прокладки и их разновидности

4.3.1. Технические требования к конструкции

Стандарты СКС задают только самые общие оптические и механические параметры магистральных ОК внутренней прокладки.

Оптические характеристики кабелей данной разновидности обсуждались ранее в параграфе 4.1.2.

Механические параметры ОК внутренней прокладки в наиболее полной степени нормируются стандартом TIA/EIA-568-B.3. В соответствии с этим нормативным документам конструкция этих изделий выбирается таким образом, чтобы допускать минимальный радиус изгиба в процессе эксплуатации в 10 внешних диаметров и 15 внешних диаметров при воздействии максимально допустимого ТУ тянущего усилия [116].

4.3.2. Кабели для применения в подсистеме внутренних магистралей офисных зданий

ОК внутренней прокладки (indoor cables), иногда называемые кабелями внутриобъектовой прокладки или просто объектовыми кабелями, предназначены в первую очередь для использования в составе подсистемы внутренних магистралей СКС. По своим характеристикам могут применяться также для построения горизонтальной подсистемы в рамках реализации проектов FTTD и FTTO. От кабелей внешней прокладки они отличаются в первую очередь меньшим внешним диаметром и массой в сочетании с более высокой гибкостью за счет отсутствия гидрофобного заполнителя¹ и применения облегченных упрочняющих покрытий без броневого покрытия.

При разработке конструкции ОК внутренней прокладки, предназначенных для применения в СКС, всегда выдвигаются особые требования по обеспечению пожарной безопасности. Свойства изделия по этому параметру определяются в первую очередь материалом диэлектриков, используемых в его конструкции (причем главным образом материалом внешней оболочки). В зависимости от достигаемого уровня пожарной безопасности производители могут делить кабели внутренней прокладки на классы. Обычно применяется деление на кабели скрытой проводки (Plenum) и кабели вертикальной прокладки, иногда называемые также кабелями снижения (Riser).

Световоды ОК рассматриваемой группы практически в обязательном порядке снабжаются вторичным защитным полимерным покрытием диаметром

¹ Данное обстоятельство подчеркивается некоторыми производителями отнесением рассматриваемых изделий к так называемым кабелям с «сухой конструкцией».

900 мкм в различных вариантах его конструктивного исполнения (см. параграф 3.4). ОВ в таком покрытии допускает непосредственную установку вилки ОР без применения каких-либо дополнительных элементов. Удобство монтажа вилки достигается ценой некоторого увеличения коэффициента затухания по сравнению с ОК внешней прокладки. Это, однако, не имеет существенного значения, так как длина кабеля подсистемы внутренних магистралей обычно невелика и согласно, например, стандарту TIA/EIA-568-B.1 не превышает 300 м.

Для защиты кабельного сердечника от механических воздействий в ОК внутренней прокладки используется слой кевларовых или твароновых нитей, который расположен непосредственно под шлангом внешней оболочки. В отличие от ОК внешней прокладки в основной массе внутриобъектовых конструкций применяется свободная укладка этих нитей без формирования из них оплетки.

ОК внутренней прокладки известны в двух основных конструктивных разновидностях [117]. Изделия первой группы (рис. 43а) называются распределительными кабелями (distribution) и содержат световоды в буферном покрытии 0,9 мм. Характерным отличительным признаком этой конструкции является то, что ОВ вместе с кевларовыми упрочняющими нитями помещены в общую защитную оболочку. Разделка распределительных ОК всегда осуществляется в коммутационных устройствах (см. главу 6). В так называемых композитивных (breakout или fan-out) кабелях каждый световод дополнительно помещен в индивидуальный защитный шланг внешним диаметром 2–3 мм, см. рис. 43б. Такие конструкции обладают увеличенным внешним диаметром и большей механической прочностью, что определяется как наличием в части изделий центрального силового элемента, так и дополнительным слоем кевларовых нитей под каждым индивидуальным защитным шлангом. Они ориентированы в первую очередь на изготовление претерминированных сборок (см. параграф 7.3.1) и, как это следует из названия¹, выполнение отводов отдельных ОВ без использования разветвительных муфт. Не исключается, хотя и крайне редко применяется на практике, возможность изготовления многоволоконных соединительных шнуров или прямое подключение к аппаратуре без использования коммутационных панелей.

Кроме указанных выше, встречается также иное обозначение описанных конструкций. В качестве примера сошлемся на продукцию концерна Draka, используемую в СКС rdm greenet фирмы Reichle & De-Massari. Обычные распределительные кабели этого производителя называются minibreakout, а композитивные — full breakout.

Типовое максимальное значение емкости распределительных ОК внутренней прокладки не превышает 12 волокон. В основной своей массе такие кабели не имеют центрального силового элемента, а их механическая прочность обеспечивается только слоем кевларовых нитей. Только некоторые произво-

¹ Breakout по-английски означает место отвода из многожильного кабеля.

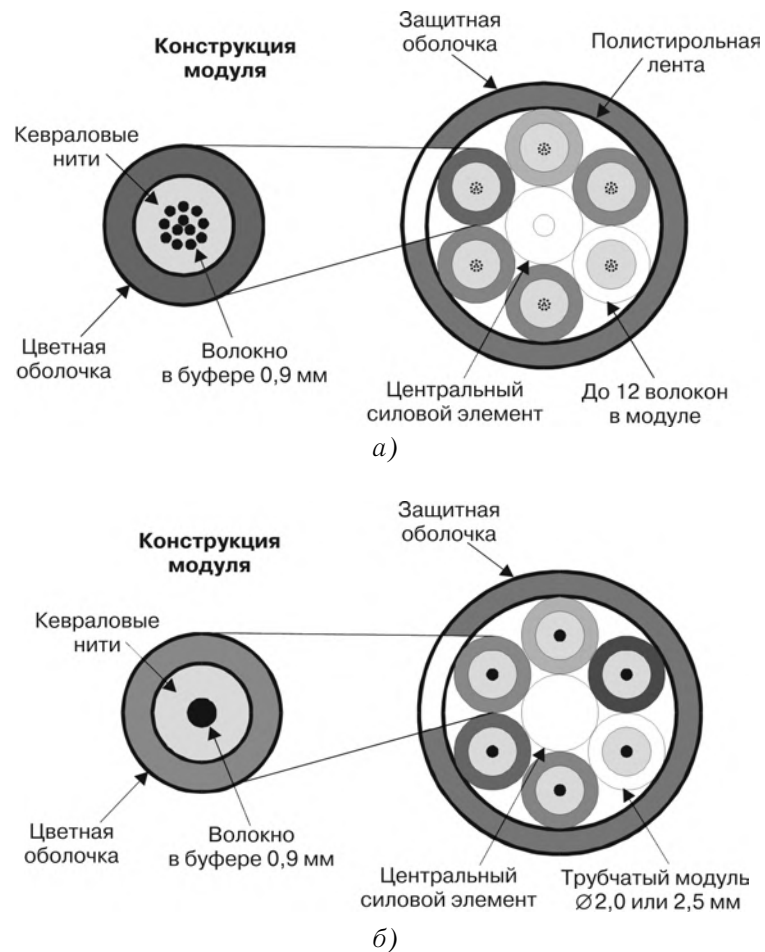


Рис. 43. Основные варианты конструктивного исполнения кабелей внутренней прокладки:
а) распределительный кабель (distribution);
б) композитный кабель (breakout)

дители, например Ericsson, используют в качестве основы ОК данной группы профилированный сердечник (конструкция типа GNSLBDV), выполняющий функции силовой основы.

В случае необходимости увеличения емкости применяют структуру, аналогичную ОК внешней прокладки модульной конструкции: вокруг центрального элемента (стеклопластиковый пруток в оболочке), который выполняет функции силовой основы, укладывается несколько (в большинстве случаев шесть, реже двенадцать) обычных распределительных кабелей. После этого полученный сердечник закрывается общей внешней защитной оболочкой. Таким об-

разом, данная конструкция представляет собой сборку из нескольких так называемых субкабелей (subcable) в общей поясной изоляции. Такой прием позволяет увеличить емкость до 144 волокон. При необходимости получения в рассматриваемой структуре меньшей емкости некоторые из таких «модулей» заменяются упрочняющими прутками и/или заполнителями. ОК подобной конструкции требуются в проектах достаточно редко, не являются типовой складской позицией у дистрибьюторов и обычно изготавливаются производителями на заказ. Специальное название таких изделий встречается достаточно редко. В некоторых англоязычных публикациях данный вид продукции называется multi-unit distribution cables или subgrouping cables, нидерландская компания Twentsche Kabelfabriek обозначает кабели этой разновидности как interfacility cables [118].

При количестве волокон 48 и более количество кевларовых упрочняющих нитей в распределительном кабеле возрастает настолько, что позволяет отказаться от центрального силового элемента без ухудшения прочностных характеристик изделия. В таких конструкциях функции центральной силовой основы сердечника играют три трубки, зафиксированные в единое целое легкой промежуточной оболочкой, см. рис. 44.

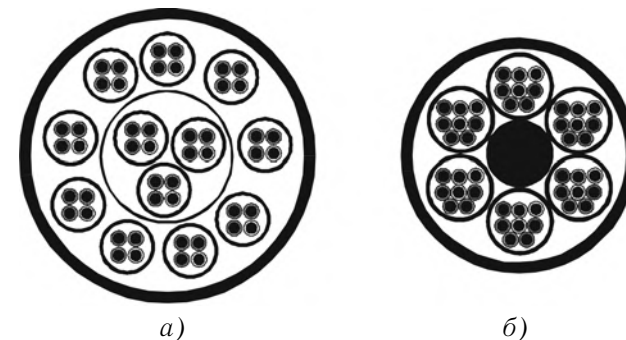


Рис. 44. Варианты реализации 48-волоконных кабелей внутренней прокладки компании Hitachi: а) без центрального силового элемента; б) с центральным силовым элементом

Количество волокон в отдельных трубках многоволоконных распределительных кабелей может меняться в диапазоне от 2 до 12. При этом увеличение данного параметра позволяет в определенных пределах улучшить массогабаритные характеристики изделия без ухудшения его механической прочности, см. табл. 35.

Для улучшения массогабаритных показателей ОК внутренней прокладки иногда применяют ленточное исполнение, см. рис. 45. Широкого распространения



Рис. 45. Ленточный кабель внутренней прокладки

подобные изделия не получили в первую очередь из-за их несимметричной формы и необходимости применения специального технологического оборудования в процессе установки ОР. Продукция данной разновидности выпускается, в частности, компаниями Ericsson и Fujikura.

Таблица 35. Внешний диаметр кабелей внутренней прокладки серии *Stratus Clear* компании *Hitachi Cable Manchester*

Кол-во волокон в трубке	Емкость кабеля						
	12	18	24	36	48	60	72
2	16,5	–	22,9	–	–	–	–
4	–	–	16,5	–	22,9	–	–
6	–	12,6	13,6	16,5	20,1	–	22,9
8	–	–	14,7	–	19,5	–	25,4
12	–	–	–	14,7	16,1	17,8	19,5

Рабочая температура кабелей внутренней прокладки составляет обычно от -20 до $+70$ °С, что вполне достаточно для типовой области применения. Иногда этот диапазон несколько расширяется за счет использования более качественных материалов и специальных конструктивных решений.

Отметим также, что согласно фирменным рекомендациям некоторых производителей СКС в тех случаях, когда обычный кабель внутренней прокладки нормально функционирует при температурах от -40 до $+80$ °С, его можно применять для организации внешних магистралей небольшой протяженности. Единственным ограничением является требование обеспечения защиты от попадания влаги (обычно это достигается за счет использования прокладки внутри трубки).

Наличие дополнительных оболочек световода в сочетании с меньшей плотностью укладки вызывает также довольно значительный рост габаритов сердечника ОК внутренней прокладки. Особенно ярко это проявляется в конструкциях типа breakout. Однако в целом из-за отсутствия брони и применения облегченных упрочняющих покрытий внешний диаметр изделий рассматриваемой группы и особенно их масса при количестве волокон не свыше 12 оказываются заметно меньшими по сравнению с ОК внешней прокладки такой же емкости.

4.3.3. Кабели внутренней прокладки промышленного назначения

Техника СКС начинает в достаточно массовых масштабах применяться вне пределов обычных офисных зданий. Одной из наиболее перспективных областей использования являются системы промышленного назначения. Оптиче-

ские кабельные изделия, оптимизированные для столь специфической области применения, сохраняют характерные отличительные признаки ОК внутренней прокладки (отсутствие гидрофобного гелевого заполнителя, использование ОВ во вторичном буферном покрытии диаметром 0,9 мм и т. д.). Наиболее существенные отличия обусловлены областью эксплуатации и заключаются в:

- наличии упрочняющего покрытия из алюминиевой гофрированной ленты;
- использовании двухслойной оболочки;
- применении для изготовления внешней оболочки негорючего мало-дымного материала.

Одновременная реализация перечисленных выше положений позволяет получить основные механические характеристики обычного для кабелей промышленного применения уровня heavy duty. В особо жестких условиях эксплуатации возможно применение ОК с усиленной конструкцией и даже с броней. Дополнительное преимущество бронированных изделий заключается в том, что их применение уменьшает риск перекручивания и изгиба кабеля с недопустимо малым радиусом.

ОК рассматриваемой группы отличаются очень высокой устойчивостью к воздействию раздавливающих усилий, величина которых может достигать 200 Н/см. За счет этого они могут прокладываться в производственных цехах промышленных предприятий без использования дополнительных защитных трубок, коробов и других аналогичных конструкций.

4.3.4. Кабели для соединения зданий

Кабели для соединения зданий, называемые также универсальными кабелями [119], по своему функциональному назначению занимают промежуточное положение между ОК внутренней и внешней прокладки. Их достаточно массовое появление в широкой коммерческой продаже в конце 90-х гг. прошлого века было обусловлено быстрым ростом масштабов ЛВС и увеличением относительной доли внешних подсистем в процессе реализации СКС.

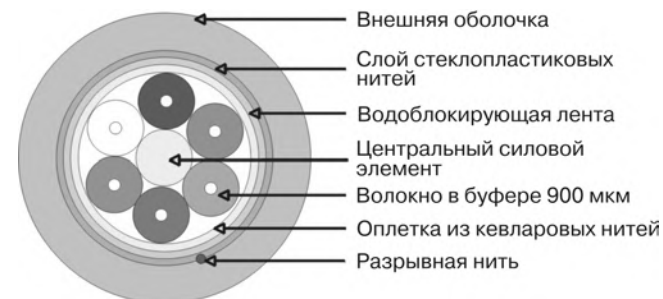


Рис. 46. Кабель для соединения зданий

Отметим два фактора, которые оказывают стимулирующее влияние на использование данной разновидности кабельных изделий в процессе построения подсистемы внешней магистрали. Во-первых, немаловажное значение имеет их стоимость, которая из-за особенностей конструктивной реализации оказывается заметно меньше стоимости традиционных ОК внешней прокладки. Во-вторых, применение ОК рассматриваемой разновидности позволяет отказаться от установки на входе в здание дорогостоящих переходных муфт, которые, кроме того, снижают эксплуатационную надежность линий связи.

Главными отличительными чертами ОК для соединения зданий являются:

- применение в их конструкциях материалов, обеспечивающих возможность нормального функционирования при температурах от $-30...-40$ до $+70...80$ °C (то есть по сравнению с кабелями внутренней прокладки эти изделия имеют расширенный рабочий температурный диапазон);
- наличие дополнительных элементов, увеличивающих их влагостойкость;
- отсутствие гидрофобного заполнителя и как следствие этого повышенная пожарная безопасность;
- использование в некоторых конструкциях полимерных элементов защиты от грызунов (например, изделия системы Qline фирмы Leoni).

Производители оптической кабельной продукции придерживаются двух различных, но примерно одинаковых по популярности подходов к выбору конструкции изделий данной разновидности. Согласно первому из них основой кабеля для соединения зданий является распределительный кабель внутренней прокладки, при выборе подхода второго типа разработчик отталкивается от кабеля внешней прокладки. Преимуществом использования конструкций на основе кабеля внутренней прокладки является возможность непосредственного оконцевания ОВ вилками ОР, при работе по второй схеме удается заметно улучшить массогабаритные показатели изделия и параметры его механической прочности, а также расширить рабочий температурный диапазон в сторону отрицательных температур [120].

Наибольшей популярностью в области обеспечения влагостойкости пользуются решения, основанные на двухслойной внешней оболочке. Внешний слой изготавливается из малодымного безгалогенного материала и обеспечивает пожарную стойкость, требуемую стандартами для прокладки внутри зданий. Наличие второй внутренней оболочки гарантирует необходимый уровень защиты от воздействия влаги. Некоторое улучшение прочностных характеристик достигается в данной конструкции применением дополнительного слоя кевларовых нитей, размещаемого между оболочками. Такие ОК иногда называются кабелями с усиленной оболочкой или просто усиленными (reinforced). Второе решение используется в некоторых изделиях фирмы Ericsson, в которых под внешнюю оболочку закладывается влагонепроницаемая лента.

Материал, из которого изготовлена лента, разбухает под воздействием влаги в аварийных ситуациях и достаточно эффективно герметизирует небольшие проколы внешней оболочки.

В некоторых ситуациях кабели для соединения зданий имеют оригинальную конструкцию. В качестве иллюстрации данного положения сошлемся на ОК типа РАСе (Permanent Access Cable) французской компании Acome. Изделие создано на базе модуля compact tube. Материал трубки этого модуля удачно сочетает в себе хорошие массогабаритные показатели, высокую устойчивость к воздействию факторов окружающей среды и возможность удаления со световодов непосредственно пальцами без использования специальных инструментов. ОК имеет в поперечном сечении близкую к эллиптической форму с размерами $9 \times 16,6$ мм, см. рис. 47. Внутри защитного покрытия предусмотрена достаточно большая полость, в которой может быть уложено от четырех до двенадцати трубчатых модулей типа compact tube с маркировочной цветовой окраской и 4, 8 или 12 световодами каждый. Таким образом, полная емкость кабеля может достигать 144 волокон. Необходимую механическую прочность конструкции придают два упрочняющих полимерных стержня, интегрированных в толщу защитного шланга в его краевых частях. Отличительная особенность предлагаемой структуры состоит в том, что одна из стенок внешнего защитного покрытия выполнена утонченной. Это обеспечивает легкий доступ к сердечнику и позволяет без проблем доставать отдельные трубчатые модули, то есть эффективно решать задачу ответвления отдельных ОВ без установки промежуточных муфт. В процессе выполнения этой операции необходимо просто снять 2–3 см более тонкой части оболочки в двух местах на расстоянии примерно 15–20 см друг от друга, поднять нужную трубку в одном из отверстий, разрезать ее и вынуть полученный монтажный конец через второе отверстие. Для выполнения технологических отверстий наиболее эффективен фирменный инструмент, очень похожий на сырорезку с резаком, длина рабочей кромки которого равна ширине тонкой части оболочки. В принципе, операцию вскрытия оболочки в случае необходимости без проблем можно произвести обычным ножом.



Рис. 47. Кабель РАСе

Рассматриваемая конструкция по функционалу эквивалентна ОК типа break-out, за счет своей несимметричной формы несколько уступает аналогу по критерию простоты прокладки, но существенно превосходит его по удобству выполнения монтажных работ. Более того, применение ОК типа РАСе позволяет несколько изменить сам принцип организации нижних уровней структурированной проводки. Это происходит за счет того, что высокая емкость в сочетании с легкостью ответвления отдельных модулей дает возможность прокладывать вместо пучков из нескольких распределительных кабелей

одно изделие с организацией, в случае необходимости, кольцевых структур для увеличения эксплуатационной надежности.

Стандарты СКС и ТУ изготовителей не содержат ограничений на общую длину ОК рассматриваемой разновидности. Тем не менее с учетом того факта, что защита отдельных ОВ от воздействия влаги ограничивается только внешними оболочками, применение кабелей для соединения зданий не может быть рекомендовано при длине внешнего участка свыше 300 м.

4.4. Кабели для применения на нижних уровнях СКС и кабели для шнуров

Под нижними уровнями СКС в данном контексте понимается линейная часть горизонтальной подсистемы и структур с централизованной архитектурой. Линейные кабельные изделия, эксплуатируемые в этой части проводки, одним своим концом в обязательном порядке подключаются к ОР информационной розетки, устанавливаемой в рабочих помещениях пользователей, или к панели точки консолидации.

В группу ОК данной разновидности наряду с кабелями стационарных линий целесообразно включить также достаточно близкие к ним по конструкции гибкие кабели для шнуров.

4.4.1. Кабели для применения на нижних уровнях СКС

ОК для применения на нижних уровнях СКС и рассматриваемые далее кабели для шнуров очень близки по своим функциональным возможностям, см. табл. 36. Можно выделить два критерия отнесения конкретной специализированной конструкции к линейным кабелям: наличие в ее составе не более четырех волокон, а также одного или нескольких стержневых упрочняющих элементов.

Таблица 36. Основные конструктивные отличия между горизонтальными кабелями и кабелями для шнуров

Параметр	Горизонтальный кабель	Кабель для шнуров
Количество волокон	2 или 4	1 или 2
Допустимое усилие тяжения, Н	222	Не нормируется, зависит от диаметра (предпочтительно не менее 200 Н)
Допустимый радиус изгиба, мм (прокладка/эксплуатация)	50/25	Не нормируется, должен быть минимально возможным
Режим эксплуатации	Стационарный	В режиме многочисленных изгибающих воздействий

Заметим, что функции кабеля для применения на нижних уровнях СКС с успехом могут выполнять распределительные кабели внутренней прокладки с соответствующим числом волокон.

Механические параметры ОК данной разновидности задаются стандартом TIA/EIA-568-B.3. Согласно этому нормативному документу кабели внутренней прокладки, используемые для организации горизонтальной проводки и построения централизованных оптических архитектур, должны иметь два или четыре световода и обеспечивать минимальный радиус изгиба в процессе эксплуатации в 25 мм. В том случае, если одной из областей эксплуатации 2- и 4-волоконного ОК являются горизонтальные кабельные каналы, укладка в которые осуществляется методом протягивания, конструкция изделия должна обеспечивать возможность изгиба с радиусом 50 мм при воздействии осевой нагрузки 222 Н.

Отметим также, что американский стандарт TIA/EIA-568-B.1 рекомендует применять для построения горизонтальной подсистемы многомодовые ОК с волокном типа 50/125 или 62,5/125 без упоминания возможности использования на этом уровне одномодовой техники.

4.4.2. Кабели для шнуров

Кабели для шнуров (patchcord cables), которые достаточно часто называются мини-кабелями, предназначены в первую очередь для изготовления коммутационных и оконечных шнуров. Механические характеристики данной разновидности кабельных изделий вполне позволяют применять их для построения горизонтальной проводки при реализации проектов «fiber to the desk» и «fiber to the room». В некоторых случаях ОК этого типа выполняется локальная разводка в помещениях аппаратных и кроссовых.

Кабель для шнуров представляет собой фактически ОК внутренней прокладки, имеющий одно или два ОВ¹, которые в большинстве конструкций снабжены буферным покрытием диаметром 0,9 мм. Необходимую механическую прочность такому изделию придает слой кевларовых нитей, который расположен между волокном и внешней оболочкой.

Отметим, что для выполнения требования получения повышенной гибкости в кабелях для шнуров могут использоваться специальные конструкции световодов. Так, в частности, с прицелом именно на эту область применения фирмой 3М было разработано ОВ со структурой GGP (см. параграф 2.1.4).

Основные варианты конструктивной реализации ОК для шнуров изображены на рис. 48. Изделия первого поколения делились на одинарные (рис. 52а) и двойные по количеству шлангов защитной оболочки. Подавляющее большин-

¹ Двухволоконные и одноволоконные кабели для шнуров в некоторых англоязычных публикациях называются bifiber и singlefiber cables соответственно.

ство разновидностей современного сетевого оборудования использует в процессе своей работы два световода (см. табл. 91), поэтому одинарные кабели применяются на практике достаточно редко. Двойные ОК классической конструкции изготавливаются без дополнительной общей оболочки (рис. 48б) или с общей оболочкой различной формы и толщины (рис. 48в–г). Оболочка может иметь различный диаметр. Выбор меньшего значения этого параметра обеспечивает изделию лучшие массогабаритные показатели и удобство укладки шнуров в организаторы за счет повышенной гибкости, кабели с внешним диаметром, близким к 3 мм, позволяют получить заметно более высокую механическую прочность (пример приведен в табл. 37). Считается, что ОК с защитным шлангом диаметром около 2 мм больше подходят для установки на вилки ОР из группы SFF, кабели, имеющие шланг диаметром 2,6–3,0 мм, ориентированы на вилки ОР типов ST, SC и аналогичных им.

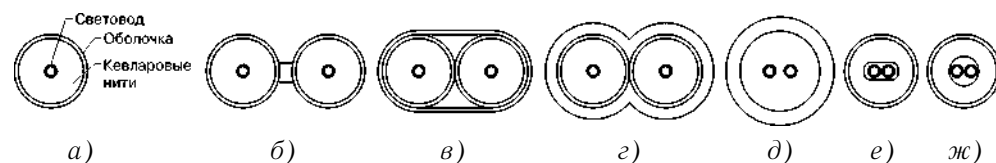


Рис. 48. Конструкции кабелей для шнуров:

а) одинарный (simplex); б) двойной типа zip-cord; в) двойной типа heavy duty duplex; г) кабель Duplex+ швейцарской фирмы Brugg; д) круглый дуплексный (round duplex, 2-fiber distribution или 2-fiber interconnect); е) ленточное двухволоконное исполнение; ж) типа mini-breakout

Таблица 37. Массогабаритные и механические показатели различных вариантов одинарных кабелей для шнуров фирмы Huber+Suhner

Диаметр оболочки, мм	1,7	2,1	2,4	2,7	3,0
Масса, кг/км	2,8	4,0	5,4	7,0	8,9
Максимальное растягивающее усилие, Н					
• прокладка	100	200	300	400	500
• эксплуатация	50	100	150	200	250
Минимальный радиус изгиба, мм					
• прокладка	50	50	50	50	50
• эксплуатация	30	30	30	30	30

Основным свойством обычных кабелей без общей защитной оболочки является простота отделения отдельных шлангов друг от друга. Поэтому в англоязычной технической литературе их называют разделяемыми (divisex) или же

употребляют заимствованное из силовой кабельной проводки обозначение zip-cord, zip-twin или zip-cord-duplex. Кабели с общей внешней оболочкой лучше защищены от внешних механических воздействий и поэтому традиционно носят название heavy duty duplex. Достаточно часто при выборе названия ОК для шнуров используется описание формы их поперечного сечения. Так, например, немецкий производитель Керреп обозначает двойные кабели без оболочки, которые применяются в кабельной системе FLine, как duplex figure 8, а с оболочкой — duplex figure 0. Компания Nexans использует для обозначения конструкции последнего типа термин овальный кабель (dual fibre oval cable), израильская фирма Teldor — flat duplex (плоский дуплексный), а фирмы DRAKAUSA — overall jacket cable. Известно также употребляемое немецкой фирмой Leoni наименование ОК с оболочкой как Flach Break Out Kabel (то есть плоский break-out-кабель) из-за схожести основных конструктивных решений с многоволоконными кабелями внутренней прокладки.

ОК группы heavy duty duplex известны в двух разновидностях. В первой из них, получившей более широкое распространение, оболочка имеет небольшую толщину и просто охватывает защитные шланги отдельных ОБ (рис. 48в, конструкции серии M9X080 и M9X081 фирмы Mohawk, тип 1861 из состава СКС Systimax). Во втором варианте оболочка имеет увеличенную толщину и частично входит в зазор между шлангами (кабель Duplex+ швейцарской компании Brugg, рис. 48г). Общей отличительной чертой ОК рассматриваемой группы является то, что они фактически состоят из двух simplex-кабелей, шланги которых не имеют специальных элементов крепления друг к другу и удерживаются в рабочем положении только общей оболочкой. Считается, что ОК с общей оболочкой обеспечивает лучшую защиту от механических воздействий и более надежны в эксплуатации. Таким образом, основной областью его применения является изготовление шнуров для использования в рабочих помещениях пользователей. Конструкции типа zip-cord имеют повышенную гибкость и несколько меньшую цену, что определяет их широкую популярность для изготовления шнуров, штатно эксплуатируемых в технических помещениях различного уровня.

Иногда на рынке встречаются изделия, ориентированные в первую очередь на конкретные применения. При этом осуществляется оптимизация как внешних габаритов, так и конструкции элементов сердечника. В качестве примера подхода первого типа укажем двойные ОК типа DX серии Ultra-Fox американской компании Optical Cable Corporation с гибкой ПВХ оболочкой. Внешние габариты защитного шланга этого изделия оптимизированы для установки вилок оптических разъемов МКС. Подход второго типа использован при разработке двухволоконных кабелей типов I-VH-2 x 1 и I-VH-2 немецкой компании Leoni, в которых использованы ОБ во вторичном буферном покрытии диаметром 0,6 мм, рассчитанные в первую очередь на установку вилок разъема MT-RJ.

Таблица 38. Цветовая кодировка волокон и модулей европейских производителей оптических кабелей

Фирма-изготовитель	1	2	3	4	5	6
Brugg, Швейцария *	Красный	Зеленый	Желтый	Синий	Белый	Фиолетовый
Draça, Норвегия	Черный	Коричневый	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый
BICC, Великобритания	Белый	Синий	Оранжевый	Зеленый	Коричневый	–
Corning, Германия **	Красный	Зеленый	Синий	Желтый	Бесцветный	Серый
Ericsson, Швеция	Красный	Синий	Белый	Зеленый	Желтый	Серый
TF Kable, Польша	Красный	Зеленый	Синий	Белый	Фиолетовый	Оранжевый
NK Cables, Финляндия	Синий	Белый	Желтый	Зеленый	Серый	Оранжевый
Kerpen, Германия	Красный	Зеленый	Синий	Желтый	Белый	Серый
Huber + Suhner, Швейцария	Красный	Зеленый	Синий	Оранжевый	Желтый	Белый
Telnet, Испания	Зеленый	Красный	Синий	Желтый	Серый	Фиолетовый
Twentsche Kabelfabriek, Нидерланды	Красный	Зеленый	Синий	Желтый	Белый	Серый
Reysman, Италия	Красный	Зеленый	Желтый	Коричневый	Синий	Фиолетовый
Одескабель, Украина	Красный	Зеленый	Синий	Желтый	Белый	Серый
Asome, Франция *	Красный	Синий	Зеленый	Желтый	Фиолетовый	Белый
Neikama, Финляндия	Синий	Белый	Желтый	Зеленый	Серый	Красный

* Этот же принцип цветовой кодировки принят в швейцарском стандарте RTT SN 840.05.02.

** Этот же принцип цветовой кодировки принят в стандартах DIN 47002 и IEC-304.

*** Этот же принцип цветовой кодировки принят France Telecom.

Таблица 38. Цветовая кодировка волокон и модулей европейских производителей оптических кабелей (продолжение)

Фирма-изготовитель	7	8	9	10	11	12
Brugg, Швейцария *	Оранжевый	Черный	Серый	Коричневый	Розовый	Бирюзовый
Draça, Норвегия	Синий	Фиолетовый	Серый	Белый	–	–
BICC, Великобритания	–	–	–	–	–	–
Corning, Германия **	Желтый	Коричневый	Фиолетовый	Черный	Бирюзовый	Розовый
Ericsson, Швеция	Коричневый	Черный	Оранжевый	Фиолетовый	Розовый	Бирюзовый
TF Kable, Польша	Серый	Желтый	Коричневый	Розовый	Черный	Бирюзовый
NK Cables, Финляндия	Коричневый	Бирюзовый	Черный	Фиолетовый	Розовый	Красный
Kerpen, Германия	Коричневый	Фиолетовый	Бирюзовый	Черный	Оранжевый	Розовый
Huber + Suhner, Швейцария	Черный	Серый	Коричневый	Фиолетовый	Розовый	Бирюзовый
Telnet, Испания	Коричневый	Оранжевый	Белый	Черный	Розовый	Бирюзовый
Twentsche Kabelfabriek, Нидерланды	Коричневый	Фиолетовый	Оранжевый	Черный	Розовый	Бирюзовый
Reysman, Италия	Черный	Розовый	Оранжевый	Бирюзовый	Белый	Серый
Одескабель, Украина	Коричневый	Фиолетовый	Оранжевый	Черный	Розовый	Бирюзовый
Asome, Франция *	Оранжевый	Серый	Коричневый	Черный	Бирюзовый	Розовый
Neikama, Финляндия	–	–	–	–	–	–

* Этот же принцип цветовой кодировки принят в швейцарском стандарте RTT SN 840.05.02.

** Этот же принцип цветовой кодировки принят в стандартах DIN 47002 и IEC-304.

*** Этот же принцип цветовой кодировки принят France Telecom.

На рис. 48е—ж изображены две конструкции, объемы применения которых в технике СКС быстро растут по мере внедрения в широкую инженерную практику малогабаритных ОР (см. далее раздел 5.5). Их характерной отличительной чертой является наличие общей защитной оболочки обычного для традиционного одноволоконного кабеля диаметра 2,5—3 мм, под которой находятся два световода. При этом волокна могут быть одиночными в буферном покрытии диаметром 0,6—0,9 мм (предпочтительны для оконцевания разъемами SC, FJ и аналогичные им), объединены в ленту (рис. 48е) или же уложены в тонкостенную трубку диаметром 0,9 мм (рис. 48ж, конструкция типа mini-breakout). В последнем случае ОВ имеют только первичное защитное покрытие с номинальным внешним диаметром 0,25 мм.

Важной особенностью ОК для шнуров, существенно отличающих их от электрических симметричных кабелей СКС аналогичного назначения, является то, что, несмотря на повышенную гибкость, их основные характеристики (коэффициенты затухания и широкополосности), определяющие параметры создаваемого тракта передачи, полностью эквивалентны аналогичным характеристикам линейных магистральных и горизонтальных кабелей. Это позволяет в существенно более широких пределах варьировать длины соединительных и коммутационных шнуров, в том числе увеличивать их длину свыше 30 м за счет соответствующего уменьшения длин магистральных кабелей.

4.5. Комбинированные кабели

4.5.1. Общие положения

Кабели, сердечник которых содержит одновременно два или более различных типа направляющих элементов электромагнитных колебаний, называются комбинированными [121]. На практике используются также такие наименования этих изделий, как смешанные, композитные (composite) или гибридные (hybrid) кабели [122]. Под типами элементов в данном контексте понимаются ОВ (в том числе одномодовые и многомодовые), экранированная и неэкранированная витая пара различных категорий, коаксиальная трубка и т. д. При этом каждый тип направляющего элемента изначально предназначен для решения определенного класса задач передачи информационных потоков.

В данную группу целесообразно отнести также чисто оптические кабели, сердечник которых содержит одновременно одномодовые и многомодовые волокна. Комбинированные кабели, содержащие только ОВ различных типов, по своему конструктивному исполнению не отличаются от обычных кабельных изделий. Поэтому в дальнейшем в соответствии с определением стандарта TIA/EIA-568-B.1 они называются комбинированными ОК. Кабели, которые содержат ОВ и витую пару, для определенности считаются просто комбинированными.

Стандарты СКС разрешают использовать для построения СКС в офисных зданиях кабельные изделия на основе ОВ различных типов и витую пару различных категорий. Поэтому комбинированные конструкции для данной области применения могут содержать одновременно именно эти разновидности направляющих систем передачи информационных сигналов. В том случае, если кабельная проводка строится в жилом секторе, часть кабельных элементов может строиться также на основе коаксиальной трубки.

Логической основой возможности применения комбинированных кабелей в области построения структурированной проводки является содержащийся в стандартах принцип привязки конкретного приложения к определенному типу среды передачи на уровне магистральных подсистем. Кроме того, в соответствии с рекомендациями стандартов по составу розеточных модулей ИР на рабочем месте пользователя даже в минимальной конфигурации может оборудоваться одним оптическим и одним электрическим портом, что открывает определенные перспективы применения в составе конструкции линейного кабеля ОВ и витой пары.

4.5.2. Комбинированные конструкции с витой парой

Комбинированные кабели, содержащие одновременно витую пару и ОВ, могут иметь одну или несколько защитных трубок. Конструкции, принцип реализации которых основан на применении общей оболочки, могут строиться по нескольким различным схемам.

Согласно первой из них разработчик пользуется хорошими массогабаритными показателями световодов и располагает волокна в той части сердцевины кабеля, которая не содержит других элементов, например в зазоре между двумя трубками сдвоенного кабеля, см. рис. 49. В данной ситуации наиболее целесообразным является применение ОВ в первичном буферном покрытии диаметром 0,25 мм, помещенных в общий трубчатый защитный модуль. Сам принцип более предпочтителен в отношении конструкций с овальной формой поперечного сечения, так как в ней проще найти свободную внутреннюю полость для укладки в нее трубки модуля.

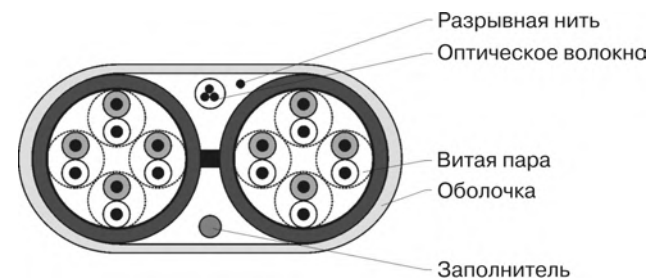


Рис. 49. Один из вариантов реализации конструкции комбинированного кабеля СКС

Во втором случае подбирается такое исполнение защитных покрытий ОВ, чтобы диаметры волоконных и «медных» составляющих сердечника практически или полностью совпадали. Это дает возможность использовать традиционную повивную скрутку, а также в минимальной степени менять конструкцию кабеля и технологический процесс его изготовления.

Достаточно широко распространены также дуплексные (в смысле количества защитных трубок) комбинированные кабели, выполненные по классической схеме zip-cord или heavy-duty. В этом случае каждая защитная трубка естественным образом используется для размещения в ней компонентов определенного типа.

Некоторые производители присваивают комбинированным кабелям собственные торговые марки (например, кабели PowerLight, входящие в состав французской СКС INFRA+).

В некоторых случаях комбинированный кабель используется производителями СКС в качестве центрального или одного из основных элементов конкретного продукта. В частности, по такому пути пошли специалисты фирм Ackermann и Huber+Suhner, которыми создана кабельная система AMCS (all media cabling system). В ее основу положен комбинированный кабель внутренней прокладки специальной разработки с двумя витыми парами и четырьмя волоконными световодами. Из соображений минимизации стоимости и увеличения технологичности изделия при его производстве витые пары взяты от обычного горизонтального кабеля категории 5е. Согласно замыслу разработчиков наибольшие преимущества данное решение обеспечивает в случае его применения для построения кабельной проводки с централизованным администрированием. Предполагается, что ОВ будут использоваться для передачи сигналов высокоскоростной аппаратуры ЛВС, а витая пара предназначена в первую очередь для обеспечения пользователей ИВС телефонной и факсимильной связью.

4.5.3. Комбинированные оптические кабели

Применение комбинированных ОК (hybrid optical fiber cable) в явном виде предусматривается даже на уровне основных нормативных документов СКС. Так, в частности, стандартом TIA/EIA-568-B.3 [123] допускается применение ОК, содержащих одновременно одномодовые и многомодовые ОВ. Несмотря на это, информация о комбинированных ОК достаточно редко непосредственно приводится в каталогах производителей, однако они без каких-либо сложностей могут быть изготовлены на заказ. Этому в немалой степени способствуют полная идентичность массогабаритных характеристик световодов различных типов. Данные по типовому количеству одномодовых и многомодовых ОВ в типовых комбинированных кабелях, типовых для американского рынка по состоянию на середину 90-х гг. прошлого века, приводятся в табл. 39.

Таблица 39. Типовое количество световодов комбинированных оптических кабелей [124]

Общее	Количество световодов	
	Одномодовые	Многомодовые
18	6	12
24	6	18
24	12	12
30	6	24
36	12	24
60	12	48

Задача идентификации типов отдельных световодов решается средствами цветовой маркировки (см. параграф 4.6.1), а также разнесением ОВ по разным трубкам многотрубчатых кабелей или разным связкам однотрубчатых.

Комбинированные ОК наиболее эффективны на уровне подсистемы внешних магистралей при необходимости создания линий длиной от 300 до примерно 1500 м. Выбор соотношения между многомодовыми и одномодовыми ОВ определяется типом поддерживаемых сервисов и зависит от конкретного проекта [125]. Для достижения наилучших экономических характеристик решения в целом многомодовые волокна используются для передачи по ним сигналов со скоростью до 100–150 Мбит/с, более высокоскоростные приложения работают по одномодовым ОВ.

4.5.4. Прочие разновидности комбинированных кабелей

Определенную популярность на практике получили комбинированные конструкции, один из элементов сердечника которых представляет собой пустотелую трубку. Эта трубка предназначена для прокладки в ней ОВ уже непосредственно на объекте монтажа (кабель типа Blotwist из состава системы Blolite, комбинированный кабель системы RCC45² компании Reichle & De-Massari, а также изделия серии Hybridkabel продукта FutureCom из состава СКС LANscape фирмы Corning). При этом протяжку по трубке одного ОВ или их группы предполагается выполнять преимущественно с использованием технологии пневматической прокладки.

ОК, используемые для построения кабельной проводки на промышленных предприятиях, наряду с ОВ могут содержать также проводники для передачи силового питания. При создании данной конструкции разработчик из соображения получения максимальной простоты конструкции стремится по возможности таким образом подобрать исполнение отдельных элементов кабельного сердечника, чтобы они имели одинаковый внешний диаметр.

4.5.5. Перспективы применения комбинированных кабелей в технике СКС

Комбинированные кабели могут быть использованы при решении ряда задач, возникающих в процессе построения СКС. Основной областью применения комбинированных кабелей являются горизонтальные подсистемы, комбинированные ОК устанавливаются преимущественно в линейной части магистральных подсистем.

Главным преимуществом комбинированных изделий считается возможность некоторого снижения затрат на прокладку по сравнению со случаем нескольких отдельных кабелей с однородными элементами. Немаловажное значение имеют несколько лучшие массогабаритные показатели конструкций некоторых разновидностей, что достигается в первую очередь за счет уменьшения количества защитных оболочек.

Факторами, объективно сдерживающими широкое использование данного варианта исполнения кабельной продукции на уровне горизонтальной подсистемы, являются:

- малое количество решений типа FTТD на современном этапе развития техники ИВС различного назначения;
- несколько более жесткие требования в отношении минимально допустимого радиуса изгиба по сравнению с «чистыми» конструкциями;
- сложность эффективной разводки элементов комбинированных кабелей по отдельным панелям коммутационного поля в технических помещениях.

Прокомментируем последнее положение более подробно. Согласно правилам построения всех без исключения известных СКС, защитный шланг кабеля может удаляться с него только на той части, которая в процессе эксплуатации находится внутри корпуса коммутационного устройства. Поэтому в случае разводки электрических и оптических элементов комбинированного кабеля по различным панелям в технических помещениях приходится применять конструкции с внутренними индивидуальными защитными шлангами, которые обладают неудовлетворительными массогабаритными и стоимостными показателями. Более целесообразным в этом случае выглядит применение наборных панелей, которые, однако, проигрывают функционально аналогичным изделиям в фиксированной конфигурации по обобщенному критерию технико-экономической эффективности (в первую очередь по стоимостным параметрам и массогабаритным характеристикам).

На основании перечисленных выше обстоятельств некоторые производители СКС запрещают или не рекомендуют в массовом масштабе использовать комбинированные конструкции при реализации проектов построения структурированной проводки.

Более перспективным представляется применение комбинированных ОК для создания магистральных подсистем. Это объективным образом обусловлено характерным для этой области достаточно четким разделением сред передачи по приложениям. Все это в сочетании с полной идентичностью механических и эксплуатационных характеристик обычных и комбинированных конструкций дает возможность достижения определенного финансового выигрыша при реализации конкретного проекта СКС.

4.6. Цветовая кодировка и символьная маркировка оптических кабелей

4.6.1. Цветовая кодировка

Цветовая кодировка широко применяется в кабельной технике в отношении внутренних элементов конструкции и внешних защитных оболочек. Применение данного принципа в отношении элементов сердечника решает задачу простой идентификации однотипных элементов во время выполнения измерений, установки промежуточных муфт, формирования внутренней разводки коммутационных устройств и других аналогичных операций. Целью цветовой кодировки внешних защитных оболочек является визуальная индикация типа волокна кабеля, а также обозначение его специальных свойств (в первую очередь по противопожарным характеристикам).

Таблица 40. Цветовая кодировка волокон и модулей оптических кабелей по ANSI/TIA/EIA-598-A и символьное обозначение цветов

Номер волокна или модуля	1	2	3	4	5	6
Цвет оболочки и аббревиатура	Синий (BL)	Оранжевый (OR)	Зеленый (GR)	Коричневый (BR)	Серый (SL)	Белый (WH)
Номер волокна или модуля	7	8	9	10	11	12
Цвет оболочки и аббревиатура	Красный (RD)	Черный (BK)	Желтый (YL)	Фиолетовый (VI)	Розовый (RS)	Бирюзовый (AQ)

4.6.1.1. Цветовая кодировка элементов сердечника

Принципы формирования цветовой кодировки элементов сердечника импортных оптических кабельных изделий задаются на уровне ряда национальных стандартов. Среди продукции зарубежных компаний, поступающих в нашу страну, наибольшее распространение получила кодировка в соответствии с американским стандартом ANSI/TIA/EIA-598-A [126],

см. табл. 40¹. Ссылка на этот документ содержится в нормативной части стандарта TIA/EIA-568-B.3. В ОК, выпускаемых на европейских кабельных заводах, достаточно часто используется цветовая кодировка, которая выполняется по различным национальным и фирменным нормам (примеры приведены в табл. 38). В основу этих норм из соображений сохранения преемственности положена система цветового кодирования низкочастотных симметричных кабелей, задаваемая на международном уровне стандартом IEC 60304, см. табл. 43.

Таблица 41. Цветовой код стандарта IEC 60304 [127]

Номер	1	2	3	4	5	6
Цвет	Красный	Синий	Белый	Зеленый	Фиолетовый	Оранжевый
Номер	7	8	9	10	11	12
Цвет	Серый	Желтый	Коричневый	Розовый	Черный	Бирюзовый*

*Сине-зеленый, цвет морской волны

Из отечественных производителей ОК цветовую кодировку применяет завод Оптиен. На этом предприятии на уровне фирменного стандарта введена следующая последовательность из шестнадцати маркирующих цветов: красный, желтый, зеленый, синий, коричневый, черный, оранжевый, фиолетовый, белый, серый, бирюзовый, розовый, салатовый, оливковый, бежевый, натуральный [128]. Аналогичной последовательностью из первых двенадцати цветов пользуется для маркировки своей продукции компания Интегра-Кабель [129]. Наличие 16-значной цветовой кодирующей последовательности дает возможность реализовывать двухповивные конструкции сердечников в случае необходимости увеличения количества волокон в кабеле свыше 144.

В сердечнике ОК окраской в различные цвета кодируются отдельные волокна, их группы и трубки модулей. Цветовая кодировка световодов имеет следующие отличительные особенности:

- в отличие от медножильных кабелей в оптической технике маркирующие цвета не делятся на цвета для обозначения отдельных ОВ и их групп;
- в тех ситуациях, когда количество волокон в одной конструктивной единице превышает количество основных кодирующих цветов, используется разбиение на группы. Признаком принадлежности ОВ с оболочкой одного из основных цветов к другой группе, является метка.

¹ Большинство специалистов, работающих с кабелями СКС, помнят на память только первые шесть кодирующих цветов (синий, ..., серый, белый), задаваемых этим стандартом. Для облегчения запоминания номеров цветов с шестого по десятый (белый, красный, черный, желтый, фиолетовый) можно воспользоваться фразой «Буратино красит чердак желтым фломастером» (данное правило сообщил автору Александр Савчук, фирма Reichle & De-Massari, Украина).

Стандарт ANSI/TIA/EIA-598-A предусматривает возможность применения меток семи различных разновидностей, см. рис. 50. Метки в форме индивидуальных элементов (штриховые, кольцевые) при маркировке волокон должны иметь длину от 2 до 12 мм, расстояние между отдельными метками не должно превышать 40 мм.

Принцип введения кольцевых меток отдельных ОВ с одноцветной окраской внешнего защитного покрытия может быть распространен на общий случай, например, волокна с номерами 25–36 маркируются двумя метками и т. д. На практике такое решение встречается, например в продукции компании Brand-Rex. Чаще, однако, формирование отдельных групп ОВ при их нахождении в общей трубке осуществляется обмоткой цветными нитями или ленточками.

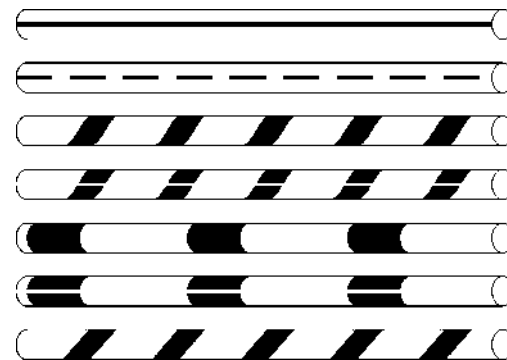


Рис. 50. Маркирующие метки по TIA/EIA-598-A

Наличие меток облегчает парную группировку ОВ при сборке коммутационного устройства. В этом случае к дуплексным розеткам подключаются волокна, окрашенные в основные цвета, а сами розетки аналогично парам симметричного кабеля получают цветовое обозначение (синяя, зеленая и т. д.), что делает процесс работы заметно более удобным.

Цветовая кодировка трубок модулей кабелей с сердечником повивного типа осуществляется по той же схеме. При этом максимально допустимое расстояние между индивидуальными метками не должно превышать 160 мм. Различного рода трубчатые заполнители и упрочняющие элементы, располагаемые в структуре сердечника, окрашиваются черной краской или имеют натуральный цвет.

Кроме обычной цветовой кодировки трубок модулей ОК внешней прокладки, в Российской Федерации и некоторых европейских странах достаточно широко применяется ее упрощенная разновидность, которую можно называть ключевой схемой. Принцип такого кодирования, нормированный старой редакцией стандарта DIN VDE 0888, часть 3, состоит в том, что в каждом повиве предусматривается всего два окрашенных модуля разных цветов, которые могут располагаться среди модулей с оболочкой натурального цвета рядом друг с другом, но не обязательно вплотную. Окрашенному модулю одного из цветов

(на основании табл. 38 для этого чаще всего используется красный цвет) присваивается первый номер (ключевой или счетный модуль), далее модули нумеруются в порядке возрастания от первого цветного в сторону второго (опорный модуль, или модуль направления). При небольшом количестве модулей в повиве ключевая схема может привести к ошибкам идентификации. Для устранения этого недостатка заводом Оптиен применяется вариант подобной кодировки, который можно назвать расширенной ключевой схемой. Суть данного решения состоит в использовании трех цветных трубок, причем счет модулей осуществляется от красного через коричневый (располагается всегда вплотную к красному) в сторону цветного.

Принципиальным недостатком ключевой схемы в независимости от варианта при всей ее выгодности производителю является возможность ее применения только в отношении ОК с сердечником повивного типа.

При использовании ключевой схемы различного рода трубчатые заполнители и упрочняющие элементы в процессе счета модулей не учитываются.

Применение цветовой маркировки на уровне отдельных элементов сердечника позволяет также кодировать тип ОК. В качестве примера использования данного принципа в случае применения ключевой схемы маркировки сошлемся на продукцию немецкой компании Kerpen. Во многих конструкциях этого производителя опорная трубка ОК внешней прокладки всегда имеет красный цвет, тогда как трубка счетного модуля окрашивается в желтый цвет в случае одномодовых изделий, синий цвет при использовании в многомодовых кабелях волокон 62,5/125 и зеленый в случае кабелей с волокнами 50/125. В ОК внутренней прокладки фиксация определенного цвета для обозначения типа ОВ применяется в тех случаях, когда в конструктивном элементе кабельного сердечника присутствует только один световод, то есть в кабелях для шнуров и в кабелях типа breakout. Примеры такой маркировки приведены в табл. 42.

Таблица 42. Цвета окраски вторичного буферного покрытия световодов кабелей некоторых производителей

Тип волокна	62,5/125	50/125	9/125	50/125 OM3
Brand-Rex, Великобритания	Синий	Зеленый	–	Оранжевый
Corning, США	Синий	Зеленый	Желтый	Бирюзовый
Huber+Suhner, Швейцария	Синий	Оранжевый	Желтый	–
Gebauer & Griller, Австрия	Синий	Зеленый	Желтый	–

В немецкоязычных странах тип ОК задается стандартом DIN VDE 0888. Это приводит к тому, что кабельная продукция различных заводов и одной

конструкции будет иметь одинаковую марку. Для определения предприятия-изготовителя под внешнюю оболочку закладывают цветную опознавательную ленту. Так, например, в ОК, выпускавшихся фирмой Siemens до продажи кабельного бизнеса, использовались две белые, красная и зеленая нити, тогда в аналогичных по конструктивному исполнению ОК, производимых на заводах компании Siesco (Siemens и Corning), — две красные, зеленая и черная нитки [130].

4.6.1.2. Цветовая кодировка наружных оболочек

Применение цветовой кодировки наружных оболочек ОК внутренней прокладки и ОК для шнуров задается американским национальным стандартом ANSI/TIA/EIA-598-A и позволяет сразу же определить тип ОВ, см. табл. 43. В тех ситуациях, когда кабель содержит одновременно несколько типов волокон, этот нормативный документ рекомендует изготавливать оболочку из материала черного цвета и наносить на нее индекс с указанием типа и количества волокон, например в следующей форме: $8 \times 50/125$, $4 \times 62,5/125$.

Положения стандарта ANSI/TIA/EIA-598-A в полном объеме не отражены в основных нормативно-технических документах СКС. Поэтому на практике цветовая маркировка наружных оболочек ОК внутренней прокладки отличается большим разнообразием и определяется в основном внутрифирменными стандартами производителя. Отметим только достаточно широкое использование оранжевой окраски оболочек, изготовленных из негорючих малодымных материалов (аналогично кабелям из витых пар), и практически повсеместную окраску в желтый цвет оболочек одномодовых ОК для шнуров. В случае применения в кабельном изделии широкополосных многомодовых ОВ категории OM3 появилось заметное тяготение производителей к использованию для окраски их оболочек бирюзового цвета.

Для окраски оболочек применяют различные пигменты, дающие насыщенный и стабильный во времени цвет. Состав пигмента подбирается таким образом, чтобы не изменять диэлектрических свойств оболочек кабеля.

4.6.2. Символьная маркировка кабельной продукции

Производители ОК придерживаются индивидуальной системы маркировки своей продукции. При этом зарубежные кабельные заводы ориентируются на рекомендации IEC-794-1, отечественные производящие предприятия при разработке маркирующего индекса используют положения ГОСТ 18690-82 [131]. Обычно марка представляет собой буквенно-цифровую последовательность с разделителями для облегчения визуального восприятия, в которой с большей или меньшей степенью детализации зашифрованы основные сведения о конструкции и назначении кабеля, а также о его оптических характеристиках. К маркирующему индексу, который наносится на внешнюю оболочку, обязательно добавляются футовые или метровые метки длины (точность их

нанесения должна быть не хуже $\pm 1\%$). В кабелях отечественного производства в индекс включаются товарный знак или кодовое обозначение производителя, а также дата изготовления и знак сертификата соответствия [132]. Из дополнительных маркирующих элементов, иногда наносимых на внешнюю оболочку, отметим знак волны или двойной синусоиды (оптический кабель) и телефонной трубки (кабель связи), см. рис. 52. Цвет маркировочных знаков выбирается контрастным цвету оболочки.

Таблица 43. Цветовая кодировка внешних оболочек кабелей внутренней прокладки по ANSI/TIA/EIA-598-A

Класс волокна кабеля	Тип волокна	Цвет оболочки
Многомодовое А1	50/125	Оранжевый
	62,5/125	Серый
	85/125	Голубой
	100/140	Зеленый
Одномодовое В1.1а	Любой	Желтый
Одномодовое В1.1б	Любой	Красный

Маркировка ОК осуществляется непосредственно после наложения внешней оболочки. Для конструкций внутренней прокладки эта операция выполняется специализированным струйным принтером. Маркировка изделий внешней прокладки производится методом печати или тиснением термическим способом на холодный ПЭ через ленту с полимерным пигментом. Последний вариант обеспечивает большую износостойкость, и за счет этого индекс лучше сохраняется после протяжки, например, в кабельной канализации.

Отметим также, что на отечественных кабельных заводах еще в середине 90-х гг. была распространена практика нанесения маркировки термическим способом без заполнения тисненых знаков краской. Данное решение в настоящее время считается устаревшим, так как существенно снижает удобство работы с кабелем, особенно при его складском хранении.

4.7. Упаковка оптической кабельной продукции

4.7.1. Разновидности упаковки

На практике в соответствии с ГОСТ 18690-79 применяются следующие варианты упаковки кабелей внешней прокладки при их поставке на объект:

- на кабельных барабанах;
- в виде бухт.

Для кабелей внутренней прокладки к этому перечню добавляются также картонные коробки (укладка в специальный контейнер в соответствии с терминологией ГОСТ 18690-79).

Основная масса ОК поставляется на кабельных барабанах, см. рис. 51а. Габаритные размеры кабельных барабанов отечественного производства установлены ГОСТ 5151-79 [134] и задаются их номерами от 5 до 30. Номер барабана обозначает диаметр щеки в дециметрах. Часть типоразмеров с одинаковым диаметром может иметь разную ширину (длину шейки в терминологии ГОСТ 5151-79), что отражается буквенным индексом в номере изделия.

Способ упаковки на барабанах получил наибольшее распространение на практике из-за его технологической выгоды для производящего предприятия. Однако классическая барабанная упаковка кабельной продукции не в полной мере удовлетворяет дистрибьюторские компании и системных интеграторов. Это обусловлено необходимостью выполнения достаточно трудоемкой процедуры фиксации барабана в процессе транспортирования, а также сложностью применения погрузчиков. Для устранения этого недостатка некоторые зарубежные производящие компании практикуют установку барабана на поддон, см. рис. 51б.

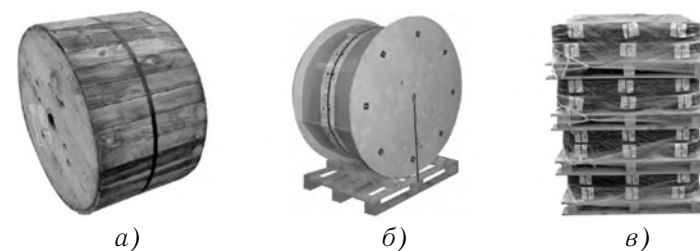


Рис. 51. Основные разновидности упаковки оптических кабелей [133]: а) на кабельном барабане; б) на кабельном барабане с установкой на поддон; в) в форме бухт

Упаковка кабелей в виде бухт из-за сложностей размотки может быть рекомендована только в случае необходимости применения в проекте строительных длин не свыше 100 м.

4.7.2. Маркировка кабельных барабанов

Поставка ОК при строительной длине свыше 100 м в подавляющем большинстве случаев осуществляется на кабельных барабанах. На наружную сторону щеки каждого барабана должны быть нанесены:

- заводской номер барабана;

- надпись «Не класть плашмя»;
- стрелка, указывающая допустимое направление перекатывания.

На внутреннюю сторону щеки барабана в водонепроницаемом пакете помещается паспорт. В паспорте приводится следующая информация:

- условное обозначение кабеля;
- знак сертификата соответствия по ГОСТ 45.02-97;
- номер сертификата Минсвязи РФ;
- расчетная масса 1 км кабеля;
- номинальный внешний диаметр кабеля;
- тип волокна;
- расцветка ОВ и модулей;
- эффективный показатель преломления ОВ на нормируемых опорных длинах волн;
- коэффициент затухания для каждого ОВ на нормируемых длинах волн;
- электрическое сопротивление наружной оболочки для бронированных кабелей;
- название фирм — изготовителей ОВ и кабеля;
- дата изготовления.

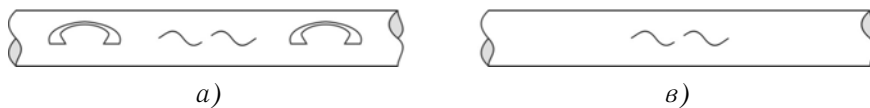


Рис. 52. Маркировка оптических кабелей по DIN 0888:
а) внешней прокладки; б) внутренней прокладки

4.8. Выводы

Для построения кабельных трактов СКС может быть использована кабельная продукция, аналогичная изделиям, применяемым на сетях связи общего пользования. Особенности области эксплуатации проявляются в малой потребности в кабелях с усиленной защитой от механических воздействий и значительном удельном весе конструкций, предназначенных для внутренней прокладки.

В процессе реализации оптических трактов СКС находят применение три основные разновидности кабельных изделий, монтажные и эксплуатационные преимущества конструкций которых в наиболее полной степени проявляются при их применении на уровне одной из подсистем структурированной проводки. Из-за характерной для СКС небольшой протяженности линейной части подсистемы внешних магистралей определенное распространение получили универсальные конструкции, существенно превосходящие изделия внутрен-

ней прокладки по влагостойкости и выгодно отличающиеся от специализированных кабелей внешней прокладки значительно меньшей пожарной опасностью.

Механические параметры оптических и медножильных кабелей СКС практически совпадают. Это упрощает и в значительной мере унифицирует процесс проектирования, реализации и последующей эксплуатации структурированной проводки.

Наличие развитой, достаточно эффективной и в значительной степени стандартизированной символьной и цветовой кодировки оболочек оптических кабелей и отдельных элементов их сердечника облегчает процедуру сборки оконечных коммутационных устройств и эксплуатацию линейной части структурированной проводки.

ГЛАВА 5

ОПТИЧЕСКИЕ РАЗЪЕМЫ

Одной из важнейших проблем, которую приходится решать при создании практически любой линии оптической связи, является необходимость сращивания ОВ друг с другом. В общем случае данная задача может быть решена двумя принципиально различными способами: с помощью разъемных или неразъемных оптических соединителей (рис. 53). Неразъемные соединители, которые иногда называются сростками, широко применяются при создании линий связи большой протяженности (например, сетей связи общего пользования масштаба города и более), а также при сборке оконечных коммутационных устройств в случае привлечения для этого технологии монтажных шнуров.



Рис. 53. Основные разновидности оптических соединителей

Оптические разъемы (разъемные соединители) предназначены для сращивания световодов в тех случаях, когда во время эксплуатации часто возникает потребность в изменении конфигурации трактов передачи информации или же существует повышенная опасность повреждения кабельного изделия на определенном участке тракта. Специфика построения оптических трактов СКС, обусловленная их относительно небольшой протяженностью, приводит к тому, что при их создании для сращивания световодов используются в основном оптические разъемные соединители или просто разъемы, которые подробно рассматриваются ниже.

5.1. Общие положения

5.1.1. Назначение и основные требования

Оптические разъемы, которые иногда называются разъемными соединителями [135], предназначены для обеспечения разъемного подключения шнуровых изделий различного назначения к коммутационному оборудованию в технических помещениях различного уровня, ИР рабочих мест и к сетевым устройствам. В некоторых ситуациях ОР может выполнять функции сростка или является важным функциональным компонентом элемента специального назначения.

ОР выполняет следующие основные функции:

- обеспечивает ввод ОВ в точку сращивания таким образом, чтобы радиус изгиба не уменьшился ниже предельно допустимого значения;
- защищает ОВ от внешних механических и климатических воздействий;
- фиксирует соединяемые световоды в центрирующей системе.

Основные технические требования, которым должны отвечать ОР, используемые в оптических подсистемах СКС, заключаются в следующем:

- обеспечение минимального вносимого затухания (Insertion Loss — IL) в сочетании с получением высокого затухания обратного рассеяния (Return Loss — RL);
- достижение долговременной стабильности и воспроизводимости параметров;
- минимальные габариты и масса при высокой механической прочности в сочетании с требуемым уровнем надежности и простотой конструкции;
- легкость установки на кабель;
- простота процесса подключения и отключения.

Требования к ОР содержатся в обоих основных нормативных документах СКС (TIA/EIA-568-B и ISO/IEC-11801). Стандарты фиксируют только самые общие положения и задают:

- тип ОР, допустимых для применения в оптических подсистемах СКС;
- основные эксплуатационные параметры ОР;
- правила подключения ОР.

В СКС согласно стандарту ISO/IEC 11801 : 2002 на уровне ИР рабочих мест можно использовать оптические разъемы типа SC в дуплексном варианте. Американский стандарт TIA/EIA-568-B.1 допускает устанавливать на рабочих местах пользователей разъемы SC и изделия других типов, под которыми понимаются малогабаритные ОР без конкретизации их конструкции. Отнесение последней разновидности соединителей к группе SFF (от Small Form Factor) позволяет применить обычное для практики расширенное толкование этих элементов как изделий, дуплексная розетка которых взаимозаменяема

5.1.2. Цветовая кодировка корпусных элементов

Согласно стандартам ISO/IEC 11801:2002 и TIA/EIA-568-B.3 цветовая кодировка корпусов или их отдельных видимых деталей используется для четкой визуальной идентификации типа ОР (многомодовый, одномодовый в обычном варианте и в исполнении APC). Данный принцип применяется в отношении вилок и розеток ОР. Выбор цвета окраски должен осуществляется в соответствии с табл. 45. При этом наличие в международном стандарте двух маркирующих цветов многомодовых ОР позволяет применять их для обозначения волокон типов 50/125 и 62,5/125. Этой возможностью пользуются также некоторые американские производители СКС [137].

Таблица 45. Стандартные кодирующие цвета элементов корпусов оптических разъемов

Тип разъема	Цвет	
	ISO/IEC 11801:2002	TIA/EIA-568-B.3
Многомодовый	Бежевый или черный	Бежевый
Одномодовый	Голубой	Голубой
Одномодовый с поверхностью APC	Зеленый	–

Кроме компонентов собственно разъемов, стандарт TIA/EIA-568-B.3 позволяет применять цветовую кодировку типа разъема в отношении корпуса информационно-роzetки пользователя СКС, а стандарт ISO/IEC 11801:2002 рекомендует использовать дополнительные цвета или метки для обозначения элементов ОР многомодовых ОР различных типов. Стандарты не оговаривают конкретные элементы ОР, на которые возлагаются функции цветовой кодировки. Поэтому на практике она наряду с интегральными установочными корпусными деталями иногда возлагаются на такие съемные компоненты, как противопыльные колпачки. Наличие в стандартах данного положения в сочетании с возможностью окраски в различные цвета не только корпуса, но и прочих элементов вилок и розеток ОР дает возможность создания очень гибкой и информативной для пользователя системы цветовой кодировки. В качестве примера в табл. 46 приведена одна из возможных реализаций данной концепции, используемая в СКС типа LANscape компании Corning [138].

Кроме стандартных цветов, производители могут применять материалы других расцветок для обозначения преимущественно одномодовых ОР со специальными свойствами. В качестве практических примеров такого подхода сошлемся на следующие изделия. В разъемах E-2000 фирмы Diamond, имеющих встроенный фокон (волоконную фокусирующую линзу) для уменьшения плотности мощности в области контакта, применен корпус красного цвета.

В состав СКС Future Com фирмы Corning входят одномодовые ОР класса Hyper PC по обратным отражениям, маркируемые колпачками желтого цвета. Эта же компания применяет окраску всех компонентов, в том числе корпусов вилок и розеток ОР, входящих в систему Xcelerate Plus, в бирюзовый цвет. В данном случае специальная цветовая кодировка потребовалась для визуального выделения стационарных линий, поддерживающих передачу сигналов 10G Ethernet на расстояние вплоть до 500 м.

Таблица 46. Цветовая кодировка многомодовых разъемов СКС LANscape фирмы Corning

Тип волокна	Исполнение волокна	Цвет корпуса	Цвет хвостовика
50/125	Infinicor SX+	Черный	Бирюзовый
50/125	Infinicor 600	Черный	Черный
62,5/125	Infinicor 300	Бежевый	Черный

В период после 2000 г. для разделения отдельных секций коммутационного поля определенную популярность приобрело использование однотипных разъемов в ключевом варианте для механической блокировки некорректного подключения. В данном случае также используется цветовая кодировка, причем при выборе окраски изготовитель по возможности старается не использовать цвета, зарезервированные стандартами для обозначения типа волокна и формы торцевой поверхности. В тех случаях, когда этого избежать не удастся, по возможности применяют другие оттенки, например салатовый вместо зеленого или синий вместо голубого.

В очень ограниченных пределах известно также применение не предусмотренной нормативными документами окраски корпусов ОР по заказу пользователей. Обычно основным обоснованием такого перехода служит стремление к получению большего контраста по сравнению со случаем стандартных цветов (например, бежевого и голубого).

5.1.3. Основные схемы реализации

В соответствии с рекомендацией L.36 ITU-T [139] в основу классификации ОР положен принцип выравнивания соединяемых оптических волокон. Различают разъемы с прямым выравниванием (на основе капилляра или V-образного элемента), с вторичным выравниванием (волокна фиксируются в механических направляющих компонентах, которые центрируются с помощью штифтов, гильз и других аналогичных элементов) и разъемы линзового типа. Изделия с прямым и вторичным выравниванием дополнительно объединяются в группу контактных разъемов.

Разъемы линзового типа (рис. 55б) были достаточно широко распространены на ранних этапах развития техники оптической связи. Эти изделия предполагают использование различных фокусирующих элементов на основе линз или их функциональных аналогов, в фокальной плоскости которых располагаются торцевые поверхности соединяемых ОВ. С помощью первого фокусирующего элемента свет, выходящий из передающего световода, преобразуется в параллельный пучок большого диаметра. Затем второй элемент, расположенный в ответной части разъема, фокусирует падающий на него параллельный пучок на сердцевину принимающего ОВ. Основным преимуществом данного решения является меньшая чувствительность к осевым и боковым смещениям срачиваемых волокон, обеспечиваемая большим диаметром светового пучка в области соединения.

ОР контактного типа (рис. 55а) предполагают соединение ОВ встык по возможности без воздушного зазора между ними. Одновременно соответствующими конструктивными мероприятиями дополнительно обеспечивается параллельность их осей друг другу и минимально возможное расстояние между торцами. За счет такого исполнения удается получить существенно лучшие массогабаритные показатели и принципиально меньшее затухание сигнала (отсутствуют потери в линзах и на френелевское отражение). По этой причине подавляющее большинство современных конструкций ОР реализуют контактную схему соединения.

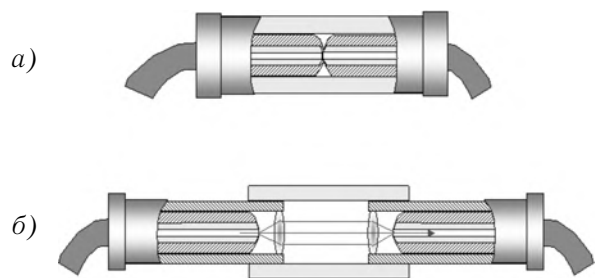


Рис. 55. Схема реализации оптических разъемов:
а) контактного типа; б) линзового типа

Основой наиболее популярных конструкций современных ОР является штекерный наконечник. Подавляющее большинство ОР, которые серийно выпускаются промышленностью, реализованы по так называемой симметричной схеме. Под этим понимается то, что оба срачиваемых ОВ армируются одинаковыми вилками (коннекторами), которые затем с двух сторон вставляются в соединительную розетку (coupler или adapter), снабженную центратором для их взаимного выравнивания. Заметно меньшее распространение по-

лучили так называемые несимметричные ОР, которые содержат всего два элемента: вилку и розетку. Это обусловлено таким эксплуатационным недостатком изделий данной разновидности, как сложность очистки торцевой поверхности волокна в розеточной части.

Для фиксации вилки, установленной в розетку, в современных конструкциях чаще всего используется защелка (push-pull-механизм по терминологии рекомендации L.36 ITU-T). Данный элемент может быть выполнен как внутренним (ОР типа SC), так и внешним рычажного типа (разъемы LC, E-2000, MT-RJ). В разъемах первого поколения функции фиксатора выполнял также байонетный элемент (разъем типа ST), а также накидная гайка многогранной или круглой формы с накатанной поверхностью (разъемы типов FC и SMA).

ОР изготавливаются как в многомодовом, так и в одномодовом вариантах, причем из соображений оптимизации производственного процесса они имеют одинаковое конструктивное исполнение. Основное отличие между многомодовым и одномодовым вариантами однотипного разъема заключается в различных допусках на геометрические размеры наконечника вилки и центрирующих элементов розетки. Ужесточение допусков в одномодовом варианте позволяет удержать потери при срачивании одномодовых ОВ в приемлемых пределах. Так, например, стандартный диаметр отверстия наконечника вилки для армирования одномодовых световодов составляет $126 + 1/-0$ мкм, тогда как в наконечниках вилок для многомодовых волокон значение этого параметра составляет $127 + 2/-0$ мкм.

Многие многомодовые ОР имеют вилки нескольких разновидностей, которые рассчитаны на установку на волокно с различным номинальным диаметром оболочки (125, 140, 280 мкм и т. д.). Конструктивно они отличаются друг от друга только диаметром отверстия наконечника.

Вся совокупность ОР по их конструктивному исполнению может быть разбита на две большие группы. Изделия, относящиеся к первой группе, называются одиночными, или симплексными, разъемами и рассчитаны на соединение двух ОВ. Существуют конструкции, получившие название групповых (или многоканальных) ОР, которые обеспечивают одновременное срачивание двух или более пар световодов. При этом доля таких конструкций в общем объеме их выпуска растет очень быстрыми темпами.

Для применения в специальных условиях эксплуатации (повышенная влажность, пары агрессивных материалов и т. д.) используются герметичные ОР. Известны также конструкции так называемых гибридных разъемов, которые позволяют одновременно срачивать как ОВ, так и электрические проводники. В технике СКС они находят ограниченное применение при построении систем интерактивного управления проводкой (см. параграф 8.2.1).

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21
части																				
IEC																				
61754		BFOC/2,5	LSA	SC	MT	MU	MPO	CF08	DS	Mini-MPO		FC	FC-PC	LSH	PN		MT-RJ	SG	LC	SMI
TIA/EIA-604	Bicinic	BFOC/2,5	SC	FC	MTP/MPO	FJ	SG-45	Mini-MAC	Mini-MPO	LC	SCDC/SCQC	MT-RJ	LX.5	MF	LSH	MU				

Необходимость обеспечения совместимости компонентов ОР одного типа, изготовленных различными производящими компаниями, объективным образом привела к разработке нормативных документов, регламентирующих различные аспекты этой проблемы. В настоящее время наибольшую популярность получили два таких документа, в которых нормированы параметры наиболее распространенных типов разъемных оптических соединителей.

В Европе и азиатских странах производители элементной базы пользуются преимущественно международным стандартом IEC 61754. Структурно документ состоит из нескольких частей. Часть 1 включает в себя общие требования, предъявляемые к ОР. Остальные части содержат спецификации конкретных разновидностей разъемных соединителей для кварцевых и полимерных световодов.

Аналогичная стратегия принята в США: имеется базовый стандарт TIA/EIA-604 (FOCIS – от fiber optic connector intermateability), конкретные типы оптических разъемов описаны в отдельных частях этого документа, см. табл. 47.

5.2. Параметры оптических разъемов

5.2.1. Вносимые потери

Согласно рекомендации L.36 ITU-T потери в оптическом разъеме определяются как (см. также рис. 56)

$$A = 10 \lg \frac{P_0}{P}, \text{ дБ}, \quad (35)$$

где P_0 – мощность оптического сигнала на входе разъема;
 P_t – мощность оптического сигнала на выходе разъема.

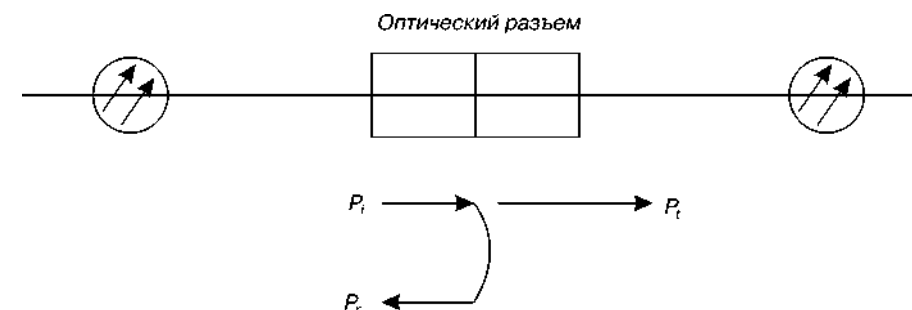


Рис. 56. К определению параметров оптического разъема

Потери в ОР определяются целым рядом причин, которые в общем виде могут быть классифицированы на следующие группы [140]:

- внутренние факторы, которые определяются допусками на геометрические размеры ОВ;
- внешние факторы, которые определяются качеством изготовления отдельных элементов разъема и его технологическими допусками;
- отражениями и рассеянием;
- загрязнениями.

К числу основных внутренних факторов, которые вызывают потери в ОР, относятся эксцентриситет и некруглость (эллиптичность) сердцевин, а также разность диаметров, числовых апертур и профилей показателей преломления срачиваемых световодов. Необходимость учета эксцентриситета и некруглости возникала на ранних стадиях развития техники оптической связи. В настоящее время в связи с достигнутым технологическим уровнем изготовления ОВ эти факторы перестали играть первостепенное значение [141]. Так, например, при типичной для современных многомодовых ОВ величине некруглости сердцевин 5% (см. табл. 20) вносимые потери не превышают 0,1 дБ.

Потери за счет разности диаметров сердцевин срачиваемых световодов наиболее часто встречаются на практике в случае применения многомодовой техники, так как стандартами допускается использование в СКС двух типов ОВ со значением данного параметра в 50 и 62,5 мкм. При соединении отдельных световодов такие потери происходят только при переходе из волокна с большим диаметром в ОВ с меньшим диаметром. При сращивании световодов с одинаковыми номинальными диаметрами потери рассматриваемого вида возникают из-за допуска на диаметры сердцевин.

Потери, обусловленные разностью числовых апертур, определяются главным образом производственными допусками на этот параметр.

В перечень составляющих потерь, которые вызываются внешними факторами, входят потери за счет наличия воздушного промежутка между торцами срачиваемых ОВ, радиальных и угловых смещений световодов, а также непараллельности торцевых поверхностей ОВ в разъемах. Потери этого вида обусловлены неизбежными производственными допусками на геометрические размеры отдельных деталей ОР, выполняющих центрирование срачиваемых ОВ.

Потери, возникающие в случаях, когда между торцевыми поверхностями срачиваемых ОВ имеется воздушный промежуток, рассмотрены в параграфе 5.2.2.

Потери на загрязнение возникают в процессе эксплуатации кабельной системы главным образом из-за несоблюдения правил подключения и отключения ОР. Для минимизации этой составляющей потерь стандарты требуют выполнять очистку оптически активных поверхностей соединяемых ОВ перед каждым подключением ОР.

Одномодовые ОР согласно рекомендации L.36 ITU-T с точки зрения вносимых потерь делятся на два уровня (grade). Разъемы уровня Р должны обеспечивать средние потери 0,35 дБ при потерях не свыше 1,00 дБ для всех возможных комбинаций соединителей. Для разъемов уровня Q средние потери установлены в 0,3 дБ при максимальных 0,60 дБ для 99% всех возможных соединений. Сравнение этих параметров с данными табл. 44 показывает, что в реальных условиях при выполнении требований по наличию физического контакта соединяемых волокон (см. параграф 5.2.2) потери в ОР будут заметно меньше тех значений, которые задают стандарты СКС. Полученный выигрыш позволяет создать дополнительные запасы по уровню общего затухания формируемого тракта.

5.2.2. Схема физического контакта в оптических разъемах

Основные стандарты СКС выдвигают достаточно жесткие требования по величине потерь, создаваемых разъемами оптической части структурированной проводки. Нормативные документы содержат только самые общие требования относительно конструктивного исполнения данных элементов кабельного тракта. Известные достоинства разъемов линзового типа при условиях, характерных для области эксплуатации СКС, оказываются невостребованными. В силу этого из соображений удобства эксплуатации, достижения высокой плотности портов на панелях коммутационного поля и т. д. предпочтительным является применение разъемов контактного типа в смысле определения параграфа 5.1.3.

Разъем контактного типа в общем случае предполагает только непосредственную стыковку соединяемых юстирующих элементов, а не самих волокон. За счет этого в собранном состоянии соединителя без применения специальных мер между ОВ потенциально может существовать воздушный промежуток. Наличие этого зазора обязательно сопровождается появлением эффекта френелевского отражения и формирования в пространстве конусообразного пучка излучения, угол при вершине (расходимость) которого определяется числовой апертурой волокна. Данные эффекты влекут за собой увеличение потерь в разъемном соединителе.

Величина френелевских потерь при $n_1 = 1,48$ на основании формулы 15 составляет $2a_F = 0,34$ дБ.

Значение второй составляющей потерь, возникающей из-за расходимости светового потока, для градиентных волокон может быть оценено соотношением

$$a_z = -10 \lg \left(1 - \frac{z}{2a} NA \right),$$

где z — ширина воздушного зазора между волокнами;
 a — радиус сердцевин.

Для наиболее распространенного 50-микронного волокна с $NA = 0,2$ при $z = 5$ мкм имеем $a_z = 0,09$ дБ.

Таким образом, наличие воздушного зазора увеличивает потери в соединителе на $2a_F + a_z \approx 0,4$ дБ, что является недопустимо высокой величиной.

Для устранения данной составляющей потерь оптический разъем должен быть реализован по схеме так называемого физического контакта (physical contact — PC). Данная схема основана на принудительном обеспечении различными технологическими средствами плотного прилегания друг к другу сердцевин ОВ в случае штатного подключения вилки к розетке. При этом расстояние между торцевыми поверхностями сердцевин соединяемых волокон оказывается много меньшим длины волны передаваемого излучения. Результатом является полное устранение обоих нежелательных эффектов и снижение потерь на 0,4 дБ.

Из-за конечной точности оборудования для механической обработки наконечников полного сближения торцевых поверхностей волокон практически невозможно гарантированно добиться в структурах с плоской формой торцевой поверхности, популярных в ОР, создание которых была закончено не позднее середины 80-х гг. прошлого века, см. рис. 57а. Для достижения физического контакта в современных конструкциях применяется целый ряд технических и технологических приемов, в том числе:

- использование нажимных пружин, которые при вставленных в розетку вилках прижимают торцы наконечников друг к другу с усилием примерно 8–12 Н;
- формирование у наконечников выпуклой торцевой поверхности (радиус скругления в зависимости от варианта исполнения составляет 5–25 мм), см. рис 57б.

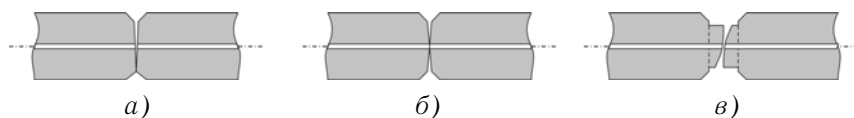


Рис. 57. Формы торцевой поверхности наконечников вилок оптических разъемов:
а) плоская; б) выпуклая классов PC, SuperPC, UltraPC;
в) скошенная (Angled PC)

Дополнительным положительным следствием от наличия физического контакта является то, что он позволяет в значительной степени подавить явление обратного френелевского отражения. Это является чрезвычайно важным для некоторых разновидностей одномодовых приложений.

5.2.3. Принцип отнесения потерь

Любой разъемный оптический соединитель в общем случае образуется двумя основными укрупненными блоками: панельной и шнуровой частями. В про-

цессе эксплуатации кабельной системы панельная часть ОР как компонент тракта передачи информационного сигнала является неизменной, шнуровая часть может меняться. Параметр потерь разъемного соединителя имеет смысл только при рабочем состоянии этого компонента, то есть в том случае, если вилка вставлена в розетку в соответствии с правилами, определенными стандартами и установленными производителем элементной базы. Потери сигнала при его прохождении через ОР определяются его панельной и шнуровой частями. Каждая из этих составляющих может быть определена обычным в измерительной технике методом сравнения с эталоном. Однако такое разделение оказывается крайне неудобным с эксплуатационной точки зрения по следующим причинам:

- используемый в сетевой аппаратуре способ передачи информации в оптическом диапазоне длин волн методом модуляции интенсивности несущей, а также схема юстировки компонентов серийного ОР и принцип определения потерь в отдельных компонентах соединителя не дает гарантий того, что потери в собранном разъеме всегда будут равны сумме потерь в его панельной и шнуровой частях (подробнее см. параграф 5.3.7);
- разбиение потерь в одном элементе оптического тракта на две составляющие существенно затрудняет текущее администрирование СКС, в том числе из-за невозможности обеспечения простыми средствами хранения информации о затухании отдельных вилок различных шнуровых изделий.

Для устранения перечисленных недостатков потери, создаваемые ОР, имеет смысл отнести к одному из его компонентов. При этом предпочтительнее выбрать в качестве такого опорного компонента панельную часть разъема. Это обусловлено тем, что:

- в отличие от вилки приборная часть ОР представляет собой фиксированный компонент стационарной линии;
- с учетом правила построения оптической подсистемы структурированной проводки как совокупности стационарных линий, введенного в параграфе 1.2.3, и незначительной длины кабелей шнуровых изделий отнесение потерь на панельную часть разъема позволяет рассчитывать затухание формируемого тракта как суммы затухания образующих его стационарных линий. Это заметно упрощает эксплуатацию СКС.

Как результат изложенного выше в оптической подсистеме СКС целесообразно принять, что потери сигнала в разъемном соединителе создаются только его панельной частью, а вилка условно принимается идеальной. Такой прием называется принципом отнесения потерь. При этом для так называемого несимметричного разъема таким вносящим потери компонентом является розетка целиком. В симметричных разъемах потери относятся к вилке, вставляемой в розетку со стороны панели.

5.2.4. Обратные отражения

В любом ОР между торцевыми поверхностями срачиваемых ОВ обязательно остаются воздушные зазоры большей или меньшей толщины и/или площади, вызванные неизбежными погрешностями и допусками на изготовление. В таких областях за счет наличия перехода стекло — воздух — стекло возникают френелевские отражения, которые приводят к появлению светового потока, распространяющегося в обратном направлении.

Поток обратного отражения оказывает отрицательное влияние в первую очередь на высокоскоростные лазерные оптические передатчики, так как, попадая обратно в резонатор излучателя, вызывает сильные искажения передаваемого сигнала [142]. В принципе, причиной возникновения обратных отражений может явиться любая неоднородность оптического тракта, однако наибольший вклад вносят ОР, где опасность их возникновения является наибольшей. На основании этого в процессе создания линий оптической связи значение обратного отражения должно контролироваться достаточно жестко. Количественной мерой интенсивности обратных отражений является коэффициент обратного отражения, который согласно рекомендации L.36 ITU-T определяется следующим образом (см. также рис. 56):

$$RL = 10 \lg \frac{P_r}{P_0}, \text{ дБ}, \quad (36)$$

где P_r — мощность потока обратного рассеяния;
 P_i — мощность оптического сигнала на входе разъема.

В некоторых публикациях в качестве меры обратного отражения используется эквивалентный параметр ORL (optical return loss), определяемый как $RL = 10 \lg P_0/P_r$, то есть $ORL = -RL$ [143].

Нормы на коэффициент обратного отражения ОР, применяемые при построении кабельных трактов СКС, содержатся в стандарте ISO/IEC-11801:2002 и приведены в табл. 44. Указанная в этом нормативном документе величина обратных отражений для одномодовых ОР (не хуже — 35 дБ) заимствована из рекомендаций ETSI. Она недостаточна для обеспечения работоспособности с заданным качеством некоторых приложений и в широкую инженерную практику внедрен ряд методов по его снижению. В зависимости от достижимого коэффициента обратного отражения одномодовые ОР традиционно делят на классы, которые приводятся в табл. 48.

Кроме общепринятого деления на классы по уровню обратных отражений, некоторые производители используют свою собственную систему с отличными числовыми величинами и могут вводить промежуточные классы. Так, в частности, в состав СКС FutureLink компании Corning входят вилки с полировкой Hyper PC и параметром обратного отражения — 60 дБ, а японская фирма Hirose Electric обозначает вилки с коэффициентом обратного отражения в — 40 дБ как AdPC (от advanced PC).

Таблица 48. Значения коэффициента обратного отражения различных классов оптических разъемов некоторых производителей

Фирма-производитель	MM	PC	SPC	UPC	APC
Типовое значение	–20	–35	–45	–55	–65
Amphenol, США	–	–	–45	–55	–65
Diamond, Швейцария	–40	–50	–	–	–70
Huber+Suhner, Швейцария	–	–45	–50	–	–85
Molex, США	–	–	–45	–55	–70
Radiall, Франция	–20	–30	–40	–50	–60
Senko, Япония	–	–	–50	–55	–65
Telegartner, Германия	–30	–40	–	–	–60
Tyco Electronics, США	–	–50	–	–	–60

В некоторых случаях по классам обратного отражения делят также многомодовые ОР. В частности, такого подхода придерживается японская компания Totoku Electric, которая использует для их обозначения аббревиатуры PC (–25 дБ) и SPC (–35 дБ).

Отметим также еще два обстоятельства, относящихся к области нормирования параметра обратного отражения. Во-первых, в ОР без скошенного наконечника после нескольких подключений из-за неизбежного появления царапин на торцевых поверхностях сердцевин ОВ коэффициент обратного отражения устанавливается на уровне PC-разъема в независимости от уровня исходной полировки. Во-вторых, многомодовые разъемы в одномодовом и многомодовом вариантах, как правило, имеют на 10–15 дБ меньшее значение параметра RL по сравнению с одноволоконными изделиями.

Обязательным условием минимизации обратного отражения является наличие физического контакта. Наличие физического контакта особенно важно для одномодовых разъемов. Для этих изделий наряду с мероприятиями, рассмотренными в параграфе 5.2.2, используют наконечники со скошенной торцевой поверхностью, см. рис. 57в.

Последний вариант является наиболее эффективным, хотя и самым сложным в технической реализации, и соответственно дорогим средством минимизации обратных отражений. Данная разновидность наконечников называется APC (от Angled physical contact, в Японии часто применяется трактовка этой аббревиатуры как Advanced Physical Polish [144]). Известно также их обозначение как PAE-, HRL- или SP-наконечники (от pre-angled endface, high return loss и slant polishing соответственно). Угол скоса выбирается несколько большим по сравнению с апертурным углом армируемого ОВ, чтобы излучение, отражаемое обратно в сердцевину, быстро высвечивалось в оболочку. В соот-

ветствии с этим условием угол скоса наконечников ОР, предназначенных для установки на волокна классов В1.1 (G.652) и В1.3 по IEC 60798-2-50, составляет примерно $8-9^\circ$ (стандартные одномодовые ОВ этих классов имеют параметр NA примерно 0,12, который соответствует апертурному углу $6,8^\circ$). В тех случаях, когда вилки соединителя предназначены для установки ОВ со смещенной дисперсией, которые обладают повышенной числовой апертурой, угол наклона увеличивается до 12° . Отметим, что аппаратура, передатчики которой обладают повышенной чувствительностью к обратному отражению, работает только по одномодовым ОК. В силу этого скошенные наконечники применяются исключительно в одномодовых ОР. Для быстрой визуальной идентификации таких изделий наряду с изготовлением корпуса из пластмассы зеленого цвета торцевую часть наконечника часто выполняют с характерным выступом.

Упомянем также еще одно достаточно эффективное техническое решение, которое пользовалось большой популярностью на ранних этапах развития техники волоконно-оптической связи. Оно основано на том, что для минимизации обратных отражений в область контакта ОВ тем или иным способом вводится прозрачная иммерсионная жидкость, показатель преломления которой выбирался максимально близким к показателю преломления стекла сердцевины. Подобное решение существенно усложняет эксплуатацию ОР и в связи с улучшением технологии обработки наконечников практически вытеснено из широкой инженерной практики. Аналогичный по назначению иммерсионный гель применяется только в некоторых типах так называемых механических коннекторов и в механических сплайсах, то есть в тех элементах, где число циклов срачивания и разъединения сведено к минимуму.

5.3. Основные компоненты оптических разъемов и их конструктивные особенности

ОР представляет собой достаточно малогабаритный элемент. Несмотря на это, он является технически сложным изделием. Конструкцию разъема образуют:

- наконечник или другой элемент для фиксации волокон;
- элемент центрирования срачиваемых ОВ относительно друг друга;
- корпус с элементами защиты от неправильного подключения вилки к розетке и углового поворота срачиваемых волокон относительно друг друга;
- элементы фиксации за упрочняющие покрытия световодов и кабеля;
- хвостовик, обеспечивающий соблюдение заданной величины радиуса изгиба ОВ или ОК на входе в вилку;
- защитный колпачок.

В зависимости от формы реализации ОР те или иные конструктивные элементы из приведенного списка могут входить в состав вилки или розетки, а также отсутствовать вообще.

5.3.1. Наконечники вилок

Наиболее ответственной деталью вилок большинства типов ОР является наконечник¹ с одним или несколькими прецизионными продольными направляющими каналами, которые предназначены для фиксации концов ОВ. Для уменьшения потерь в точке срачивания торец световода обязательно шлифуется и полируется заподлицо с торцом наконечника.

Конструкция основной массы ОР основана на применении цилиндрических наконечников с номинальным диаметром 2,499 мм (в литературе, как правило, указывают 2,5 мм). В последнее время в связи с тенденцией минимизации габаритов соединителей быстрыми темпами начинает приобретать популярность использование этих элементов с номинальным диаметром 1,249 мм (в каталожных спецификациях обычно приводят округленное значение 1,25 мм). Известны также изделия с наконечниками другого диаметра (например, у достаточно распространенного еще в середине 90-х гг. прошлого века разъема D4 японской корпорации NEC величина этого параметра составляет 2,0 мм).

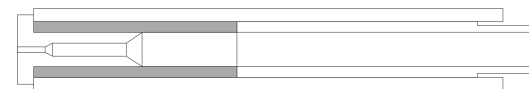


Рис. 58. Цилиндрический наконечник комбинированной конструкции

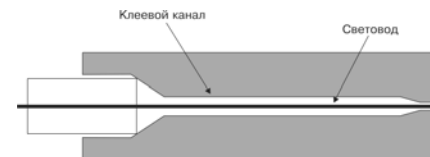


Рис. 59. Цилиндрический наконечник моноблочной конструкции

Наконечники с отличной от цилиндрической формой могут быть осесимметричными или не обладать этим свойством. Примером ОР, в которых использован осесимметричный наконечник, является разработанный в 1976 г. лабораториями Белла разъем BICONIC (рис. 61). У этого изделия центрирующий элемент имеет форму усеченного конуса. Наконечники с формой, близкой

¹ В части публикаций, преимущественно переводных, для обозначения этого элемента употребляют термин феррул (от англ. *ferrule*).

в поперечном сечении к прямоугольной, быстро набирают популярность с конца 90-х гг. прошлого века в связи с широким внедрением в практику построения кабельной проводки многоканальных (групповых) ОР (изделия группы МТ/МРО, см. параграф 5.5.3). Их применение очень эффективно решает проблему механической блокировки неправильного подключения вилки к розетке и защиты сращиваемых ОВ от поворота в момент выполнения коммутации [145].

Для фиксации ОВ в осесимметричном наконечнике предусматривается круглое отверстие. В наконечниках с прямоугольной в поперечном сечении формой для выполнения этой операции могут быть использованы V-образные канавки, см. рис. 60.



Рис. 62. Вилка разъема типа BICONIC

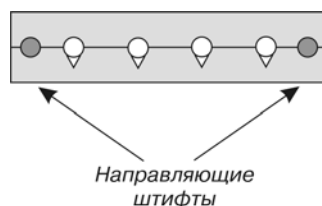


Рис. 61. Схема фиксации и выравнивания волокон в разъемах группы МТ/МРО

Торцевая поверхность наконечника выполняется обязательно с фаской. Это облегчает установку вилки в розетку. Кроме того, в собранном состоянии ОР между наконечниками в краевой их части остается свободное пространство, куда попадают частицы загрязнения, и торцевые поверхности наконечников за счет этого могут быть вплотную прижаты друг к другу.

По конструктивному исполнению наконечники делятся на моноблочные и композитные. Моноблочные наконечники (рис. 58) изготавливаются из одного материала, в качестве которого на практике применяются керамика, металл, пластмасса и в единичных случаях стекло. Керамические наконечники превосходят наконечники из других материалов по долговечности и стабильности при работе в широком диапазоне температур. Еще одно полезное для практики свойство керамики заключается в том, что она дает возможность достижения в процессе производства более жестких допусков на геометрические параметры, то есть меньших вносимых потерь. Наибольшее распространение для изготовления наконечников получили окись алюминия и окись циркония. Окись алюминия представляет собой более дешевый и хрупкий материал, который разрушается при незначительном давлении. Эксплуатацион-

ным преимуществом окиси циркония, которое обеспечивает его большую популярность на практике, является повышенная механическая стабильность и прочностные характеристики, а также меньший размер частиц исходного материала. Это улучшает качество полировки, что сказывается в первую очередь при монтаже в полевых условиях.

Использование пластмассы для изготовления наконечника обосновывается главным образом соображениями минимизации стоимости вилки за счет некоторого ухудшения параметров ОР по стабильности и вносимым потерям, которое еще допустимо в многомодовых изделиях. Некоторые типы разъемов имеют металлический наконечник, выполняемый, как правило, из нержавеющей стали, и по своим характеристикам занимают промежуточное положение между изделиями с керамическими и пластмассовыми наконечниками. Применение стеклянных наконечников оправдано главным образом в тех случаях, когда установку вилки на ОВ производят клеем, отверждающим под действием УФ излучения.

Стандарты СКС накладывают на ОР достаточно жесткие требования обеспечения заданных величин потерь и обратных отражений на протяжении не менее 500 циклов включения-отключения. Исходя из этого, в конструкциях вилок разъемов в подавляющем большинстве случаев применяются керамические наконечники.

Наконечники с составной или композитной конструкцией (рис. 59) распространены существенно меньше их моноблочных аналогов. В этой области известны следующие решения. Наконечник вилки ОР типа Е-2000 образован внешней керамической втулкой в сочетании с промежуточной инваровой (сплав Fe-Ni) гильзой и внутренней мельхиоровой вставкой¹ с каналом для волокна. В разработанных в СССР в середине 80-х гг. соединителях типа Лист — Булава основой наконечника является стеклянный капилляр, который заклеен во внешнюю центрирующую металлическую гильзу. Применение несколько более сложных в практической реализации композитных конструкций обосновывается следующими соображениями:

- наличие внешнего покрытия из износостойкого материала позволяет получить более высокую долговечность соединения в процессе эксплуатации;
- при недостаточном уровне технологической базы (особенно на ранних этапах развития техники волоконно-оптической связи) не удавалось достигнуть высотой точности изготовления в твердом материале центрального канала для фиксации ОВ;
- изготовление внутренней вставки из стекла дает возможность использовать в процессе полевой установки ОР несколько более удобные в работе клеевые составы, отверждающие под действием УФ излучения;

¹ Из-за характерной формы торцевой части такого наконечника, образованной выступающей частью внутренней гильзы и имеющей вид наплыва, в немецкоязычной технической литературе его иногда называют грибовым наконечником (Pilzferrule), или, сокращенно, PZF-наконечником.

- использование внутренней вставки из стекла за счет меньшей твердости этого материала по сравнению с керамикой несколько упрощает процедуру обработки наконечника при монтаже разъема в полевых условиях¹;
- применение многослойного наконечника с относительно мягкой внутренней частью позволяет технологическими средствами осуществить дополнительную юстировку световода и добиться за счет этого снижения вносимых потерь (подробнее см. параграф 5.3.7).

5.3.2. Элементы защиты от вращения цилиндрических наконечников и неправильного подключения вилок

Наличие физического контакта сращиваемых ОВ в ОР представляет собой одно из необходимых условий получения малого уровня потерь в сочетании с минимумом обратных отражений и стабильности этих параметров на протяжении всего срока службы кабельной системы. Обратной стороной наличия такого контакта является то, что ОВ в момент подключения и отключения механически взаимодействуют друг с другом. Это с большой вероятностью приводит к повреждениям их торцевых поверхностей и к ухудшению параметров соединения. Риск возникновения дефектов в значительной степени возрастает, если во время установки или отключения ОР происходит поворот ОВ, находящихся в физическом контакте, относительно друг друга. Этот эффект особенно характерен для вилок симплексных разъемов с крепежным элементом на основе гайки. Для предотвращения таких повреждений в конструкциях современных ОР обязательно предусматриваются элементы защиты наконечников от проворачивания (антивращательный механизм). Решение этой задачи на практике может быть достигнуто механической блокировкой вращательного движения наконечника при включении вилки и его полным устранением, то есть следующими способами:

- применением в конструкции вилки направляющего выступа, вводимого при установке в прорезь или в выемку на корпусе розетки, см. рис. 62;
- использованием вилок с цилиндрическим наконечником и с корпусом, форма которого отличается от осесимметричной;
- использованием наконечников, форма которых отличается от осесимметричной.

В двух последних случаях подключение вилки в розетку принципиально осуществляется только линейным движением.

Решения первой группы характерны для вилок симплексных ОР, крепление которых к розетке выполняется накидной или байонетной гайкой (разъе-

¹ В рамках реализации этого принципа в композитных наконечниках вилок ОР компании Corning стеклянная вставка выполнена даже несколько выступающей из торцевой поверхности керамического наконечника и должна в обязательном порядке сошлифовываться в процессе установки вилки с использованием клеевой технологии.

мы типа ST, FC, SMA и другие изделия первых поколений). Остальные два решения широко используются в современных конструкциях разъемов.

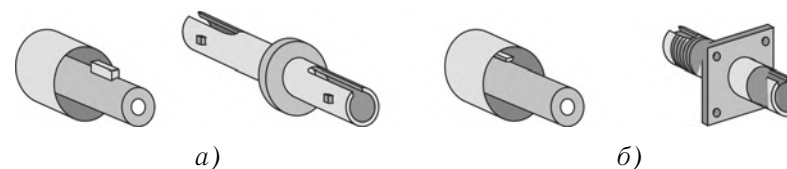


Рис. 62. Основные разновидности элементов блокировки вращения наконечников разъемов с круглым корпусом:
а) на основе радиального выступа вилки и прорези розетки;
б) на основе осевого ключевого выступа вилки и выемки розетки

Мероприятия по защите от неправильного подключения делятся на пассивные и активные, для их реализации используются различные технические средства.

Основой пассивных мероприятий являются различные цветовые маркирующие элементы и надписи, которые обеспечивают визуальный контроль правильности процесса коммутации. Эффективность технических средств данного уровня существенно увеличивается в случае применения систем интерактивного управления структурированной проводкой (см. параграф 8.2.1).

Активные мероприятия основаны на использовании различных элементов механической блокировки, которые препятствуют неправильному или некорректному подключению вилки к розетке. В этой области известны следующие решения:

- применение корпусов вилок несимметричной формы;
- использование направляющих выступов на вилках с линейным подключением к розетке;
- установка различных вставок и рамок, в том числе подвижных, часто выполненных в форме сменного адаптера и надеваемых как на вилку, так и на розетку;
- реализация оптических портов различного назначения (разных функциональных секций, подсистем и т. д.) на основе ОР различных типов.

В некоторых случаях сочетают активные и пассивные мероприятия. Так, например, блокирующие рамки адаптеров могут выполняться из пластмассы различных цветов.

5.3.3. Элементы и способы крепления вилки к кабелю

Вилки ОР обычно рассчитаны на установку на ОК для шнуров с защитным шлангом, имеющим внешний диаметр 2,5–3,0 мм. В случае монтажа вилки на ОВ в буферном покрытии 0,9 мм на него надевается трубчатый переходник

с внешним диаметром 2,5–3,0 мм, обеспечивающий соблюдение заданного радиуса изгиба световода в точке входа. В некоторых конструкциях функции этого переходника выполняет полимерный хвостовик. При отсутствии в комплекте вилки такого переходника его заменяют коротким отрезком защитного шланга кабеля для шнуров [146].

Для увеличения эксплуатационной надежности вилки при ее установке на ОК со шлангом диаметром 2–3 мм в конструкцию вилок некоторых ОР введена втулка длиной 3–5 мм с упорным фланцем. В процессе монтажа эта втулка надевается на буферную оболочку 0,9 мм ОВ и вдвигается «внатяг» под шланг таким образом, чтобы фланец вплотную прилегал к его обреза. Применение данного конструктивного решения обеспечивает свободное перемещение световода относительно внешнего защитного шланга в процессе сборки и эксплуатации разъема.

Вилки многих ОР изначально рассчитаны на установку только на определенный тип ОВ (например, в буферном покрытии диаметром 0,9 мм). В продажу поступают также несколько более дорогие универсальные конструкции, в которых при сборке в каждом конкретном случае используют только часть деталей.

В процессе установки вилки на кабель для шнуров из-за особенностей области эксплуатации обязательно должна быть обеспечена высокая механическая прочность крепления. Выбор способа крепления во многом определяет конструкцию хвостовой части вилки ОР. В этой области известны следующие основные решения, схемы которых изображены на рис. 63.



Рис. 63. Варианты исполнения элементов крепления вилки оптического разъема к защитным покрытиям кабеля:

- а) конусообразная юбка под обжимной инструмент;
 б) опорная гильза с гладкой поверхностью; в) опорная гильза с ребристой поверхностью; г) опорная гильза с дополнительным цилиндрическим выступом малого диаметра

У вилок первой группы предусмотрена широкая конусообразная тонкостенная металлическая юбка, которая в процессе сборки обжимается кримпирующим инструментом на защитный шланг ОК, см. рис. 63а. При таком подходе фиксация буферных покрытий и защитного шланга ОК осуществляется клеем и силой трения. Основным достоинством данной конструкции являются простота сборки, особенно для начинающих монтажников, и возможность предельного уменьшения габаритов. Главный недостаток, определяемый спо-

собом крепления к буферным покрытиям, состоит в малой прочности по отношению к вырывающим осевым механическим воздействиям.

Второй более распространенный подход основан на выполнении элемента крепления в форме толстостенной опорной гильзы цилиндрической формы относительно малого диаметра и имеет ряд разновидностей. Во всех вариантах исполнения конструкций данной группы опорная гильза, которая является логическим продолжением наконечника, по диаметру примерно соответствует диаметру шланга кабеля и не охватывает его в рабочем положении.

Еще одним обязательным компонентом является съемная тонкостенная металлическая кримпирующая гильза (рис. 63б). В процессе установки вилки упрочняющие кевларовые нити кабеля для шнуров укладываются на поверхность опорной гильзы, после чего на нее надвигается и обжимается кримпирующая гильза. В такой конструкции при воздействии вырывающего усилия сразу же начинают работать упрочняющие нити, что резко снижает вероятность разрушения соединения. Для дополнительного увеличения механической прочности шнуров в вилках некоторых типов ОР поверхность опорной гильзы выполняется ребристой или снабжается накаткой, что улучшает надежность фиксации кевларовых нитей. Длина кримпирующей гильзы близка к длине опорной гильзы. В некоторых конструкциях применяется удлиненное исполнение этого компонента, что позволяет осуществить ее обжим на поверхность опорной гильзы и на внешнюю оболочку кабеля для шнуров (рис. 63в). Прочность фиксации оболочки кабеля и эффективность механической защиты ОВ в месте входа его в вилку возрастают, если на конце опорной гильзы предусматривается цилиндрический выступ малого диаметра, вводимый под защитный шланг (рис. 63г). В изделиях с такой конструкцией обжим гильзы в процессе установки вилки в обязательном порядке осуществляется два раза: на опорную гильзу и на ее выступ.

Следует отметить, что существуют некоторые типы групповых ОР, в которых механическая прочность крепления вилки обеспечивается только за счет фиксации на внешний защитный шланг кабеля для шнуров. Такое крепление создается с помощью кримпирующего кольца или зажима цангового типа.

Конструкция вилки достаточно часто рассчитывается на работу с ОК определенного диаметра. В том случае, если в процессе изготовления монтажных шнуров вилка, обычно имеющая уменьшенную глубину корпуса за счет применения укороченного хвостовика, устанавливается на ОВ в буферном покрытии 0,9 мм, в некоторых англоязычных публикациях ее называют BTW-connector (от behind the wall). Аналогично вилка, рассчитанная на установку на кабель для шнуров, обозначается как jumper-connector. В отечественной технической литературе специальное название не используется и при необходимости просто в явном виде указывается внешний диаметр ОК, на который осуществляется монтаж.

5.3.4. Хвостовики вилок

Хвостовик представляет собой конструктивный элемент вилки ОР, изготовленный из эластичного полимерного материала. Он обычно имеет приближающуюся к цилиндрической коническую форму с некоторым уменьшением внешнего диаметра к дальнему от вилки концу и длину не более 3—5 см. Одним из факторов, определяющих эксплуатационную надежность шнуровых изделий, является выполнение норм по соблюдению радиуса изгиба ОК. Основным назначением хвостовика является обеспечение плавного перехода от оболочки кабеля шнура к корпусу вилки и обеспечение заданного радиуса изгиба в месте его входа в вилку, то есть в той области, которая является наиболее критичной по этому параметру.

На практике находят применение кабельные (standard boot) и волоконные (bare fiber boot) хвостовики, которые отличаются в основном длиной, толщиной стенок для придания необходимой жесткости и диаметром отверстия для прохода через него кабельного изделия (рис. 64).

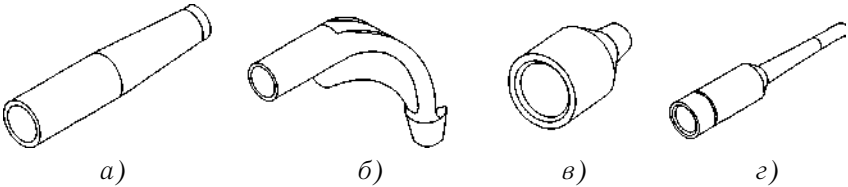


Рис. 64. Форма хвостовиков вилок оптических разъемов:
а) обычный прямой; б) угловой; в) короткий под кабель для шнуров;
г) для волокна в буферном покрытии 0,9 мм

Увеличение гибкости хвостовика в современных конструкциях часто достигается системой прорезей с перпендикулярной относительно друг друга ориентацией. В хвостовик вилок некоторых изготовителей (например, вилки ОР серии 943 компании Amphenol) дополнительно введена направляющая, принудительно обеспечивающая поворот кабеля на 90° с заданным радиусом, см. рис. 64б. Последнее свойство является полезным при подключении к розеткам оптических полков и некоторых конструкций настенных муфт с защитной шторкой.

В настоящее время на практике находят применение несколько типов ОК для шнуров, отличающихся между собой внешним диаметром защитного шланга (пример приведен в табл. 37). Для улучшения качества коммутационных шнуров, собираемых в полевых условиях, некоторые изготовители ОР снабжают вилки своей продукции удлиненным универсальным хвостовиком, в котором отверстие для прохода кабеля имеет коническую форму. В процессе установки вилки лишняя часть хвостовика срезается монтажным инструментом.

Часть вилок ОР старых типов крепится к розетке с помощью гайки (ST, FC). Для увеличения удобства коммутации французская фирма Radiall применяет в таких изделиях хвостовики, диаметр которых ступенчато несколько уменьшается в области, которая примыкает к корпусу вилки. Это обеспечивает более надежный захват крепежной гайкой пальцами.

Достаточно часто на хвостовик дополнительно возлагается функция обеспечения цветовой кодировки вилок, позволяющая гарантировать правильность подключения их к розеткам. Данное решение применяется в тех случаях, когда конструкция ОР не предусматривает формирования дуплексной вилки. Иногда данное решение специфицируется на уровне фирменного стандарта производителя. В качестве примера сошлемся на продукцию английской компании Brand-Rex (табл. 49). В этой ситуации при изготовлении шнуров заказываются отдельно хвостовики или непосредственно вилки с хвостовиками различных цветов.

Таблица 49. Маркировочные цвета хвостовиков вилок различных типов фирмы Brand-Rex

Тип разъема	Канал А	Канал В
ST	Черный	Красный
SC	Белый	Голубой
FC	Черный	Желтый
LC	Белый	Голубой

5.3.5. Розетки

Розетка образует гнездовую часть ОР. Конструктивно этот компонент состоит из корпуса с различными крепежными элементами и смонтированного в нем внутреннего центратора (sleeve).

Основным назначением центратора является выравнивание сращиваемых ОВ относительно друг друга. Известен ряд конструктивных разновидностей этого элемента. Наибольшее распространение на практике получили гильзовидные центраторы, которые осуществляют юстировку центрирующей гильзы по внешней поверхности наконечника. Центраторы данной разновидности выполняются по трем основным схемам. Первые две схемы предполагают использование цилиндрических гильз и отличаются друг от друга только тем, что в первом случае гильза выполняется жесткой (рис. 65а), тогда как во втором случае применяется разрезное исполнение этого элемента (рис. 65б). Розетки с разрезной гильзой имеют более сложную конструкцию. Этот недостаток полностью компенсируется тем, что за счет эластичности гильзы и возможности ее монтажа в корпусе розетки по плавающей схеме обеспечиваются меньшие усилия при вводе наконечника в центратор. Разрез центратора чаще всего

выполняется прямым. Переход на технологически более сложную диагональную форму разреза обеспечивает улучшение параметров разъема по стабильности характеристик [147]. Розетки с конической гильзой (рис. 65в) за счет увеличенного диаметра входного отверстия являются существенно более удобными в работе, однако это преимущество сводится к нулю из-за сложности конструкции.

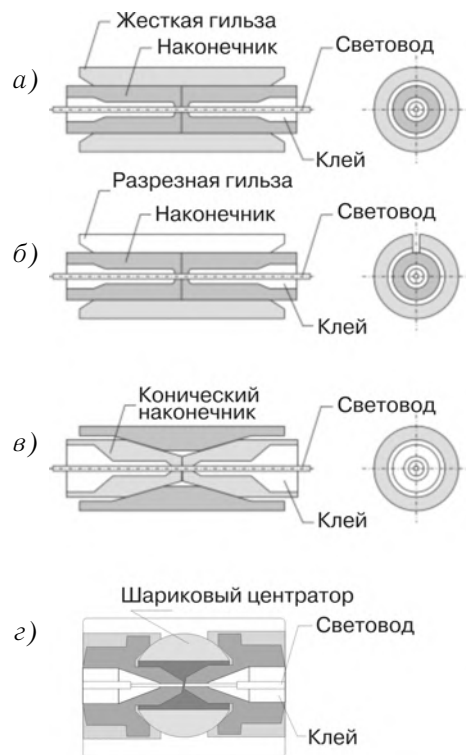


Рис. 65. Схемы реализации центраторов наконечников вилок оптических разъемов:

а) на основе жесткой гильзы; б) на основе разрезной гильзы; в) на основе гильзы конической формы; г) на основе шарикового элемента

В достаточно распространенных в Западной Европе ОР типа EZ центратор оформлен в виде шарика с просверленным в нем цилиндрическим отверстием (рис. 65г). В этом случае функции опорной поверхности при выравнивании выполняет внешняя поверхность центрирующего элемента.

В розетках ОР без армирующего наконечника также присутствует центратор, реализованный по безгильзовой схеме. Используемые в таких конструкциях решения рассмотрены в параграфе 5.5.4. В некоторых типах ОР главным

образом группового типа (например, МРО и МТ-RJ) взаимное выравнивание ОВ производится элементами, конструктивно являющимися компонентами вилок. В этих изделиях розетка выполняет только функции крепежной обоймы.

Аналогично вилкам розетки выпускаются в многомодовом и одномодовом исполнениях, которые отличаются друг от друга главным образом точностью выполнения центратора и материалом, применяемым для его изготовления. Разрезные гильзы многомодовых центраторов выполняются из фтористой бронзы, для изготовления одномодовых гильз используют керамику.

Установка розеток на панель коммутационного устройства осуществляется в монтажные проемы. Для симплексных ОР, разработанных в 80-х гг. прошлого столетия, форма этих отверстий отличается большим разнообразием (рис. 66). Более поздние разработки для достижения универсальности часто конструируются с возможностью монтажа в установочном гнезде 8-контактного модульного разъема кабелей из витых пар.

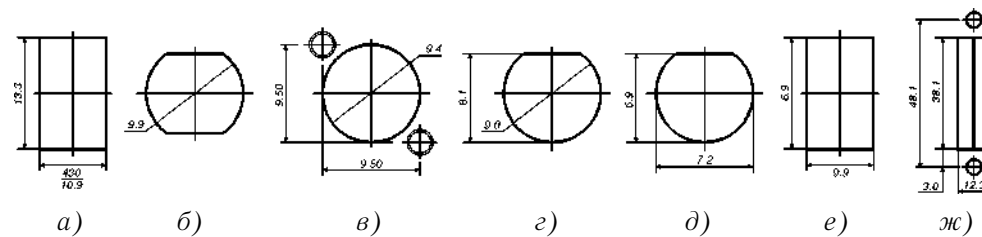


Рис. 66. Установочные отверстия розеток различных типов оптических разъемов первых поколений:

а) типа SC; б) типа ST; в) типа FC с квадратным фланцем; г) типа FC, вариант D; д) типа SMA; е) типа SC-D; ж) типа MIC

На корпусе розетки предусматриваются детали для фиксации вилки в рабочем положении (резьба, выступы байонетного фиксатора и др.) и элементы крепления на панели коммутационного устройства. Функции этих элементов могут выполнять резьба под гайку, фланец различной, преимущественно квадратной, формы с двумя — четырьмя отверстиями под винты M2 (square flange adapter или screw-in adapter) и защелка пластинчатого типа (snap-in adapter), причем использование для фиксации защелки характерно для розеток с корпусом из пластмассы. В некоторых моделях малых настенных муфт с пластмассовым корпусом установка розеток SC выполняется за счет наличия паза, куда вводится ее пластмассовый фланец. На своем штатном рабочем месте при открытой крышке корпуса муфты розетка в этом случае удерживается только силой трения. Иногда для расширения функциональных возможностей практикуется применение одновременно двух различных элементов фиксации, например защелки и фланца с отверстиями (ОР типов SC, Optoclip и т. д.).

Розетки ОР могут выпускаться с возможностью их крепления к вертикальной и горизонтальной панелям. Переход от одного типа крепления к другому осуществляется в этом случае простой заменой фиксирующей обоймы с отверстиями под крепежные винты.

Розетки ОР, вилки которых снабжены ключевым или защитным направляющим выступом, согласно действующим стандартам должны монтироваться таким образом, чтобы направляющие пазы для данного выступа были ориентированы в одну сторону, см. рис. 67. Доступные в ограниченном количестве на рынке дуплексные розетки с прорезями, ориентированными в противоположные стороны [148], относятся к продуктам, нестандартным с точки зрения нормативных документов СКС. Тем не менее в отдельных частных случаях они могут быть использованы как средство дополнительной механической кодировки и блокировки определенных портов.

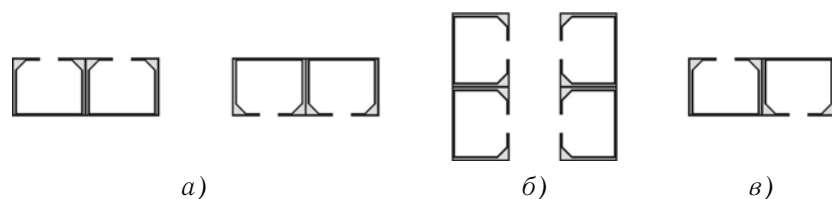


Рис. 67. Правила установки розеток оптических разъемов (на примере SC):
а) горизонтальный вариант; б) вертикальный вариант;
в) неправильно

В качестве средства визуальной идентификации одномодового и многомодового вариантов в розетках с пластмассовым корпусом (SC, LC, E-2000 и т. д.) используется цветовая кодировка по табл. 45. Одномодовая и многомодовая розетки с металлическим корпусом (например, ST) в большинстве случаев отличаются друг от друга только маркирующими надписями на упаковке и цветом защитного колпачка. Известны лишь единичные исключения из этого правила. Так, в частности, на внешней обращенной к пользователю части корпуса ST-розетки из оборудования СКС Systimax методом штамповки формируются фирменный логотип и аббревиатура SM и MM для многомодового и одномодового вариантов соответственно.

Стандарты СКС не конкретизируют материал, из которого изготавливается корпус розетки. Для этого в известных конструкциях используется металл (преимущественно латунь с никелевым покрытием) или пластмасса. В первом случае из-за высокой механической прочности улучшается эксплуатационная надежность. Розетки из полимерных материалов имеют несколько меньшую стоимость и позволяют применить эффективное цветовое кодирование.

Для защиты центрирующих элементов розетки от загрязнений, а также с целью блокировки попадания мощного лазерного излучения в открытое про-

странство розетки многих современных ОР снабжаются шторкой. Этот элемент может быть выполнен в форме внутренней дверцы (рис. 68) или по внешней схеме. Известно также исполнение защитной крышки в виде съемного элемента, фиксируемого на передней части розетки с помощью крепежной обоймы.

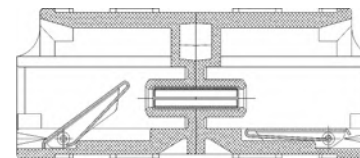


Рис. 68. Конструкция розетки симметричного оптического разъема с плавающим центратором и встроенной защитной шторкой (на примере разъема F-3000)

5.3.6. Защитные колпачки и крышки

Защитные колпачки являются обязательным элементом вилок и розеток основной массы типов ОР. Согласно требованиям стандарта ISO/IEC 11801:2002 они используются для защиты торцевых поверхностей наконечников вилок и гнездовой части розеток от попадания пыли и грязи во внерабочем состоянии.

Съемный защитный колпачок вилки может выполняться в двух основных разновидностях и закрывать так только ее центрирующий наконечник (рис. 69а), а также всю переднюю часть ее корпуса (рис. 69б). Второе решение относительно чаще встречается в случае вилок, наконечник которых сильно выступает из корпуса (например, ST и DIN). При этом колпачок обычно надевается внатяг на наконечник. В разъеме LC с наконечником диаметром 1,25 мм колпачок выполнен в виде вставки в круглое гнездо корпуса и механически не контактирует с наконечником. В некоторых типах вилок ОР конкретных производителей применяются колпачки сложной формы, которые надеваются на торцевую часть вилки и наконечник. Колпачок вилки является отдельной деталью, в некоторых разъемах преимущественно старых типов (MIC, отдельные варианты ST и FC некоторых производителей) он снабжается темляком и при подключенной вилке свободно висит на кабеле шнура.

К защитному колпачку вилки ОР предъявляются следующие требования, выполнение которых обеспечивает чистоту срачиваемых ОВ. Во-первых, в рабочем положении он не должен касаться торцевой части наконечника. Во-вторых, для его изготовления должен использоваться материал с достаточно высокой жесткостью. В противном случае из-за схлопывания в момент съема с вилки существует опасность попадания на торцевую часть наконечника достаточно большого количества пылевых частиц.

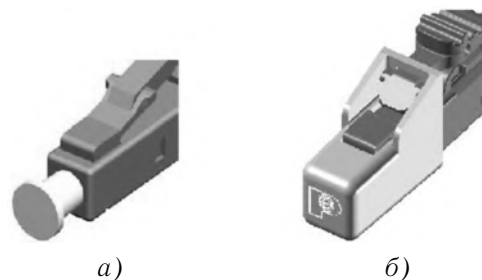


Рис. 69. Различные формы исполнения защитных колпачков вилок:
а) с защитой только наконечника; б) с защитой всей передней части вилки

В период после 2000 г. для вилок ОР, фиксация которых в розетке осуществляется внешней рычажной защелкой, большой популярностью стали пользоваться колпачки, изготовленные из тонкого жесткого пластика. Такой колпачок по форме повторяет гнездо розетки и за счет этого в рабочем положении гарантированно не касается торцевой части наконечника. Удобство эксплуатации изделия обеспечивается за счет того, что его установка в нужное положение сопровождается хорошо слышимым щелчком.

Вилки ряда современных ОР имеют защитные крышки, которые являются интегральной составной частью их конструкции. Наличие этого элемента делает ненужным применение защитного колпачка. В разъемах без центрирующего наконечника (см. параграф 5.5.4) из-за низкой механической прочности обнаженного ОВ применение в вилке интегральной защитной крышки является обязательным.

Колпачок розеток выполняет функции, аналогичные колпачкам вилок. Конструктивно эти элементы могут быть выполнены в форме надеваемого или навинчиваемого колпачка, а также вставки. Для увеличения надежности фиксации вставной колпачок может быть снабжен компонентами, взаимодействующими с соответствующими деталями корпуса розетки. На торцевой части колпачка может быть предусмотрен штырьковый выступ, наличие которого делает процесс его установки и удаления более удобным.

Достаточно часто на колпачок возлагаются функции элемента визуальной идентификации типа разъема. Так, в частности, многомодовые розетки обычно снабжаются защитными колпачками черного или красного цвета, а одномодовые — традиционного желтого.

Наличие крышки, автоматически закрывающейся при вынутой вилке, особенно важно в случае использования в оптических передатчиках сетевой аппаратуры мощных длинноволновых лазерных излучателей, так как она защищает глаза обслуживающего персонала. Для получения необходимых параметров всего разъема по величине обратного отражения при отключенной вилке шнура внутренняя поверхность такой крышки может быть выполнена скошенной (аналогичной наконечникам Angled PC).

В розетках современных ОР определенное распространение получило применение защитных крышек, которые являются интегральной составной частью их конструкции. Если первоначальный дизайн разъема не предусматривает наличия этого элемента, то крышка может являться компонентом адаптера или же интегрироваться в конструкцию розетки при ее модернизации. Так, в частности, в розетках SC серии 954 компании Amphenol применяется подпружиненная внешняя крышка. В розетках SC компаний Alcoa Fujikura и Krone защитная крышка реализована как составной элемент внешней кодирующей рамки, надеваемой на корпус.

5.3.7. Методы уменьшения потерь в оптических разъемах

Потери в ОР обусловлены рядом факторов (см. параграф 5.2.1). Значительная часть отдельных составляющих этих потерь может быть уменьшена до приемлемого для практики уровня выбором конструкции соединителя, совершенствованием технологии монтажа и соблюдением правил эксплуатации. Исключением являются принципиально неустраняемые потери, которые определяются наличием смещения осей сердцевины соединяемых ОВ.

Далее для определенности речь пойдет о наиболее распространенных на практике симметричных ОР с осесимметричными (в подавляющем большинстве случаев цилиндрическими) юстирующими наконечниками. Все приводимые для них положения могут быть без проблем распространены также на разъемы несимметричной схемы и изделия без центрирующих наконечников.

Юстировка ОВ в разъеме осуществляется косвенно за счет выравнивания наконечников в центраторе розетки. При таком способе соединения смещение осей сращиваемых волокон определяется эксцентриситетом сердцевины и оболочки, а также сердцевины и внешней поверхности наконечника. Свой вклад в возникновение эксцентриситета вносит технологический зазор, обеспечивающий ввод волокна в отверстие.

Конструкции ОР, применяемых в СКС, допускают выполнение юстировки, которая имеет своей целью снижение потерь за счет уменьшения величины эксцентриситета сердцевины ОВ и внешней поверхности наконечника. В настоящее время на практике используется несколько разновидностей реализации этой процедуры, которые отличаются друг от друга областью применения и типом исполнения образцовой вилки.

В процессе юстировки ОР оператор подключает его вилку к специально изготовленному мастер-шнуру. Образцовые вилки этого изделия могут быть выполнены в вариантах типа А и В. Вилка типа А изготавливается таким образом, чтобы ось волокна точно совпадала с осью центрирующего наконечника (рис. 70а). В образцовой вилке типа В ось волокна смещена вдоль радиуса в заранее заданном относительно ключа направлении примерно на половину интервала возможных отклонений (рис. 70б).

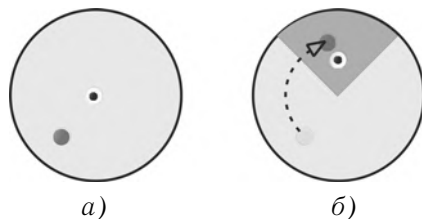


Рис. 70. Области нахождения центров сердцевин соединяемых волокон и волокна мастер-шнура при использовании образцовых вилок типов А и В:
а) непозиционированный разъем; б) позиционированный разъем

При производстве вилок с керамическим наконечником симметричных ОР используются образцовые вилки типов А и В.

Разъемы, которые в процессе изготовления контролируются с помощью вилки типа А, называются непозиционированными. Основной недостаток ОР данной разновидности состоит в том, что величина потерь зависит не от величины отклонения оси сердцевин каждого световода от оси симметрии, а от абсолютного расстояния между осями сращиваемых волокон пары при вилках, установленных в розетку. Таким образом, в пределе оно достигает удвоенного значения длины интервала возможных отклонений.

При производстве современных разъемов существенно более часто применяется технология юстировки, основанная на использовании образцовой вилки типа В с центром сердцевин волокна, смещенным примерно на половину радиуса возможных отклонений. Конструкция наконечника юстируемой вилки позволяет установить его в процессе сборки в одном из четырех (шести) угловых положений с угловым смещением 90° (60°). Выбор этого положения осуществляется по критерию минимума потерь, после чего наконечник фиксируют в корпусе вилки. В результате применения данной технологии осевое смещение сердцевин соединяемых ОВ не выходит за пределы определенного квадранта, задаваемого образцовой вилкой (схематически отмечен в виде сектора на рис. 70б). Вилки, собранные по такой схеме, иногда называются позиционированными, или калиброванными.

В случае использования непозиционированных разъемов величина ожидаемого отклонения осей сердцевин сращиваемых волокон составляет примерно $R/2$. При переходе на технологию юстировки с помощью образцовой вилки типа В ожидаемая величина расстояния между осями сращиваемых волокон может быть оценена величиной $(R/4)\sqrt{1 + (\pi/8)^2}$, то есть сокращается примерно в $\sqrt{2}$ раз. Таким образом, максимальное значение потерь не превосходит 0,7 дБ при типовом значении этого параметра 0,3–0,4 дБ. Метод юстировки с использованием образцовой вилки типа В рекомендован ИЕС в качестве стандартного для ОР на основе керамических наконечников.

В отличие от наконечников моноблочной конструкции в композитных наконечниках за счет пластичности материала внутренней вставки возможно применение других механизмов юстировки.

Так называемая пассивная юстировка не требует обязательного применения образцовой вилки, которая используется исключительно для контроля качества готового изделия. Суть этого механизма заключается в том, что после ввода ОВ в канал еще до затвердевания клея на торцевую часть мягкой центральной вставки наконечника воздействуют кольцевым штампом с треугольной в сечении формой рабочего органа. В результате выполнения данной процедуры наконечник плотно охватывает концевой участок волокна, уменьшая остаточный эксцентриситет сердцевин до величины допустимой производственными допусками неконцентричности сердцевин и оболочки (рис. 71). В современных многомодовых волокнах величина этого параметра на основании данных табл. 18 не превышает 3 мкм.

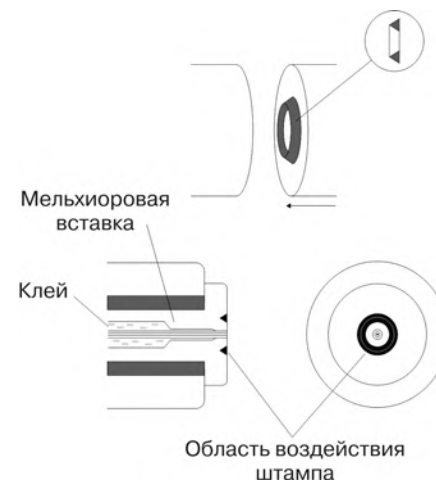


Рис. 71. Схема пассивной юстировки наконечника оптического разъема

Величина неконцентричности в 0,8 мкм, определяемая геометрическими параметрами одномодовых волокон, не может считаться пренебрежимо малой при их соединении в разьеме. Поэтому при работе с одномодовыми ОР в дополнение к пассивной юстировке может производиться процедура активной юстировки. Она выполняется после затвердевания клея и традиционной для клеевой технологии обработки торцевой поверхности наконечника, и основана на принудительном смещении оси волокна в геометрический центр наконечника, то есть туда, где в непозиционированных разъемах обеспечивается минимум потерь. Для реализации процедуры юстировки применяют другой

штамп в виде сектора с углом раскрыва 120° . В процессе выполнения подстройки штамп предварительно ориентируют таким образом, чтобы перемещением всей торцевой области наконечника за счет пластической деформации свести к минимуму величину остаточного отклонения осей волокна и наконечника (рис. 72). При типовой величине эксцентриситета оболочка — сердцевина современных световодов 0,8 мкм после выполнения процедуры активной юстировки гарантированно обеспечивается величина эксцентриситета сердцевина — наконечник не более 0,5 мкм, что соответствует средним потерям 0,12 дБ [149]. Разъемы данной разновидности называют иногда центрированными, а контроль качества их изготовления осуществляется с помощью шнуров, волокна которых оконцованы образцовыми вилками типа А.

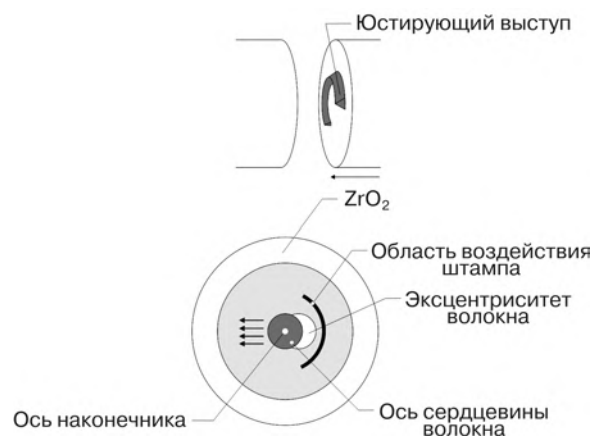


Рис. 72. Схема активной юстировки наконечника оптического разъема

5.4. Разъемы с обычной плотностью конструкции

5.4.1. Разъемы типа SC

ОР типа SC, см. рис. 73, был разработан в 1986 г. японской телекоммуникационной корпорацией NTT и первоначально предназначался для использования в абонентских устройствах различного назначения. В настоящее время разъем нормирован национальными стандартами Японии JIS C-5973 и США TIA/EIA-604-3. На международном уровне характеристики данного изделия задаются международными стандартами IEC-60874-14 (симплексный вариант) и IEC-60874-19 (дуплексный вариант).

ОР типа SC определен действующими редакциями стандартов СКС как основной тип разъемного соединителя для применения в конструкциях ИР в процессе построения кабельной проводки. С учетом этого обстоятельства

в американской технической литературе часто употребляется обозначение 568SC или TIA568-A [149].

Название изделия получено как аббревиатура от subscriber connector — абонентский разъем. Среди специалистов часто используются такие неофициальные расшифровки данного сокращения, как Stick-and-Click или Stab Click — вставь (линейным движением вперед) и защелкни, что очень хорошо передает характерные особенности этого типа ОР. Известна также трактовка аббревиатуры SC как subscription channel.

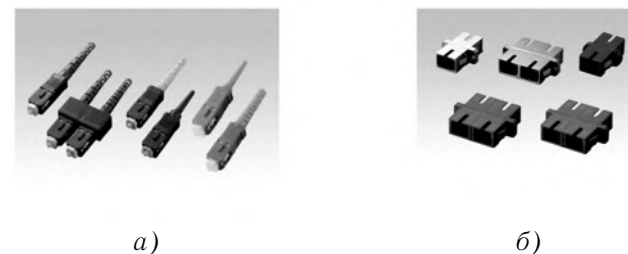


Рис. 73. Основные элементы разъема SC:
а) вилка; б) розетка

Основная идея, заложенная в конструкцию рассматриваемого ОР, состоит в создании устройства с пластмассовым корпусом, хорошо защищающим наконечник за счет его максимально полного охвата и обеспечивающим плавное подключение и отключение линейным движением (принцип push-pull). Используемый принцип коммутации делает этот разъем особенно удобным для применения в оборудовании, предназначенном для эксплуатации в технических помещениях, так как позволяет увеличить плотность портов за счет сближения осей розеток.

Подавляющее большинство вилок SC снабжается наконечниками из керамики диаметром 2,5 мм (0,1 дюйма) длиной 10,5 мм. Наконечник утоплен в корпус вилки и выступает из него всего на 1,9 мм, что достаточно эффективно предохраняет его от загрязнений. Унификация наконечника с разъемом FC [150] позволила сократить время разработки и уменьшить стоимость серийного изделия. На рынке известны также единичные образцы этих компонентов с наконечниками, которые изготовлены из нержавеющей стали.

Корпус вилки имеет ключ, который препятствует ее подключению к розетке в неправильном положении. В отличие от других конструкций, известных к моменту разработки разъема SC, ключ расположен на внешней поверхности корпуса и имеет форму направляющего выступа.

Защелка вилки выполнена по внутренней схеме и открывается только при вытягивании за корпус, что увеличивает эксплуатационную надежность создаваемого соединения. ОР типа SC обеспечивают большую стабильность пара-

метров (согласно стандартам должен выдерживать не менее 500 подключений и отключений без ухудшения нормативных характеристик). Этому в немалой степени способствует отсутствие эффекта углового поворота наконечников соединяемых вилок относительно друг друга при включении и отключении.

Розетка разъема SC изготавливается из пластмассы. Известны только единичные образцы соединителей с розетками из металла, что позволяет устранить основной недостаток стандартной розетки: малую механическую прочность. Однако невозможность применения цветовой кодировки типа разъема делает такое решение крайне мало популярным.

Конструкция розетки обычно предусматривает две возможности ее крепления. Первая из них основана на штатной двухсторонней металлической пластинчатой защелке (толщина стенки до 1,8 мм) и позволяет выполнять монтаж с внешней стороны лицевой панели. Второй вариант предполагает применение двух винтов M2 и может быть использован при толщине стенки до 12 мм.

Большой пластмассовый корпус вилки и розетки разъема SC позволяет применить эффективную цветовую маркировку типа изделия в соответствии с табл. 45.

ОР типа SC на уровне как вилки, так и розетки может быть выполнен в одинарном и двойном (дуплексном) вариантах. В последнем случае он достаточно часто обозначается как SC-D или DSC. Расстояние между осями наконечников вилок в двойном разъеме составляет 12,7 мм. Исходя из соображений получения удобства эксплуатации, стандарты СКС рекомендуют применять его в дуплексном исполнении.

Дуплексная вилка формируется из одинарных двумя различными способами. Первый из них основан на том, что на корпусе вилок предусмотрены штатные фиксаторы в форме компонентов неразборной защелки, которые взаимодействуют между собой в собранном состоянии. Достаточно часто применяется внешняя оправка. Она может быть выполнена в виде обоймы, состоящей из двух симметричных половин с фиксирующими защелками и гнездами для корпусов вилок. Известно также исполнение оправки в форме Н-образной детали, в боковые пазы которой под защелку вставляются вилки, см. рис. 74. Вариантом этой конструкции является Н-образная деталь с дополнительными фиксирующими боковыми дверцами, закрывающими пазы для установки вилок. Глубина корпуса всех рассмотренных выше конструкций составляет примерно 10–12 мм.

На крепежные оправки по умолчанию распространяется принцип цветовой кодировки, используемый в отношении других элементов ОР. В соответствии с этим подходом для формирования, например, дуплексной одномодовой вилки должна применяться оправка из пластмассы голубого цве-



Рис. 74. Варианты выполнения обойм для сборки дуплексных вилок SC

та. Наличие символической маркировки отдельных гнезд в виде букв А и В обеспечивает правильность установки вилок в обойму и корректность подключения дуплексной вилки к розетке.

В случае заводского производства коммутационных шнуров может применяться моноблочная дуплексная вилка (вариант duplex unibody). Основными преимуществами такого изделия по сравнению с прототипом являются высокая жесткость и стабильность конструкции.

В период после 2000 г. на практике большую популярность получило применение ОР в ключевом варианте, что позволяет обеспечивать механическую блокировку ошибочного подключения (см. параграфы 5.5.2 и 5.5.3). В изделиях SC этот принцип реализуется по двум схемам. Первая из них, применяемая в некоторых типах аппаратуры Fibre Channel, основана на уменьшении ширины ключевого выступа вилки и паза розетки у одномодового варианта разъема, что делает невозможным ошибочное подключение многомодового шнура к одномодовой розетке. Вторая более гибкая схема была внедрена в 2003 г. фирмой Kone, которой был предложен ключевой адаптер, надеваемый непосредственно на гнездо розетки и изготовленный из пластмассы различных цветов. Адаптер выполняет свои функции в том случае, если кодирующая рамка соответствующего цвета надевается также на вилку.

5.4.2. Разъемы типа ST

ОР типа ST (от Straight Tip Connector, то есть прямой разъем) был создан лабораториями Bell компании AT&T в 1985 г. в качестве замены устаревшего к этому моменту биконического разъема этого же разработчика. В зарубежной технической литературе аббревиатуру ST иногда трактуют как Single Termination [151], среди специалистов широко используются такие неофициальные расшифровки этого сокращения, как Stick-and-Twist или Stab-and-Twist (вставь и поверни).

До середины 90-х гг. прошлого века ОР типа ST имел наибольшее распространение в оптических подсистемах СКС и ЛВС. Изделие в настоящее время нормируется национальным стандартом США TIA/EIA-604-2 и международным стандартом IEC 60874-10 [152]. Может применяться для работы с многомодовыми и одномодовыми ОК [153, 154]. Его конструкция основана на керамическом наконечнике длиной 12,7 мм и диаметром 2,5 мм с выпуклой торцевой поверхностью для достижения физического контакта сращиваемых ОВ, см. рис. 75. После установки вилка фиксируется в рабочем положении в розетке подпружиненной байонетной гайкой, которая для перевода в закрытое состояние поворачивается на $1/4$ оборота по часовой стрелке. Поэтому в части публикаций, преимущественно документах нормативно-технического характера, наряду с ST используют применяемое в стандарте IEC 60874-10 альтернативное наименование этого соединителя как BFOC/2,5 (от bayonet fiber optic connector, то есть байонетный ОР с наконечником диаметром 2,5 мм).



а)



б)

Рис. 75. Основные варианты исполнения отдельных компонентов разъема ST: а) вилки; б) розетки

Лабораториями Bell были разработаны три варианта вилок рассматриваемого изделия: ST, STII и STII⁺¹, которые полностью совместимы друг с другом по посадочным местам в розетке и имеют непринципиальные с точки зрения пользователя кабельной системы конструктивные отличия, улучшающие их эксплуатационные свойства по мере перехода к более совершенной модели. Так, в частности, гайка байонетного фиксатора вилки ST имеет открытый в осевом направлении шлиц. У обоих более поздних вариантов разъема этот шлиц из соображений увеличения механической прочности гайки закрыт перемычкой (closed coupling nut), см. рис. 76. В изделии STII+ достигнута полная развязка наконечника от кабеля, то есть действующие на кабель любые осевые механические усилия не передаются на наконечник.

На практике известны многочисленные варианты конструкций ST разъемов, отличающихся от прототипа в основном формой и материалом байонетного фиксатора, а также принципом крепления корпуса вилки к буферным оболочкам и защитным покрытиям ОВ. Достаточно часто для их обозначения применяется термин ST-совместимая конструкция (ST-Style в англоязычных публикациях).



а)



б)

Рис. 76. Варианты конструктивного оформления гайки байонетного фиксатора вилки разъема ST: а) с закрытой прорезью; б) с открытой прорезью

Металлический корпус вилки и розетки разъема ST обеспечивает ему высокую механическую прочность, однако существенно затрудняет его кодировку и идентификацию. Известны лишь единичные образцы этого изделия одной фирмы с гайкой байонетного фиксатора из желтого и белого металла (решение швейцарской компании Brugg). Иногда на корпусах розеток методом

штамповки формируются буквы SM и MM для одномодового и многомодового вариантов соответственно. Большой простор в этом вопросе предоставляет использование в конструкции вилки пластмассовой байонетной гайки, однако при этом теряется преимущество высокой механической прочности изделия. Некоторые компании предлагают вилки ST с хвостовиками из пластмассы разного цвета (рис. 75а), достаточно часто на практике применяются также различные кольца, гильзы и другие аналогичные изделия, которые не являются штатными маркирующими элементами. Данная операция заметно облегчается, если защитный хвостовик не входит в комплект поставки и заказывается отдельно. Для обозначения вилок ST, не имеющих хвостовика в заводской упаковке, французская компания Radiall даже использует специальный термин level «zero» connector.

Крепление розетки в панели коммутационного устройства осуществляется гайкой, накручиваемой на корпусную резьбу. Существенно реже встречаются элементы крепления фланцевого типа.

Конструкция разъема ST принципиально не обеспечивает возможность формирования дуплексной вилки. Соответственно его розетка выпускается основной массой производителей в одиночном варианте. В качестве немногочисленных исключений, подтверждающих это правило, можно сослаться на сдвоенные розетки в одном корпусе компаний Nexans, 3M и Telegartner. Вероятно, из соображений унификации с разъемами SC в этих изделиях расстояние между осями принято равным 12,7 мм, см. рис. 75б.

Преимуществами ОР типа ST является низкая цена в сочетании с простой монтажной и подключения, а недостатками:

- сильно выступающий из корпуса (на 7,9 мм) наконечник увеличивает вероятность его загрязнения;
- отсутствие двойного варианта усложняет процесс подключения дуплексных шнуров и вероятность ошибки при коммутации;
- отсутствие цветовой или другой заводской маркировки затрудняет идентификацию розеток и вилок;
- вращение байонетной гайки фиксатора в процессе коммутации сопровождается трением наконечников вилок, что ведет к повреждению полировки сердцевин ОВ с образованием многочисленных царапин и в конечном итоге к увеличению вносимого затухания и уровня обратного отражения после многократных подключений и отключений;
- принцип фиксации на основе байонетной гайки, во-первых, требует значительного свободного места на панели в области установки розетки (finger space), что принципиально не позволяет увеличить плотность портов выше определенного предела и, во-вторых, не обеспечивает необходимой для некоторых приложений стабильности параметров при вибрационных воздействиях [153].

¹ Данные обозначения не стандартизованы. В литературе встречаются также такие варианты наименования этих изделий как STI, STII и ST3.

Для частичной защиты наконечников от трения при подключении на узле фиксатора наконечника вилки предусмотрен боковой цилиндрический ключевой выступ, вводимый в прорезь корпуса розетки.

Высокая популярность разъема привела к тому, что он зачастую используется в качестве основы разработок, в котором исправлены некоторые из перечисленных выше недостатков. В ОР типа ST Security применен внешний кожух с винтовым креплением, которое эффективно защищает соединитель от воздействия пыли и позволяет эксплуатировать его при высоком уровне вибраций. Компания 3М вместо крепления байонетной гайкой использовала механизм типа push-pull, аналогичный разъему SC. От SC предложенное изделие визуально отличается в первую очередь несколько большими габаритами корпуса (сечение 11×11 мм) и сильно выступающим из него наконечником.

5.4.3. Разъемы типа FC

ОР типа FC (от Fiber Connector), см. рис. 77, был разработан в 1980 г. японской корпорацией NTT (Nippon Telegraph & Telephone)¹. В настоящее время его параметры определены международным стандартом IEC60874-7 [156] и американским стандартом TIA/EIA-604-4. Это изделие может применяться для армирования как одномодовых, так и многомодовых ОВ. Тем не менее наибольшую популярность разъем получил в одномодовой технике, используемой в телекоммуникационных системах различного назначения, которые эксплуатируются на сетях связи общего пользования.

Наконечник имеет диаметр 2,5 мм и в большинстве случаев изготавливается из керамики. В ограниченном количестве на рынок поступают также многомодовые изделия этого типа с наконечниками, выполненными из металла или по композитной схеме из металла и керамики. Для крепления вилки на розетке используется круглая накидная гайка M8 × 0,75.

Вилки изделия в момент начала его серийного производства комплектовались наконечником с плоской торцевой частью (вариант FC-NC, от pop-contacting), что не позволяло получить хорошие эксплуатационные параметры и в первую очередь стабильное затухание и величину обратных потерь. Для улучшения эксплуатационных характеристик был осуществлен переход на наконечник со скругленным торцом, наличие которого гарантированно обеспечивает физический контакт срачиваемых световодов. После этого ОР получил название FC-PC (PC — Physical Contact), которое позволяло отличать его от более ранних конструкций. В настоящее время разъемы FC с плоской торцевой частью наконечника более не производятся, и поэтому названия FC и



Рис. 77. Вилка разъема FC

FC-PC являются эквивалентными. Сначала радиус скругления торцевой поверхности составлял 60 мм, затем он был уменьшен до 20 мм.

Конструкция разъема обеспечивает надежную защиту наконечника от загрязнений, а применение для фиксации накидной гайки дает большую герметичность зоны срачивания волокон и надежность соединения при воздействии вибраций. Данное свойство позволяет успешно применять соединитель на подвижных объектах. Главным недостатком изделия наряду с несколько неудовлетворительными для современных ОР массогабаритными показателями считается неудобство работы из-за необходимости выполнения нескольких оборотов крепежной гайки во время включения — отключения. Это привело к тому, что среди западных специалистов сокращение FC получило неофициальную образную трактовку как Finger stamp — сводит пальцы [157].

ОР типа FC интересен также тем, что является фактически первым серийным изделием массового применения, в котором предусмотрены постоянные штатные средства механической блокировки неправильного подключения. Элемент защиты наконечника от вращения при коммутации выполнен в виде ключевого выступа, который при подключении вилки входит в соответствующий вырез на корпусе розетки. Согласно стандартам IEC ширина выреза составляет 2,15 мм. Некоторые компании выпускают продукцию, в которой для придания свойства защиты от некорректной коммутации применяется различная ширина этого элемента. Так, например, согласно стандарту японской компании Seiko Instruments ширина ключевого выреза розеток, предназначенных для подключения вилок с полировкой PC, составляет 2,4 мм, а розеток для подключения вилок с полировкой APC в варианте так называемого wide key — 2,03 мм, а в варианте narrow key — 2,15 мм.

На практике достаточно широко применяется вилка FC, ориентированная на изготовление монтажных шнуров. От обычных вилок это изделие (FC(S) компании ПТ+, FC Mini фирмы Fiber Source и т. д.) отличается несколько меньшими габаритами и может устанавливаться только на ОВ в буферном покрытии диаметром 0,9 мм.

Розетка разъема FC выпускается в двух основных разновидностях: типа SF (иначе типа NTT) с квадратным фланцем и креплением двумя винтами M2 и типа RF с круглым фланцем и креплением под гайку при толщине стенки до 2 мм. Последний вариант данного изделия иногда называется розеткой D-типа. Отметим, что розетка D-типа может устанавливаться на панели с посадочными отверстиями под розетки ST.

5.4.4. Разъемы типа MIC и ESCON

Дуплексный ОР типа MIC (от Medium Interface Connector)¹ создан в 1984 г. и реализован на основе керамических наконечников с номинальным диаметром

¹ На основании этого в некоторых зарубежных публикациях это изделие даже называют ОР стандарта NTT-FC.

¹ Разъемы MIC, выпускаемые компанией AMP, носят название FSD (fixed shroud duplex).

2,5 мм, которые смонтированы в его корпусе по плавающей схеме. На международном уровне параметра разъема нормированы стандартом IEC 61764-12. В настоящее время изделие считается устаревшим в первую очередь из-за своих значительных габаритов и не встречается в новых инсталляциях. Этот разъем интересен прежде всего тем, что явился первым групповым вариантом ОР, получившим массовое применение на практике в области ЛВС.

Изделие было разработано специально для использования в сетях FDDI и было первоначально нормировано стандартом ANSI X3T9.5. Его вилка изготавливается из пластмассы (рис. 78а), снабжена фиксатором с двухсторонней внешней защелкой. Подключение и отключение вилки производятся линейным движением, а ее корпус хорошо защищает торцы наконечников от загрязнения. Входящая в гнездо розетки часть корпуса имеет несимметричную форму, то есть не может быть подключена к розетке в неправильном положении (механическая блокировка). Крепление кабеля в корпусе вилки выполняется обжимным кольцом или пластмассовым зажимом цангового типа.



Рис. 78. Вилки duplexных разъемов первого поколения: а) типа FDDI; б) типа ESCON

Разъемы типа MIC являются первыми серийными ОР массового применения, имеющими сменные штатные средства механической кодировки для задания типа порта самим пользователем. Элементы кодировки имеют форму сменных ключей, изготовленных из цветной пластмассы, которые устанавливаются в центральный направляющий паз вилки и в соответствующее гнездо розетки. С учетом типа портов сетевого интерфейса FDDI и правил подключения отдельных рабочих станций для вилки разъема MIC в общем случае предусматриваются кодирующие вставки шести различных разновидностей, а для кодирования розетки может быть использовано четыре такие вставки (рис. 79). В принципе, можно обойтись четырьмя типами вставок, которые позволяют закодировать MIC разъем только для подключения к одному из портов А (красная вставка), В (синяя вставка), М (зеленая вставка) и S (черная вставка) сетей FDDI. К каждой вилке обычно прикладываются три первые из перечисленных вставки. Эти элементы в большинстве конструкций хранятся в барабанном держателе. Держатель входит в комплект поставки каждой вилки и имеет корпус с центральным отверстием, через которое надевается на кабель шнура в процессе оконцевания ОВ. Компанией AMP внедрено в практику более эф-

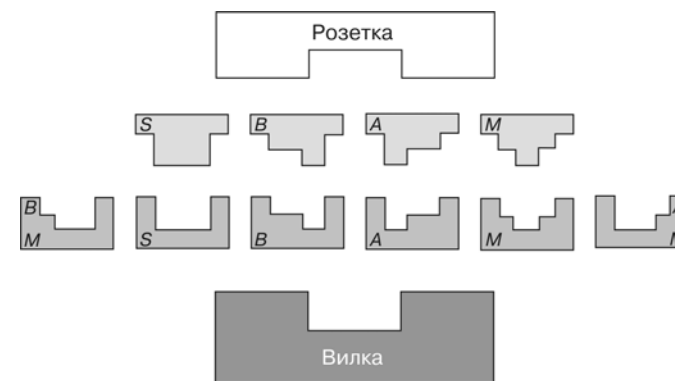


Рис. 79. Система сменных вставок разъемов типа MIC

фективное решение, согласно которому неиспользуемые вставки фиксируются в гнездах в торцевой части защитной крышки.

В системах, которые реализованы в соответствии со стандартом PMD-SMF, применяется одномодовый вариант разъема MIC. В этом случае при маркировке ОР перед типом порта иногда указывают индекс S (от singlemode — одномодовый), то есть используется, например, обозначение MIC-SA.

В середине 90-х гг. прошлого века компанией AMP был разработан усовершенствованный вариант MIC разъема. Модернизация коснулась только задней части его корпуса, которая находится в рабочем положении вне гнезда розетки. От своего предшественника он отличается уменьшенной длиной корпуса и отогнутым под углом 45° хвостовиком для ввода кабеля. По замыслу разработчиков эти нововведения должны увеличить удобство работы с оптическими кабельными системами при большой плотности портов сетей FDDI.

Основной областью использования разъемов MIC является аппаратура системы FDDI. Формально они допускаются также для применения в аппаратуре 100BaseFX, однако серийное оборудование этой системы, снабженное разъемами обсуждаемого типа, неизвестно.

ОР типа ESCON (сокращение от Enterprise Systems Connection) разработан компанией IBM в 1990 г. для применения в одноименном интерфейсе, нормирован стандартом IBM SA22-7202-00 и используется главным образом в процессе организации оптических каналов связи между контроллером большой ЭВМ и внешним накопителем [158]. По своей конструкции, оптическим параметрам и массогабаритным характеристикам очень близок к разъему MIC. Основное отличие состоит в наличии подвижного кожуха на переднем конце корпуса вилки (рис. 78б). Этот элемент закрывает наконечники, армирующие ОВ, и сдвигается назад только в момент подключения к розетке. Вариант разъема ESCON, сконструированный компанией AMP, носит название RSD (от Retractable Shroud Duplex).

В настоящее время разъем ESCON, так же как и разъем MIC, считается устаревшим, однако в явном виде или в форме адаптера присутствует в составе штатного оборудования некоторых СКС. Изделие используется в тех случаях, когда возникает необходимость подключения к сети больших объемов активного оборудования IBM.

5.4.5. Разъемы типа SMA

ОР типа SMA, или, точнее, FSMA¹ (от Fiber sub-miniature assembly или Fiber sub-miniature Typ A), см. рис. 80, был разработан еще в конце 70-х гг. американской компанией Amphenol и не утратил своей популярности спустя 20 с лишним лет. Он интересен в первую очередь тем, что является одним из первых стандартизованных на национальном и международном уровнях разъемных оптических соединителей [159]. В настоящее время параметры данного изделия нормированы международным стандартом IEC-60874-2. ОР этого типа представляет собой удачную попытку адаптации на новую область принципов, хорошо отработанных в процессе создания радиочастотного разъемного соединителя SMA. Соединитель имеет две разновидности, обозначаемые как SMA-905 (FSMA-I, FSMA5 или FSMA straight barrel) и SMA-906 (FSMA-II, FSMA6 или FSMA step-down barrel), которые отключаются друг от друга формой концевой участка наконечника. Использование в изделии SMA-906 наконечника ступенчатой формы позволило несколько улучшить его эксплуатационные параметры, см. рис. 80. Крепление вилки к розетке осуществляется шестигранной (Hex Nut) или, реже, круглой (Knurl Nut) накидной гайкой с резьбой M8 × 0,75.



Рис. 80. Вилка разъема типа SMA:

- а) вариант FSMA-905 с круглой крепежной гайкой;
б) вариант FSMA-906 с шестигранной крепежной гайкой

Первоначально разъем SMA предназначался для использования только при организации многомодовых трактов и его вилка была реализована на основе металлического наконечника диаметром 3,175 мм ($1/8$ дюйма) с плоской торцевой поверхностью, что не позволяло гарантировать физический контакт срачиваемых ОВ. Затем в части изделий этот недостаток был устранен за счет использования наконечников из металла или керамики, имеющих сфериче-

скую торцевую поверхность. Кроме того, применение керамических наконечников позволило получить в разьеме FSMA уровень параметров, достаточный для его применения в качестве элемента одномодовых трактов.

В конструкции разъема не предусматриваются компоненты, препятствующие вращению наконечника при установке, что негативно сказывается на величине вносимого затухания и его долговременной стабильности. Таким образом, характеристики соединителя не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к ОР для СКС. Кроме техники, ЛВС и СКС разъем рассматриваемого вида достаточно широко применяется в западноевропейских странах и США в промышленных системах, медицинской и военной технике, где нормирован стандартом MIL-C-83522. Этому в немалой степени способствует то, что за счет применения специальных конструктивных мероприятий степень защиты срачиваемых ОВ может быть доведена вплоть до уровня IP-65 [160].

Из-за особенностей конструкции разъем SMA в настоящее время считается устаревшим. Розетками ОР этого типа оборудуется активное оборудование Ethernet и модемов со скоростью передачи не выше 2 Мбит/с, которые выпускаются главным образом американскими компаниями.

5.4.6. Разъемы типа DIN

Разъемы типа DIN (от англ., *Digital Interface Network*), называемые иногда разъемами LSA и LSB (от нем. *Lichtwellenleiter Steckerverbinder*, то есть волоконно-оптический штекерный разъемный соединитель, вариант **A** или **B**), разработаны фирмой Siemens для применения на сетях связи Германии, определены немецкими стандартами DIN 47256 и DIN 47255, а также международным стандартом IEC-60874-6. Основой соединителя изначально являлся керамический наконечник диаметром 2,5 мм со скругленной торцевой поверхностью для обеспечения физического контакта. Фиксация вилки в розетке выполняется круглой накидной гайкой M5,5 × 0,5 внешним диаметром 7 мм с накатанной верхней поверхностью. Конструктивная схема изделия ориентирована в основном на одномодовые приложения.

ОР типа DIN интересен в первую очередь тем, что являлся фактически первым оптическим соединителем массового применения, в технических требованиях к которому заказчиком было заложено положение о предельной минимизации внешних габаритов без ухудшения прочих эксплуатационных параметров. В настоящее время ОР этого типа считается устаревшим и постепенно вытесняется из практического использования. В технике СКС встречается редко и главным образом в тех случаях, когда оборудование для реализации кабельной системы производится в немецкоязычных странах или же предназначено для применения на их территории. Достаточно широкое распространение этот тип ОР получил также в Австралии.

¹ Встречается также написание этой аббревиатуры как F-SMA и FSMA.

5.5. Разъемы с увеличенной плотностью конструкции

Общим недостатком дуплексного ОР типа SC, в явном виде предписываемого действующими редакциями стандартов СКС для использования в оптических подсистемах, являются достаточно большие габариты. Это не позволяет получить на коммутационных панелях и сетевом оборудовании плотность портов, которая по крайней мере эквивалентна электрическим решениям. Далее рассматривается ряд серийных конструкций, как минимум не уступающих в розеточной части по плотности монтажа модульным разъемам медножильной подсистемы СКС и в большем или меньшем объеме внедренных в широкую инженерную практику. Все эти изделия объединяет одно общее свойство: их розетка в дуплексном варианте (или элемент, ее заменяющий) по своим посадочным местам полностью соответствуют розетке модульного разъема кабелей из витых пар и, в некоторых случаях, является с ней взаимозаменяемой. Подобное свойство позволяет, наряду с увеличением плотности портов, стандартизировать с электрическими решениями также элементы монтажа в панели коммутационного устройства рабочего и технического помещения.

Работы по созданию ОР с улучшенными массогабаритными показателями конструкции (оптические разъемы группы SFF) проводились по четырем основным направлениям:

- применение наконечников уменьшенного до 1,25 мм диаметра, что позволяет минимизировать габариты остальных деталей вилки и розетки;
- использование принципа более или менее глубокой модернизации серийного изделия с миниатюризацией отдельных компонентов и увеличением плотности монтажа;
- применение решений, наработанных в процессе создания групповых или многоканальных разъемов;
- отказ от использования центрирующего наконечника.

В основной своей массе рассматриваемые далее конструкции в шнуровой части рассчитаны на совместную работу с ОК, внешний диаметр которых не превышает 3 мм. Только в этом случае удастся в полной мере реализовать их преимущества по хорошим массогабаритным показателям.

Отметим также еще одно немаловажное для практики свойство ОР нового поколения: за счет технологических усовершенствований и меньшего расхода материалов цена этих изделий оказывается по состоянию на начало 2000 г. в среднем на 30% меньше стоимости традиционных соединителей [161].

5.5.1. Конструкции с наконечниками диаметром 1,25 мм

Одним из наиболее известных представителей первого направления совершенствования оптических соединителей с увеличенной плотностью конструкции является ОР типа LC. Компонент данной разновидности был разработан

Таблица 50. Основные технические характеристики разъемов с наконечниками диаметром 1,25 мм

Тип разъема	LC-MM	LC-SM	F-3000-MM	F-3000-SM	F-3000-SM-APC	LX.5-MM	LX.5-SM	LX.5-APC	MU-SM
Средние потери, дБ	0,1	0,1	0,15	0,15-0,2	0,15-0,2	0,2	0,12	0,12	0,09
Среднеквадратичное отклонение потерь, дБ	0,1	0,07	0,1	0,1	0,1	-	-	-	0,07
Коэффициент отражения, дБ	-50	-40	-50	-70...-85	-20	-49	-85	-52,1	
Изменение потерь после 500 циклов соединения-разъединения, дБ, не более	0,2	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Изменение потерь в диапазоне температур -40...+75 °С, дБ, не более	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-
Материал наконечника	Керамика	Керамика+мельхиор или керамика	Керамика	Керамика					

по заказу американской компании Lucent Technologies в 1996 г. [162] и нормирован американским стандартом TIA/EIA-604-10-A (FOCIS 10). На международном уровне разъем описывается стандартом IEC 61754-20.

Свое название изделие получило от английского выражения Link Control, достаточно распространена неофициальная расшифровка этой аббревиатуры как Lucent Connector по имени заказчика разработки. Встречается также основанная на небольших размерах и характерной форме вилки трактовка сокращения LC как Little Click — маленькая защелка.

Разъем может выпускаться как в одномодовом, так и в многомодовом вариантах. Его предельно простая конструкция выполнена в традиционном стиле и основана на применении вилки с пластмассовым корпусом уменьшенных габаритов и прямой внешней защелкой рычажного типа для фиксации в гнезде соединительной розетки (рис. 81). Изделие допускает как одиночное, так и дуплексное использование. В дуплексном варианте расстояние между центрами наконечников составляет 6,25 мм. Для сборки дуплексной вилки из двух одиночных обычно используется фиксирующая обойма, конструктивно выполненная аналогично обойме для вилок SC.



Рис. 81. Разновидности конструкции корпуса вилки разъема типа LC:
а) обычный симплексный; б) дуплексный моноблочный (duplex uniboot)

В тех ситуациях, когда производитель предусматривает только дуплексное использование разъема и заводскую установку его вилок на круглый 2-волоконный кабель, возможно применение моноблочного корпуса с общим интегральным хвостовиком (вариант duplex uniboot компании FiberSource), см. рис. 81б.

Розетка ОР типа LC наряду с традиционными для рассматриваемой области применения симплексным и дуплексным вариантами может иметь также счетверенное исполнение, см. рис. 82. Такую конструкцию применяют компании Leviton и Hubbell в тех ситуациях, когда необходимо получить повышенную плотность портов. Изделие изначально конструировалось для установки в монтажные проемы для дуплексной розетки SC.

Стандарт FOCIS 10 предусматривает реализацию ОР типа LC в обычном и ключевом вариантах. Ключевое исполнение в том варианте, который нормирован стандартом, отличается от обычного только наличием в передней части корпуса вилки кодирующего выступа, который входит в соответствующее гнездо

розетки [163]. В 2005 г. американская компания NORDX ввела в состав производимой ею СКС типа IBDN ключевую версию разъема LC, продвигаемую под наименованием Secure/Keyed LC System. Изделие доступно в шести различных вариантах, визуально отличающихся цветом корпуса вилки и розетки. В отличие от других дуплексных ключевых разъемов в данном изделии элементы механического кодирования выполнены по внутренней схеме. Конструктивно они реализованы в виде несимметричного исполнения внутренней гнездовой области корпуса в той его части, которая охватывает центрирующий наконечник.

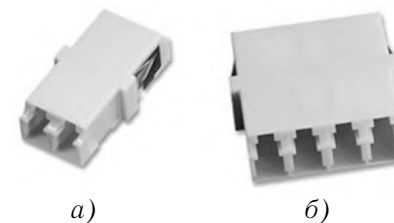


Рис. 82. Варианты исполнения розетки разъема LC:
а) дуплексный; б) счетверенный

Большая популярность разъема LC привела к появлению многочисленной группы обратно совместимых изделий, в которых улучшены различные потребительские параметры прототипа. Разъем LC швейцарской компании Huber+Suhner отличается возможностью установки на заднюю часть корпуса симплексной и дуплексной вилки кодирующей обоймы, которая изготавливается из пластмассы 12 различных цветов и облегчает идентификацию в процессе эксплуатации.

В 2003 г. компанией Panduit предложен вариант вилки разъема LC, отличающийся от прототипа «обратной» схемой исполнения фиксирующей защелки (rear pivot latch). Такая конструкция (рис. 83б) в случае одиночной вилки устраняет характерный для первоначального варианта эффект цепляния рычага защелки за кабели других шнуров и делает процесс эксплуатации существенно более удобным [164].

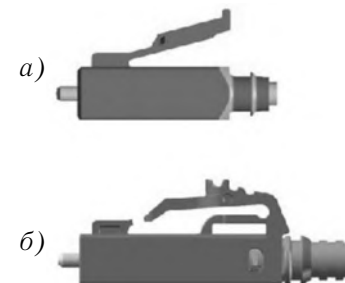


Рис. 83. Варианты исполнения фиксирующей защелки вилки разъема LC:
а) традиционная конструкция; б) вариант rear pivot latch компании Panduit

В 2005 г. немецкая компания Euromicron продемонстрировала вилку одномодового разъема LC с металлическим корпусом. Модернизация проведена с целью увеличения стабильности характеристик изделия. Пластиковый кожух, надетый на переднюю часть вилки, взаимодействует с корпусом розетки и используется только для цветовой кодировки и установки защелки.

ОР типа MU (от Miniature Unit) японской телекоммуникационной корпорации NTT был разработан в 1993 г. Изделие по своей конструктивной схеме может рассматриваться как малогабаритный вариант разъема SC, что подчеркивается в некоторых публикациях обозначением «mini-SC». В настоящее время соединитель нормирован японским национальным стандартом JIS C-5983 и международным стандартом IEC 61754-6. Аналогично своему предшественнику ОР содержит корпус с внутренней защелкой (коммутация по схеме push-pull), а за счет меньшего диаметра наконечника из циркониевой керамики и миниатюризации остальных элементов конструкции обладает примерно вдвое меньшими габаритами [165]. Керамический наконечник вилки имеет длину 6,5 мм и унифицирован по этому параметру с разъемом LC.

Разъем MU поступает в продажу как в одиночном, так и в дуплексном исполнении. Дуплексный вариант этого изделия известен в двух разновидностях. Так называемый вариант H-типе имеет вилку, расстояние между центрами наконечников которой составляет 4,5 мм. Второй вариант, обозначаемый как F-типе, имеет величину данного параметра в 7,5 мм. Для их обозначения иногда практикуется название вертикальный и горизонтальный варианты, соответственно. Изделие пользуется большой популярностью в Японии.

ОР типа LX.5 разработан американской корпорацией ADC Telecommunications в 1998 г. [166] и применяется в оптической подсистеме СКС Entegris этого производителя. Изделие является фактическим развитием концепции LC и выпускается в многомодовом, одномодовом и APC-вариантах. Фиксация вилки в розетке осуществляется защелкой рычажного типа, передняя часть центрирующего наконечника во внерабочем состоянии закрыта сдвижной пластмассовой крышкой, которая является интегральной составной частью конструкции вилки. Розетка в дуплексном варианте по посадочным местам полностью соответствует розетке разъема SC.

Фирмой Huber+Suhner разработан модернизированный вариант ОР типа LX.5. От прототипа он отличается применением металлической защитной крышки вместо пластмассовой. Это позволяет использовать соединитель в составе трактов для передачи мощного длинноволнового оптического излучения. Кроме того, измененная конструкция задней части корпуса дает возможность надеть на него кодирующую пластмассовую обойму 12 различных цветов.

Вилки ОР типов LC, LX.5 и MU имеют практически идентичное конструктивное исполнение передней части корпуса и механизма фиксации в розетке. Данная особенность позволила разработчикам компании ADC-Krone создать

так называемую универсальную розетку (SFF Universal Adapter), в которую без применения дополнительных адаптеров можно подключать вилки разъемов перечисленных выше типов, см. рис. 84. Конструкция устройства позволяет использовать его в качестве переходной розетки (см. параграф 5.6.1).

ОР типа F-3000, Рис. 60 представляет собой модификацию описанного далее разъема типа E-2000. Он сохраняет основные конструктивные особенности прототипа и существенно отличается от него только диаметром центрирующего наконечника. Наконечник может изготавливаться по моноблочной схеме из керамики или быть выполненным в традиционном для разработчика композитном варианте (мельхиор+внешняя керамическая гильза). В случае использования в составе систем связи с мощными лазерными излучателями предпочтителен вариант розетки с металлической крышкой вместо пластмассовой. Последнее нововведение гарантирует надежную защиту органов зрения обслуживающего персонала. Разработчики соединителя применили в процессе создания F-3000 конструктивные решения, позволяющие свободно вставлять его вилку в розетку ОР типа LC. В соответствии с обычной для европейского рынка практикой соединитель выпускается в двух разновидностях: Standard и Low IL. Исполнение Low IL отличается от Standard уменьшенными потерями и улучшенным значением коэффициента обратного отражения.

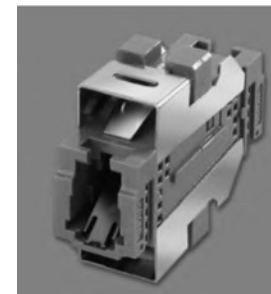


Рис. 84. Универсальная розетка для подключения вилок LC, LX.5 и MU



Рис. 85. Вилка разъема F-3000

Некоторые технические характеристики одномодовых и многомодового вариантов ОР рассматриваемых типов приводятся в табл. 50.

5.5.2. Малогабаритные разъемы с наконечниками диаметром 2,5 мм

Подход второго типа основан на сохранении в конструкции SFF-разъема основного элемента применяемых ранее изделий — хорошо отработанного в производстве наконечника диаметром 2,5 мм со сферической торцевой поверхностью. Улучшение массогабаритных показателей обеспечивается за счет более плотной компоновки и, возможно, миниатюризации отдельных

элементов корпуса. Наиболее известными разработками в этой области являются ОР типов E-2000, SC-RJ и FJ.

ОР типа E-2000 (от Европа, 2000 г.) был спроектирован швейцарской компанией Diamond S.A в 1993 г. и в настоящее время нормирован международным стандартом IEC 61754-15, а также европейскими стандартами EN 86 275-801 и EN 86 275-802 [167] как Fiber Optic Connector Interface — Typ LSH connector family¹. Изделие этого типа получило очень широкое распространение в таких европейских странах, как Швейцария, Чехия, Германия и т. д. Соединитель известен в двух основных вариантах, полностью соответствующих друг другу по посадочным местам. Согласно первому из них, продвигаемому его разработчиком, наконечник выполнен по композитной трехкомпонентной схеме в виде мельхиорового цилиндра с серебряным покрытием, на который внахлест надета центрирующая керамическая гильза. Применение данной конструкции дает возможность реализации процедуры активной и пассивной юстировки (см. параграф 5.3.7). В разьеме E-2000, который производится швейцарскими фирмами Huber+Suhner и Reichle & De-Massari по лицензии разработчика, наконечник изготовлен из керамики по классической моноблочной схеме. Переход на такое решение наряду с некоторым упрощением процедуры сборки разьема обосновывается разработчиками стремлением к устранению механических напряжений ОВ, характерных для схемы активной юстировки. Фиксация вилки в розетке осуществляется прямой внешней защелкой рычажного типа. Вилка и розетка соединителя снабжены защитными крышками. Крышки открываются автоматически при установке в розетку и имеют скошенную внутреннюю поверхность для увеличения эффективности подавления излучения обратного отражения [168].



Рис. 86. Разъем E-2000 в варианте *compact duplex*

ОР типа E-2000 может эксплуатироваться как в одиночном (simplex), так и в дуплексном исполнении. Дуплексный разъем известен в следующих вариантах: обычном (duplex, расстояние между осями наконечников — 12,7 мм), компактном (compact RJ duplex, расстояние между осями — 7,4 мм) и вертикальном (low profile duplex, вилки друг над другом с расстоянием между осями также 7,4 мм, но с разворотом на 180°). Для получения дуплексной вилки из одиночных используется фиксирующая оправка в форме защелки. Дуплексная

¹ Торговая марка E-2000 принадлежит компании Diamond. Поэтому более корректным для обозначения продукции других производителей применять название LSH (от нем. *Lichtwellenleiter Steckverbinder* — волоконно-оптический штекерный соединитель, вариант Н).

розетка совместима по своим посадочным местам со стандартной розеткой электрического модульного разьема только для компактного варианта.

От более ранних конструкций E-2000 отличается хорошо продуманной многоуровневой схемой защиты от неправильного подключения и ошибочного отключения. Первый уровень образует цветовая кодировка, для реализации которой используется окраска съемных элементов (рычага вилки и рамки розетки) в 12 различных цветов. Блокировка неправильного подключения обеспечивается в случае установки на розетке кодирующей рамки, которая дает возможность включения вилки только в том случае, если цвета рычага и рамки совпадают. Защита от ошибочного отключения реализуется за счет того, что конструкция разьема дает возможность удалить рычаг защелки вилки после ее включения в розетку. Тем самым случайный разрыв тракта передачи оптического сигнала становится невозможным.

ОР типа SC-RJ (до 2001 г. продвигался под торговой маркой SC-Compact) швейцарской компании Reichle & De-Massari (рис. 87) представляет собой удачный пример глубокой модернизации хорошо отработанной в серийном производстве конструкции с целью получения новых свойств. Прототипом изделия является хорошо известный SC, однако за счет устранения внешних элементов крепления и применения новой фиксирующей оправки разработчики сумели уменьшить расстояние между осями наконечников с обычных 12,7 мм до 7,5 мм и вписать тем самым розетку в посадочные места розетки модульного разьема. В случае необходимости в розетку SC-RJ можно включать одиночные вилки SC. Изделие поставляется в многомодовом и одномодовом исполнениях. В 2004 г. конструкция фиксирующей оправки была изменена с целью предоставления пользователю возможности установки под защелку сменной цветной маркирующей накладки.



Рис. 87. Вилка разьема SC-RJ

Отметим также, что так называемый вертикальный вариант дуплексной вилки SC-разьема японской компании Honda Tsushin Kogyo имеет расстояние между осями наконечников 8,5 мм. Розетка этой вилки близка по фактору к розетке модульного разьема, однако не взаимозаменяема с ней по посадочным местам. Еще одним представителем оптических соединителей, в которых использована аналогичная идея, является изделие High Density SC Connector компании 3М. Этот ОР отличается от разьема стандартной плотности тем, что имеет габаритные размеры корпуса вилки, уменьшенные в поперечном сечении до 6,0 × 7,2 мм против 7,4 × 9,0 мм у прототипа, то есть в конструкции изделия не заложено свойство обратной совместимости. Наибольшее преимущество данная разработка обеспечивает в случае использования для соединения четверной розетки. При таком варианте исполнения расстояние между центрами розеток составляет примерно 7 мм, то есть дан-

ный разъем обеспечивает плотность портов, примерно равную плотности портов электрических аналогов.

Компанией Panduit в декабре 1996 г. был предложен ОР типа FJ (fiber jack) или Opti-Jack (рис. 88), предназначенный для применения в СКС PAN-NET и ориентированный на реализацию проектов FTTD [169]. Этот компонент является исторически первым дуплексным разъемным оптическим соединителем массового применения, форм-фактор которого полностью соответствовал форм-фактору электрических модульных разъемов. В настоящее время ОР нормирован американским стандартом TIA/EIA-604-6. Основой разъема является керамический наконечник диаметром 2,5 мм, унифицированный с наконечником разъема ST, однако за счет более плотной компоновки и, в частности, уменьшения расстояния между осями наконечников до 6,35 мм (0,25 дюйма) габариты розетки уменьшены до размеров гнезда электрического модульного разъема. Фиксация вилки в розетке выполняется прямой защелкой рычажного типа. Для улучшения условий эксплуатации рычаг защелки закрыт куполообразной крышкой хвостовика.

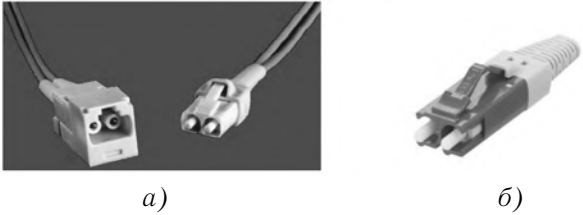


Рис. 88. Оптический разъем типа Opti-Jack компании Panduit:
а) традиционная конструкция; б) вариант вилки с кодирующим ключом

От других конструкций ОР типа FJ отличается применением сравнительно редко встречающейся на практике несимметричной схемы построения, то есть его розетка не является отдельным конструктивным элементом, а всегда объединяется с одной из вилок. Только в 1998 г. в перечень штатного оборудования была включена классическая розетка [170], однако она предназначена для использования исключительно в измерительных целях. Решение проблемы очистки торцевых поверхностей наконечников от загрязнений, потребность в котором может возникнуть в процессе текущей эксплуатации, решается за счет использования разборной конструкции розетки, отдельные детали которой крепятся друг к другу на защелках.

ОР типа FJ первоначально выпускался только в многомодовом варианте с корпусом бежевого цвета. В 1998 г. появился его одномодовый вариант, корпус которого в соответствии с требованиями стандартов изготовлен из пластмассы голубого цвета.

В 2003 г. в коммерческую продажу начал поступать вариант разъема FJ в ключевом исполнении. В изделии данной разновидности обеспечена бло-

кировка некорректного подключения. Данное свойство достигнуто за счет применения в вилках и розетках соответствующих адаптеров, которые обеспечивают подключение этих элементов только в определенной комбинации. С точки зрения пользователя это выражается в том, что к розетке может быть подключена только вилка одного с ней цвета. Всего доступны четыре варианта разъема с корпусами черного (W), красного (X), оранжевого (Y) и желтого (Z) цветов.

Таблица 51. Некоторые типы перспективных оптических разъемов, поддерживаемых различными производителями СКС

Фирма	Тип СКС	LC	E-2000	MT-RJ	MTP	LX.5
ADC Telecommu- nication, США	Enteraprise		•			•
AMP, США (Solarum)	NetConnect			•		
Avaya, США	SYSTIMAX	•				
Brand-Rex, Великобритания	Millenium (MFOS)	(MFOS)		(MFOS)		
BTR Telecom, Германия	Opdat		•			
Corning, США	Corning Cable Systems			•		
IBM, США	ACS		•	•		
Krone, Германия	PremisNET	•	•	•		•
Molex, США	Molex Premise Netwoks			•	•	
Ortronics, США	GigaMo GigaMo+	•		•	•	
Panduit, США	PanNet	•				
Reichle+De-Mas- sari, Швейцария	freenet		•	•		
RiT Technologies, Израиль	Smart			•		
Siemon, США	Siemon Cabling System	•		•		
Telegartner, Германия	TICNET	•	•	•		

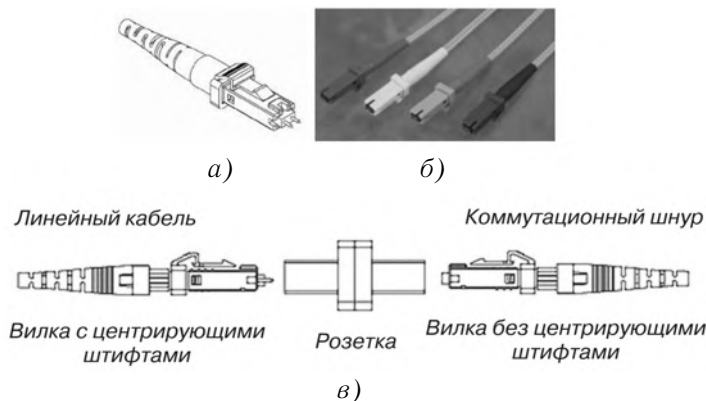


Рис. 89. Разъем MT-RJ:

- а) вилка в обычном исполнении с центрирующими штифтами (вилка MT-RJ male); б) вилка в ключевом исполнении;
в) области применения вилок с центрирующими штифтами и без штифтов

5.5.3. Разъемы группового типа

Подход третьего типа представлен достаточно многочисленной группой разработок многоканальных, матричных или групповых ОР [171]. Достаточно часто эти компоненты выполняются как уменьшенный или упрощенный вариант «большого» группового разъема, разработанного для поддержки функционирования телекоммуникационной аппаратуры сетей связи общего пользования. Общей отличительной чертой, объединяющей все рассматриваемые далее конструкции, является использование в них принципа линейной установки в розетку (принцип push-pull) без использования резьбовых или байонетных фиксаторов.

ОР типов SC-DC и SC-QC предназначены преимущественно для использования в системах массовой памяти [172] и после своего создания продвигались консорциумом, в который входили компании Siecor, Siemens и IBM. Эти продукты отличаются тем, что в них с целью сокращения времени разработки и частичной унификации с уже существующими изделиями использован внешний корпус вилки традиционного симплексного разъема SC. Новым является применение центрирующего элемента из дуроплекса, очень похожего на обычный круглый керамический наконечник для одиночного волокна и имеющего два (SC-DC) или четыре (SC-QC) расположенных в ряд канала для фиксации в них сращиваемых световодов. Для блокировки ошибочного подключения вилки SC-DC к розетке SC внешний направляющий ключевой выступ на ее корпусе выполнен с боковым смещением от продольной оси, см. рис. 90.

Принцип частичной унификации задействован также в ОР типов Mini-MT разработки компании Siecor и MT-RJ¹ консорциума фирм AMP, Hewlett-Packard, Siecor, USCones и Fujikura (ведущую роль в консорциуме играли две первые компании из приведенного списка). В изделии MT-RJ (рис. 89а), которое описано в стандарте EIA/TIA-604-12 (FOCIS-12) и активно продвигается на рынке с начала 1999 г. [173], использован центрирующий элемент с близкой к прямоугольной в сечении формой от разъема MT, разработанного в середине 80-х гг. прошлого века японской корпорацией NTT [174] для оконцевания 12-волоконных ленточных кабелей. В отличие от прототипа наконечник MT-RJ рассчитан на оконцевание только двух ОВ², для чего в нем предусмотрены соответствующие направляющие каналы с расстоянием между осями 0,75 мм. Основное отличие между этими вариантами разъемов состоит в том, что MT-RJ изначально разрабатывался с возможностью монтажа его розетки в установочное гнездо модульного разъема для кабелей из витых пар [175]. С учетом этого требования элемент фиксации вилки в розетке выполнен в виде привычной для пользователей СКС и аналогичной вилке электрического модульного разъема защелки рычажного типа, реализованной по обратной схеме.

В 2003 г. компания Tyco Electronics ввела в состав оптической СКС Solarum ОР типа MT-RJ в исполнении MT-RJ Secure, в котором предусмотрен принцип механической блокировки некорректного подключения [176]. Всего для практического использования доступны четыре варианта соединителей с различными комбинациями ключевых выступов и пазов, которые визуально отличаются цветом окраски корпуса (красный, желтый, светло-зеленый и синий), см. рис. 89б. В 2005 г. аналогичные изделия, совместимые с указанной выше продукцией, начала применять в составе СКС типа LANscape компания Corning.

В отличие от подавляющего большинства других типов оптических соединителей конструкция ОР типа MT-RJ позволяет его реализацию по симметричной и несимметричной схемам. В случае симметричной схемы вилка с наконечником, имеющим центрирующие штифты (пины) с номинальным диаметром 0,7 мм, называется MT-RJ male, а без штифтов — MT-RJ female [177]. При использовании несимметричной схемы исполнения центрирующие штифты являются элементами розеточной части разъема, см. рис. 89в. Отметим, что



Рис. 90. Вилка оптического разъема типа SC-DC

¹ В англоязычной технической литературе встречаются следующие разновидности трактовки сокращения MT: Mass Termination, Multiple (Multi) Termination или Mechanically Transferable. Некоторые западные специалисты шутливо трактуют эту аббревиатуру как «Mighty Tiny — могучая кучка» с намеком на сочетание небольших габаритов изделия с потенциально большим количеством одновременно оконцовываемых волокон.

² Конструкция центрирующего элемента позволяет в случае необходимости довести количество ОВ до восьми.

первоначально разъем MT-RJ разрабатывался для применения исключительно в многомодовых сетях. Это было обусловлено тем, что согласно спецификации разработчика допуск на точность установки центрирующих штифтов был установлен в ± 3 мкм, что не позволяло получить приемлемые потери при работе с одномодовыми световодами [178].

ОР типа Mini-MT использует наконечник, аналогичный разъему MT-RJ, и отличается от него тем, что фиксация наконечников в рабочем положении выполняется внешней пластинчатой обоймой. Его применение удобно в тех случаях, когда от соединителя требуются хорошие массогабаритные показатели, а количество циклов подключения-отключения сведено к минимуму.

ОР типа MTP имеет точно такой же наконечник и отличается от изделий MT и MT-RJ фиксатором вилки в розетке, который реализован по сдвижной схеме [179]. Аналогично MT-RJ вилка MTP может иметь направляющие штифты (рис. 91) и предназначена для применения внутри корпуса коммутационного устройства. Вилка MTP без штифтов устанавливается на кабель.

Емкость перспективных типов многоволоконных ОР, потенциально пригодных по комплексу своих характеристик для использования в СКС, при однорядном расположении ОВ может достигать 18 (изделие Mini-MPO, разработанное компанией Berg Electronics) или даже 24 волокон одновременно (ОР типа MPO¹). В 2003 г. компания AMP выпустила на рынок вариант разъема



Рис. 92. Вилка 72-волоконного варианта оптического типа MTP

типа MPO, который за счет перехода на многоуровневую схему расположения световодов позволяет выполнить одновременное соединение 72 волокон, см. рис. 92. Изделие было изначально ориентировано на оконцевание многоволоконных ОК модульно-кассетных решений (см. раздел 8.3).

Отметим, что из-за сложностей обеспечения высококачественной обработки торцевых поверхностей в процессе полевой установки групповых ОР не применяется клеевая технология.

5.5.4. Конструкции без центрирующего наконечника

Центрирующий наконечник вилки ОР имеет достаточно большие габариты (особенно при диаметре 2,5 мм), а процесс армирования им ОВ представляет собой довольно сложную и продолжительную процедуру, требующую от монтажника высокой квалификации. Кроме того, этот элемент является одним из самых дорогих компонентов разъема, доля стоимости которого в цене готового изделия достигает 40% [180]. Стремление к устранению отмеченных недостатков привело к появлению двух серийных конструкций, в которых наконеч-

ники отсутствуют, а процесс центрирования волокон в процессе их соединения выполняется другими средствами.

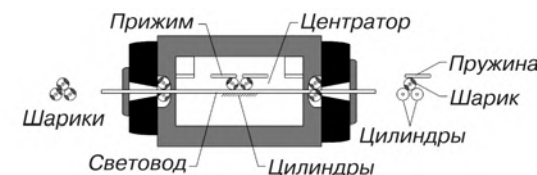
Общими отличительными признаками ОР рассматриваемой группы являются:

- ОВ, выступающее на несколько миллиметров из держателя вилки, торец которого сколот и подготовлен к сращиванию в процессе монтажа на специальном технологическом приспособлении;
- обязательное наличие в конструкции вилки подпружиненной крышки, которая закрывает ОВ в нерабочем состоянии;
- возможность установки вилки или розетки только с помощью комплекта фирменной технологической оснастки.

ОР типа Optoclip II швейцарской компании Huber+Suhner¹ сконструирован в самом начале 90-х гг. прошлого века, реализован по симметричной схеме и основан на применении одиночной вилки, см. рис. 93. Предварительное выравнивание ОВ при их соединении производится с помощью конусообразной направляющей и трех шариков, которые расположены в одной перпендикулярной оси световода плоскости и сдвинуты относительно друг друга на 120°. Механизм прецизионного выравнивания построен на основе двух рублиновых стержней, в зазор между которыми с помощью подвижного в вертикальном направлении шарика помещаются концы сращиваемых ОВ.



а)



б)

Рис. 93. Разъем типа Optoclip II:

а) общий вид вилки и розетки; б) схема построения механизма выравнивания световодов

Розетка этого ОР с целью обеспечения унификации выполнена разработчиком полностью совпадающей по посадочным местам с розеткой SC и отличается от нее только несколько увеличенной длиной, которая составляет 35 мм.

ОР типа VF-45 (иногда может употребляться название VG-45 или SG, что определяется терминологией, принятой техническим комитетом ACS-X3T11 ассоциации Fibre Channel) был разработан американской компанией 3M в 1997 г. специально для применения в области ЛВС, выпущен в коммерческую продажу годом позже и в настоящее время нормирован международным стандартом IEC 61754-19. Его конструкция реализована на основе центрато-

¹ Аббревиатура MPO образована как сокращение от Multi-fiber Push On.

¹ По другим данным, разработчиком разъема является французская компания Compagnie Deutsch.

ра в форме V-образной канавки и рассчитана на армирование одной вилкой одновременно двух ОВ ленточного ОК. Для обеспечения возможности четкого ввода световодов в направляющие канавки с расстоянием между ними в 4,5 мм и обеспечения физического контакта торцевых поверхностей срачиваемых волокон при установленной вилке фиксатор концевой участка ОВ в розетке выполнен с разворотом под углом 45° к его продольной оси, что дополнительно несколько уменьшает общую длину изделия.

Изделие отличается хорошо продуманным дизайном в сочетании с предельной простотой конструкции для минимизации стоимости и содержит всего четыре детали. В качестве интересной технической особенности этого ОР отметим тот факт, что защитная крышка вилки при ее установке в розетку в отличие от подавляющего большинства других конструкций сдвигается вбок, а не поднимается вверх.

В разъеме VF-45 очень оригинально решается проблема очистки торцевой поверхности срачиваемых ОВ, которая является достаточно нетривиальной задачей для любого изделия без центрирующего наконечника из-за низкой механической прочности оголенного волокна. Для этого предназначено промывочное устройство, которое удаляет загрязнения с концевых участков световодов за счет прокачки через розетку большого количества очищающей жидкости.

Оба рассмотренных выше ОР первоначально не позволяли обеспечить точность выравнивания, необходимую в процессе срачивания одномодовых ОВ, и поэтому в момент выпуска на рынок предлагались только в многомодовом варианте. Одномодовые разновидности появились в самом конце 90-х гг. прошлого века. Для получения необходимого уровня обратного отражения торцевая поверхность ОВ скашивается под углом 9° при обработке в скалывателе в процессе монтажа разъема.

Отметим также, что в этих изделиях по-разному решается проблема цветовой кодировки. В решении Optoclip II использовано обычное исполнение корпуса из пластика разных цветов. Фирма Molex выпускает соединитель этого типа с корпусом белого цвета, в соответствующее гнездо которого вставляется цветная маркирующая иконка. В отличие от этого в VF-45 многомодовое и одномодовое исполнения кодируются применением только защитной дверцы стандартных цветов с дополнительными надписями MM и SM на ней.

5.6. Элементы разъемов специального назначения

Кроме ОР общего применения, основным назначением которых применительно к кабельной системе является соединение линейных ОК с оконечными и коммутационными шнурами, в технике СКС находят применение элементы разъемов специального назначения. Данные изделия представляют собой вилку или розетку обычного ОР со стандартизованными посадочными местами, элементами крепления и другими компонентами, в которых выполнены

некоторые доработки для получения новых свойств, что позволяет эффективно решать задачи определенного типа [181].

Основная масса элементов разъемов специального назначения на практике реализует функции адаптера. Достаточно хорошо известны адаптеры, предназначенные для работы совместно с той частью СКС, которая реализована на базе кабелей из витых пар. К этим изделиям относятся различного рода разветвители (Y-адаптеры), балуны (согласующие трансформаторы), гармоники и т. д. На уровне медножильной и оптической подсистем структурированной проводки эти компоненты имеют очень схожее назначение и практически эквивалентные функциональные возможности с поправкой на принципиально различные типы сред передачи, табл. 52.

Таблица 52. Разновидности оптических адаптеров шнурового и корпусного типов и их электрические аналоги

Выполняемая функция	Адаптер корпусного типа	Адаптер шнурового типа	Электрический адаптер
Соединение элементов разъемов различных типов	Переходная розетка FM-адаптер	Комбинированный (переходной) шнур	Комбинированный шнур
Разветвление линейных кабелей	–	Монтажные шнуры типа fan-out	Шнур типа «гидра»
Подключение неоконцованных световодов/проводников	Адаптер на обнаженное волокно	Устройство оперативного подключения	–
Внесение заранее заданного или регулируемого затухания	Аттенюатор – вилка Аттенюатор – розетка	Шнуры – аттенюаторы	–
Проверка по шлейфу или методом «на себя»	Вилка – перемычка Сборка – перемычка	Короткозамыкающий шнур	Короткозамыкающий шнур
Подавление излучения и/или отражения	Терминаторы	–	Терминаторы ISDN
Подавление явления дифференциальной модовой задержки	MCP-адаптер	MCP-шнур	–

Адаптер волоконно-оптической подсистемы СКС представляет собой пассивный оптический или оптико-механический компонент, который включается

непосредственно в тракт передачи информационного сигнала, см. рис. 95. В независимости от формы своего конструктивного исполнения этот элемент выполняет одну или одновременно несколько функций из следующего перечня:

- создает условия для подключения друг к другу отдельных компонентов ОР различных типов (решение проблемы механической несовместимости);
- обеспечивает подключение по временной схеме к активным и пассивным оптическим устройствам самого разнообразного назначения неоконцованных световодов ОК;
- дает возможность осуществить проверку линейного оптического тракта по шлейфу или активного оборудования и тестирующих приборов методом подключения «на себя»;
- подавляет обратные отражения и излучение в открытое пространство;
- вносит в тракт передачи сигнала заранее заданное затухание.

Задачи, возложенные на оптический адаптер, могут быть решены шнуровыми или корпусными устройствами, которые специальным образом подготовлены для этой цели. Потребительские качества обоих вариантов адаптеров одинакового функционального назначения совпадают или же оказываются достаточно близкими. Выбор определенного решения выполняется в каждом конкретном случае индивидуально с учетом всей совокупности факторов (решаемая задача, доступность определенной элементной базы, предпочтение персонала и т. д.).

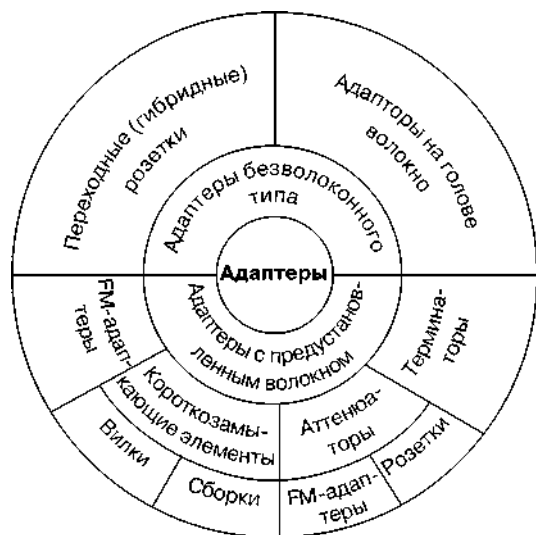


Рис. 95. Волоконно-оптические адаптеры корпусного типа

Адаптеры шнурового типа подробно рассмотрены в главе 7. Адаптеры корпусного типа выгодно отличаются от шнуровых изделий в первую очередь существенно лучшими массогабаритными показателями и большим удобством

работы за счет отсутствия длинного кабеля.

Перечень отдельных элементов, последовательное соединение которых образует стационарную линию СКС, однозначно задается стандартами. Адаптер корпусного типа не входит в этот список. В силу этого он должен альтернативно подключаться к розеточной части ОР с «внешней» стороны разъемного соединителя или же частично включаться в состав стационарной линии, но дополнительно брать на себя функции розетки стандартного разъема СКС. С учетом данного обстоятельства наиболее целесообразной формой исполнения адаптера является его реализация в виде штыревой или розеточной части обычного ОР с нормированными посадочными местами, элементами крепления и другими стандартизованными на уровне различных нормативных документов деталями, отвечающими за обеспечение подключения к другим компонентам. Все доработки, требуемые для получения новых свойств, выполняются внутри корпуса адаптера или же в его внешней части таким образом, чтобы не затрагивать компоненты, отвечающие за механическую совместимость.

Полную совокупность известных в технике волоконно-оптической связи адаптеров корпусного типа можно разбить на две большие группы. К первой из них относятся устройства, полезные свойства которых достигнуты исключительно модернизацией или специальным исполнением внешнего дизайна. Вторая конструктивно и технологически более сложная группа приборов этого класса в обязательном порядке содержит отрезок обычного или специально подготовленного ОВ с обработанными в производственных условиях торцевыми поверхностями, для удобства работы и достижения необходимой долговечности заклеенного в керамический центрирующий наконечник. Наличие этого компонента позволяет существенно расширить функциональные возможности готового изделия.

5.6.1. Переходные розетки

Переходная розетка в отличие от остальных рассмотренных далее адаптеров интересна тем, что не имеет прямого серийного аналога в подсистеме на базе кабелей из витых пар. Это обусловлено тем, что оптическая подсистема СКС отличается от подсистемы на основе кабелей из витых пар существенно большим разнообразием применяемых типов разъемов. Исходя из этой особенности, на практике часто возникает задача согласования типов интерфейсов. Переходная розетка (hybrid adaptor) представляет собой простейшую и исторически первую внедренную в широкую инженерную практику разновидность оптических адаптеров корпусного типа и, как непосредственно следует из ее названия, относится к несколько менее многочисленной «розеточной» ветви этих приборов. Это устройство обеспечивает соединение друг с другом вилок различных типов главным образом симметричных ОР.

Конструктивно рассматриваемый компонент представляет собой проходную розетку с обычной центрирующей гильзой, с разных сторон корпуса кото-

рой сформированы розеточные части ОР двух различных типов, см. рис. 96. Не исключен, хотя и встречается на практике существенно реже также заметно более сложный в практической реализации вариант обеспечения перехода между вилками разъемов, имеющими разный диаметр центрирующего наконечника, например, MU и SC. В этой ситуации разработчик использует механизм юстировки на основе двух центрирующих гильз и комбинированную втулку с различными диаметрами концов, армирующую промежуточный технологический отрезок ОВ. Вторым вариантом является применение состав-

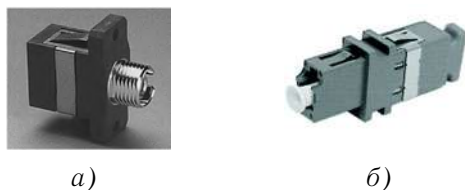


Рис. 96. Переходные розетки:

- а) для разъемов с наконечниками одинакового диаметра (SC-FC);
 б) для разъемов с наконечниками различного диаметра (SC-LC)

ной центрирующей гильзы, в которой на половине длины предусмотрена вставка под наконечник меньшего диаметра.

С учетом основной области своего применения переходная розетка является штатным компонентом стационарной линии кабельных трактов СКС. Таким образом, ее конструкция должна обеспечивать выполнение соответствующих требований стандартов, выдвигаемых в отношении обычных ОР по вносимым потерям, долговечности и т. д.

Переходные розетки в классическом варианте своего исполнения предназначены для установки в коммутационных устройствах различного назначения. Поэтому их корпус имеет обычные элементы крепления на панели. Применение данной разновидности адаптеров позволяет, например, использовать в процессе создания оптической подсистемы СКС закупленные ранее или несколько более дешевые монтажные шнуры с вилками симплексных ОР неперспективных типов (главным образом пока еще очень популярные ST) без нарушения положений стандартов в отношении правил построения коммутационного оборудования.

Кроме чисто стационарной эксплуатации в различных муфтах и полках, переходные розетки нередко включаются в состав оптических измерительных приборов на правах штатного или дополнительного компонента. Наличие этого элемента позволяет, в частности, осуществлять измерение параметров шнуров, тип вилок которых отличается от типа оптического интерфейса измерителя. С прицелом именно на такую область применения некоторые изгото-

вители пассивных аксессуаров для волоконно-оптических систем предлагают так называемые универсальные переходные розетки (универсальные адаптеры). Простой вариант этого устройства представляет собой фактически центратор в трубчатом защитном корпусе, который не имеет элементов крепления соединяемых вилок. В более сложной форме универсальный адаптер обеспечивает нормальную установку вилок с их креплением в сочетании с возможностью смены типа интерфейса на одной из сторон в случае возникновения такой необходимости. Конструктивно это реализуется за счет применения комплекта сменных насадок с нормированными крепежными элементами розеток различных типов, которые по мере необходимости навинчиваются или любым иным подходящим способом устанавливаются на основной корпус.

Адаптеры универсального типа могут эксплуатироваться также в обычных коммутационных устройствах. В этом случае на первый план выходит не только легкость смены типа пользовательского оптического интерфейса, но и высокая эффективность очистки рабочих поверхностей центрирующей гильзы без необходимости доступа внутрь корпуса муфты и полки. Фактически это достигнуто за счет обеспечения неполной разборки компонента. При таком подходе, продвигаемом японской компанией Senko, адаптер может иметь гнезда розеток одного типа и носит специальное название переключаемого адаптера (switchable adapter).

На первый взгляд, достаточно парадоксально, но на практике встречается вариант использования в виде переходной розетки классического симметричного представителя изделий этой разновидности. Для иллюстрации этого положения сошлемся на СКС PANNET компании Panduit, в составе оборудования которой предусмотрена обычная симметричная оптическая розетка, предназначенная исключительно для соединения дуплексных вилок несимметричных фирменных ОР типа FJ этого производителя в процессе их тестирования.

5.6.2. Адаптеры на обнаженное волокно

На этапе строительных или во время ремонтно-восстановительных работ, осуществляемых в линейной части оптических магистралей, достаточно часто возникает необходимость быстрого временного подключения ОВ к интерфейсу активного сетевого, технологического или измерительного оборудования, а также к розетке коммутационного устройства. Типичным примером таких действий является подключение к рефлектометру в процессе обязательного входного контроля волокон ОК внешней прокладки. Данная задача может быть решена самыми разнообразными способами, например, установкой монтажного шнура с помощью сварочного аппарата или механического сплайса, за счет использования так называемых устройств для оперативного подключения и т. д. Одним из наиболее часто применяемых на практике способов вре-

менного подключения является использование адаптера на обнаженное или на голое волокно (от bare fiber adapter). Популярность этого технического решения обусловлена хорошо сбалансированным сочетанием таких присущих этому компоненту качеств как быстрота и простота установки, невысокая стоимость и хорошие массогабаритные показатели.

Адаптеры на неоконцованный кабель аналогично переходным розеткам не используются в электрических подсистемах СКС. Однако, в отличие от предыдущего случая причина этого заключается в нецелесообразности осуществления разработки специализированного элемента для выполнения данной операции. Такое положение дел обусловлено простотой установки розетки разъема на витую пару. Необходимость применения специального адаптера возникает только в случае измерения параметров кабеля в процессе его входного контроля, что согласно стандартам СКС является обязательной операцией. В результате такие адаптеры используются в крайне ограниченном объеме и только в форме элемента конкретного измерительного прибора (например, измерительная головка кабельного сканера OmnisScanner2 фирмы Fluke). В отличие от этого в оптической подсистеме адаптеры для подключения неоконцованных ОВ распространены существенно шире и являются функционально отдельной и независимой от измерителя конструктивной единицей.

Адаптер рассматриваемой разновидности конструктивно представляет собой вилку ОР со стеклянным или керамическим наконечником, в хвостовой части корпуса которой вместо традиционных элементов крепления к ОК предусмотрен временный легко отключаемый технологический фиксатор ОВ, вставленного в наконечник. С учетом основной области применения и назначения адаптера используются фиксаторы преимущественно механического типа, рассчитанные по меньшей мере на несколько тысяч циклов включения-отключения. Наиболее распространенной формой конструктивной реализации подвижной рабочей части фиксатора является его исполнение в виде внутренней пружины-прижима. При необходимости ввода ОВ нажимная поверхность пружины отводится в сторону нажатием на круглую или прямоугольную в плане кнопку, которая располагается на корпусе в его задней части. Известно также решение задачи фиксации за счет применения полностью или частично раскрывающегося по продольной или по поперечной оси корпуса с пружинным держателем, фиксатора винтового типа, а также кулачкового механизма, который переводится в рабочее положение при закручивании гайки, см. рис. 97а–в. Кроме пружинных фиксаторов, в случае раскрывающихся корпусов возможно применение работающих на удержание их магнитных аналогов.

Фиксация армируемого световода может производиться за первичное или вторичное буферное покрытие с внешним диаметром в пределах от 0,25 до 0,9 мм. Гарантированное усилие удержания ОВ в рабочем положении в доступных на рынке серийных конструкциях составляет примерно 150–300 г, что не позво-

ляет создавать, например, коммутационные шнуры общего назначения, однако вполне достаточно для данной области применения.

Наличие в конструкции механизма, рассчитанного на выполнение многочисленных временных подключений к ОВ, вызывает заметное увеличение габаритов и особенно массы изделия по сравнению с обычными вилками ОР. Тем не менее масса серийных адаптеров общего применения с пластиковым корпусом не превышает 3–5 г. В случае использования для изготовления корпуса алюминиевого сплава или нержавеющей стали значение этого параметра возрастает до 10–15 г. Последний вариант, как показывает практика, более предпочтителен, так как обеспечивает требуемую для основной области применения этого устройства повышенную механическую прочность.

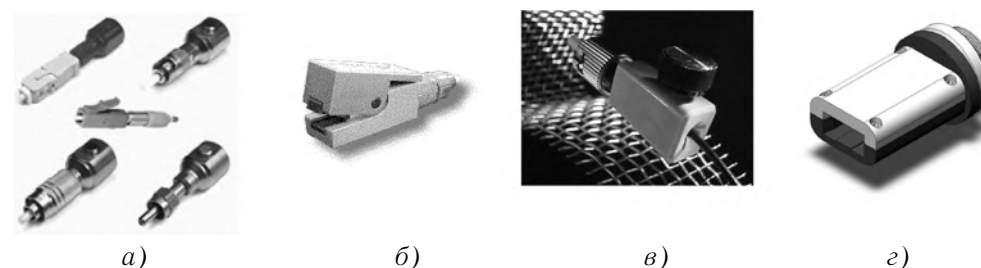


Рис. 97. Адаптеры на обнаженное волокно:

- а) с кнопочным и кулачковым фиксатором;
 в) с фиксатором на основе раскрывающегося корпуса;
 в) с винтовым зажимом; г) для ленточного волокна

Компоненты рассматриваемой разновидности выпускают как в одномодовом, так и в многомодовом исполнениях с вилками симплексных ОР наиболее распространенных типов (SC, ST, FC). Величина потерь в разъеме, собранном с использованием адаптера на обнаженное волокно, естественно оказывается несколько выше по сравнению с разъемами с постоянной фиксацией световода. Здесь сказывается отрицательное влияние отсутствия полировки, наличие френелевских потерь из-за невозможности гарантированного обеспечения физического контакта по всей площади сердцевины и другие аналогичные факторы. Тем не менее потери, вносимые этим адаптером, достаточно редко превышают 1 дБ в случае одномодовых линий и 0,5 дБ при работе в составе многомодовых трактов, что является вполне приемлемым для измерительных целей и в процессе организации временных связей.

Рабочий температурный диапазон адаптеров на обнаженное волокно составляет от -40 до $+85$ °С, то есть эти изделия не накладывают ограничений на область использования оптической системы по климатическим параметрам.

Кроме адаптеров с обычной моноблочной конструкцией, на рынке в ограниченном количестве предлагаются так называемые модульные адаптеры.

Конструктивно такой элемент состоит из двух отдельных частей: корпуса-фиксатора с установочным гнездом и сменной головки с вилкой симплексного ОР. Фиксация головки в установочном гнезде осуществляется винтовым зажимом. Примером такого решения может служить набор Bullet американской компании Fiber Plus International, в комплект поставки которого входят вилки одномодовых ОР типа SC, FC и ST с соответствующими крепежными хвостовиками.

Процесс временной установки вилки ОР, выполняемый с помощью адаптера на обнаженное ОВ, включает в себя три основные операции. На первом этапе концевой участок световода полностью очищают от защитных покрытий и оболочек, а затем на определенной длине обрабатывают скалывателем для получения перпендикулярного торца. Следующим шагом является ввод ОВ в адаптер таким образом, чтобы его конец выступал за плоскость торцевой поверхности наконечника примерно на 0,1 мм. Данное требование выдвигается из соображений гарантированного достижения физического контакта в формируемом разъеме. Заключительной операцией является перевод зажима в рабочее положение. Опыт работы показывает, что установка адаптера может быть выполнена за 15–20 с монтажником с подготовкой даже начального уровня.

В качестве прототипа адаптера на обнаженное волокно может быть без каких-либо проблем использована вилка симплексного разъема практически любого типа. Тем не менее в качестве основы этого прибора наиболее предпочтительно использование тех конструкций вилок ОР, которые имеют сильно выступающий из держателя наконечник (ST, DIN и аналогичных им). Такой адаптер обладает многими признаками универсального устройства, так как в случае необходимости может быть легко подключен к розеткам разъемов других типов (FC, SC и т. д.). Единственным естественным существенным ограничением является требование совпадения диаметров центрирующих наконечников.

В настоящее время адаптеры на обнаженное волокно в обязательном порядке предлагаются теми компаниями, которые специализируются на изготовлении и поставке волоконно-оптических аксессуаров различного назначения. Достаточно часто эти компоненты являются штатной каталожной продукцией также производителей измерительных приборов (NetTest, EXFO, Fluke и т. д.).

В связи с широким распространением ленточных ОК на рынке начинают появляться первые образцы адаптеров на обнаженное ленточное волокно. Конструктивно они повторяют свой одноволоконный аналог и отличаются от него применением наконечника группового ОР и исполнением фиксатора, учитывающего специфические требования области применения. Примером такой продукции является изделие типа RFC1 канадской компании Sys Concept, см. рис. 97г.

5.6.3. FM-адаптер

FM-адаптер (от *female-male*, иногда используется «обратное» сокращение MF-адаптер) корпусного типа представляет собой моноблочное устройство, обеспечивающее подключение вилки ОР одного типа к розетке разъема другого типа. Основной конструкции прибора является вилка ОР, имеющая наконечник с предустановленным в него в производственных условиях ОВ. Задняя часть корпуса устройства выполнена в виде розеточной части разъема и содержит соответствующие стандартизованные элементы центрирования, крепления и т. д., то есть механически этот элемент реализует схему «тяги-толкай». Адаптеры данной разновидности имеют два основных варианта конструктивного исполнения, которые классифицируются как переходные и проходные.

FM-адаптер переходного типа представляет собой функциональный аналог переходной розетки, а его применение дает возможность подключения коммутационного шнура с вилками разъема одного типа к коммутационному устройству с розетками другого типа. С учетом данного свойства рассматриваемый элемент в некоторых зарубежных публикациях называют адаптером-конвертером (*converter-type adapter*). Фактически данный компонент выполнен в виде комбинации гнездовой и штыревой частей разъемов с различным дизайном. В отличие от розетки FM-адаптер является классическим адаптером в смысле духа и буквы стандартов СКС, организационно не входит в состав оборудования стационарной линии и всегда располагается с пользовательской стороны панели коммутационного устройства, см. рис. 98б.

Переходные FM-адаптеры используются для смены типа оптического интерфейса в тех ситуациях, когда применение переходных шнуров невозможно или нецелесообразно по различным причинам.

Конструктивная схема FM-адаптера делает его достаточно перспективным прибором для применения также в процессе проведения различных измерений на уже смонтированных оптических линиях и трактах. В этой ситуации наиболее часто используют проходные FM-адаптеры, которые содержат вилку и розетку одного типа (рис. 98а). В процессе работы устройство включается не в розетку панели СКС, а в гнездо оптического интерфейса измерительного прибора, то есть формирует тип оптического интерфейса не стационарной линии, а тракта целиком. В данном случае используется тот факт, что введение этого компонента в тракт передачи сигнала позволяет эффективно защитить оптический интерфейс измерительного оборудования от неизбежных механических повреждений, возникающих в процессе характерных для данной области применения многочисленных подключений.

Еще одним критерием классификации одномодовых FM-адаптеров является вид исполнения торцевой части наконечника. Обычно предлагается два исполнения таких приборов: со сферической обработкой в варианте UPC и с APC-полировкой.

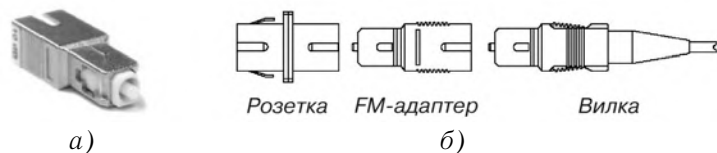


Рис. 98. FM-адаптер:
а) конструктивное исполнение;
б) правила использования

5.6.4. Атенюаторы

При организации каналов связи между ИВС предприятия и внешними ресурсами с помощью сети связи общего пользования некоторые кабельные тракты СКС логически выполняют функции оконечных участков соединительных линий этой сети. На таких линиях эксплуатируется одномодовое сетевое оборудование, рассчитанное для работы на большие расстояния и имеющее высокую чувствительность фотоприемника. При характерной для данной области применения небольших длинах кабельных трактов это может привести к перегрузке входных каскадов фотоприемника и нарушению работы сетевого интерфейса. В данной ситуации для создания нормальных условий функционирования аппаратуры применяют оптические аттенюаторы. Под этими устройствами понимаются элементы, искусственно вносящие в тракт передачи заранее заданные дополнительные потери и уменьшающие уровень мощности оптического сигнала до значения, которое не выходит за пределы динамического диапазона приемника.

Еще одной областью использования аттенюаторов, где наряду с одномодовыми устройствами столь же широко применяются их многомодовые аналоги, являются различного рода сервисные проверки, в том числе измерительных приборов, моделирование реального тракта передачи сигналов в процессе наладки активного сетевого оборудования и т. д. В последнем случае аттенюаторы могут являться ключевым блоком так называемых моделей сети, которые используются некоторыми производителями измерительного оборудования преимущественно для калибровки и в учебных целях. Наличие этих устройств позволяет, в частности, осуществлять настройку большинства моделей сетевых интерфейсов методом подключения «на себя», то есть без использования второго прибора.

К аттенюаторам в независимости от вида их конструктивного исполнения предъявляется комплекс следующих требований:

- обеспечение точности вносимого затухания в сочетании с его долговременной стабильностью;
- возможность работы с высокими уровнями оптических сигналов;
- наличие плоской характеристики вносимого затухания по крайней мере в основных спектральных диапазонах L, S, C одномодового сетевого оборудования;
- обеспечение высокого затухания обратного рассеяния;
- легкость монтажа, обслуживания и установки заданного уровня вносимых потерь (последнее — в регулируемых устройствах).

Известен ряд принципов исполнения оптических аттенюаторов, причем наиболее широкое распространение на практике получили конструкции, ключевым элементом которых являются короткие отрезки ОВ с искусственно повышенным затуханием за счет легирования сердцевины ионами металлов¹. Определенную популярность имеют также системы с апертурным рассогласованием. В независимости от применяемого механизма внесения потерь аттенюаторы могут быть выполнены как фиксированными, так и переменными с плавной регулировкой вносимого затухания.

В процессе построения и эксплуатации оптических сетей связи находят применение корпусные аттенюаторы в форме розетки и в виде FM-адаптеров. FM-адаптер с аттенюатором по аналогии с кабельными и шнуровыми представителями приборов этого класса, называемый иногда линейным аттенюатором-вилкой (in-line plug attenuator), является прибором, подключаемым непосредственно к розетке ОР с ее пользовательской стороны, см. рис. 99. Из-за этого он в большей степени соответствует идеологии построения СКС. В случае использования данной схемы конструктивной реализации этот компонент из-за особенностей выполняемых им функций может строиться по проходной схеме с гнездом и вилкой ОР одного типа.

Характерным внешним отличительным признаком фиксированных аттенюаторов, которые выполнены в форме адаптера, является то, что для удобства их практического использования номинальное значение вносимого затухания наносится в виде фабричной маркирующей надписи непосредственно на корпус. В серийных приборах наиболее часто встречаются значения 3, 5, 10, 15 и 20 дБ, в случае необходимости по отдельному заказу производитель изготавливает аттенюаторы с другими величинами затухания.

Типовой диапазон изменения вносимого затухания переменного аттенюатора составляет 15 дБ для

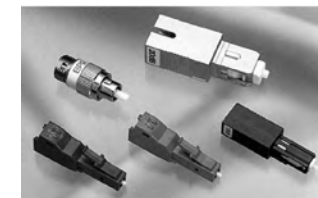


Рис. 99. Оптические аттенюаторы в форме FM-адаптера

¹ При разработке конструкций этих изделий особое внимание уделяется подавлению оболочковых мод.

многомодовых приборов и 20 дБ для одномодовых. Известны также устройства с глубиной регулировки до 40 дБ. Грубая установка величины затухания осуществляется по градуировочной шкале (при ее наличии), точное значение выставляется с помощью оптического тестера. Для выполнения этой операции на аттенюаторах-розетках используется регулировочный маховичок или ключ, вставляемый в отверстие кольца регулятора.

Точность установки значения затухания с помощью фиксированного аттенюатора рассматриваемой разновидности составляет на практике примерно ± 1 дБ. Столь значительный разброс обусловлен в первую очередь относительно большими и плохо воспроизводимыми при переключениях потерями собственно в ОР прибора. Температурные и вибрационные дрейфы потерь фиксированных аттенюаторов обычно не превышают 10–15% от величины вносимого затухания во всем рабочем диапазоне. При необходимости достижения большей точности используют переменные аттенюаторы или фиксированные варианты этих приборов, которые подключаются непосредственно в разрыв линии методом сварки.

Для минимизации влияния отраженного оптического сигнала на характеристики тракта передачи аттенюатор, как правило, включается на входе приемника. В случае необходимости эти устройства вполне могут быть установлены также на выходе передатчика, так как их конструкция рассчитывается на передачу максимальных для современной техники оптической связи мощностей сигналов вплоть до 100 мВт или даже более.

5.6.5. Терминаторы

Выше уже отмечалось, что при подключении ИВС предприятия к сети связи общего пользования кабельные тракты СКС могут быть использованы для передачи сигналов аппаратуры с повышенной дальностью действия. В оптических передатчиках такой аппаратуры устанавливаются лазеры достаточно большой мощности, излучение которых при попадании в глаза обслуживающего персонала может повредить сетчатку. При характерных для СКС небольших протяженностях кабельных трактов в сочетании с низкими значениями погонного затухания современных ОК мощность излучения на выходе тракта не будет очень сильно отличаться от мощности на входе. В результате излучение будет оставаться потенциально опасным для органов зрения обслуживающего персонала не только непосредственно рядом с аппаратурой, но и удаленных от нее коммутационных устройствах. Далеко не все разъемы, применяемые при построении коммутационного поля СКС, в том числе достаточно новых типов (например, LC), имеют в розетках штатную защитную шторку, которая автоматически перекрывает установочное гнездо при вынутой вилке. Поэтому в такие розетки при отключенных коммутационных шнурах вставляется так называемый терминатор.

Адаптер данной разновидности конструктивно выполнен в виде вилки ОР с отрезком ОВ, предустановленным в наконечнике, и заглушенной задней частью корпуса. Цепи передачи оптических сигналов терминаторов реализуются таким образом, чтобы обеспечивать выполнение возложенных на них функций при мощностях до 100 мВт на длинах волн 1310 и 1550 нм. Это позволяет применять их в трактах для передачи многоканальных групповых сигналов со спектральным разделением оптических каналов.

Потребность в применении терминаторов появляется не только в случае необходимости экранирования прямого потока излучения, с чем прекрасно справляется съемный защитный колпачок розетки. При отключении вилки шнура за счет френелевского отражения в части ОР с плоской или сферической полировкой торцевых поверхностей наконечников возникает достаточно мощный обратный поток оптического излучения, который является крайне нежелательным для некоторых видов лазерных передатчиков. Для подавления этого явления полностью или частично реализуется следующий комплекс мероприятий:

- производится антиотражающая обработка задней части отрезка ОВ, заклеенного в наконечник терминатора;
- для изготовления отрезка ОВ аналогично аттенюаторам используется световод со специальным легированием сердцевины;
- выполняется антиотражающее исполнение внутренней поверхности корпуса, обращенной к этому ОВ. В частности, наряду с уменьшением коэффициента отражения за счет выполнения рассеивающей поверхности может дополнительно осуществляться ее установка под углом 8–12° к оси наконечника по схеме APC-разъемов.

Мощность СД и коротковолнового лазерного излучателя оптических передатчиков известных образцов сетевого оборудования с многомодовым оптическим интерфейсом недостаточна для перегрузки фотоприемника. Кроме того, эти передатчики даже в случае их реализации в лазерном варианте практически нечувствительны к обратным отражениям. С учетом этого можем констатировать, что терминаторы в СКС могут понадобиться только при наличии одномодовых трактов в случае подключения ЛВС к внешним информационным ресурсам.

5.6.6. Вилки-перемычки

Основным назначением вилки-перемычки является соединение ОВ дуплексного оптического тракта непосредственно на выходе стационарной линии с минимальными потерями. Необходимость выполнения данной операции возникает преимущественно в процессе тестовых проверок оптических трактов и их отдельных компонентов, а также настройки некоторых видов сетевой аппаратуры методом подключения «на себя». От традиционно применяемых для

выполнения этой операции симплексных шнуров адаптеры рассматриваемой разновидности выгодно отличаются отсутствием длинного ОК и за счет этого оказываются существенно более удобными в работе.

Вилки-перемычки выпускаются в двух несколько отличающихся между собой вариантах конструктивного исполнения. Так называемая короткозамыкающая сборка (loopback assembly) технически существенно более проста в реализации и является фактически укороченным до предела одноволоконным коммутационным шнуром. Такое изделие состоит из двух симплексных вилок, для удобства эксплуатации установленных в фиксирующей обойме, и содержит внешний по отношению к их корпусу отрезок одноволоконного ОК для шнуров длиной обычно не более 10 см, см. рис. 100а. Вместо двух симплексных может быть использована одна дуплексная вилка. Вторым представителем этой разновидности адаптеров являются так называемые короткозамыкающие вилки (loop-back plug или loop-back connector), которые реализуются на основе вилок только дуплексных ОР (MIC, MT-RJ). Их главным отличительным признаком является отсутствие кабеля, выходящего за пределы габаритов корпуса, см. рис. 100б.

Адаптеры в форме вилки-перемычки в обоих вариантах их конструктивного исполнения исходя из основной области их использования достаточно часто комбинируются с фиксированными аттенуаторами (так называемые loopback attenuator).



Рис. 100. Вилка-перемычка:
а) в форме сборки; б) в виде вилки

Хвостовая часть корпуса вилки-перемычки может снабжаться пластиковым колпачком различных цветов. Такой прием позволяет кодировать тип волокна и номинальную величину вносимого затухания (предложение американской компании Timberline).

Отрезок ОК короткозамыкающей сборки в процессе работы с ней естественным образом может быть использован в качестве ручки для отключения, что приводит к преждевременному выходу прибора из строя. Поэтому одной из задач, которую решает разработчик сборки, является предотвращение таких действий. Обычно это достигается соответствующим инструктажем и предупреждающей надписью-флажком.

Конструкция и назначение короткозамыкающей вилки таковы, что практическая реализация изделий этого класса наиболее удобна в случае ОР, под-

ключение вилок которых к розеткам осуществляется линейным движением (методом push-pull или с фиксацией внешней рычажной защелкой в любой форме ее исполнения). При необходимости установки перемычки на розетки симплексных разъемов с креплением вилок обычной или байонетной гайкой более выгодным и удобным является использование одноволоконного коммутационного шнура.

5.6.7. МСР-адаптеры

МСР-адаптеры используются для подавления эффекта дифференциальной модовой задержки на принципе смещения области ввода высоконаправленного лазерного излучения относительно центра сердцевины многомодового ОВ. Их основное преимущество по сравнению со шнуровыми аналогами (см. параграф 7.2.1) заключается в увеличении удобства текущей эксплуатации кабельной системы. Одновременно достигается также некоторое улучшение эстетических характеристик коммутационного поля.

В качестве прототипа устройства может быть использована как симплексная, так и дуплексная FM-розетка, см. рис. 101. Для облегчения процесса текущей эксплуатации прибора в нем применяется цветовая кодировка вилок направления приема и передачи.

Применение МСР-адаптера требует доступа в пределы стационарной линии. Данная операция может быть выполнена только персоналом, который сертифицирован производителем СКС. Эта принципиальная особенность существенно ограничивает масштабы использования таких устройств в текущей инженерной практике.



Рис. 101. Дуплексный МСР-адаптер корпусного типа
компании Fi-berdune

5.6.8. Мини-пигтейлы

Одним из немногих недостатков метода армирования световодов с помощью монтажных шнуров (см. параграф 7.1.2) является необходимость защиты мес-

та стыка ОВ корпусом механического сплайса или защитной гильзы. При этом полученный сросток из-за относительно больших габаритов и массы обязательно следует надежно фиксировать в организаторе, что несколько усложняет как конструкцию самой сплайс-пластины, так и технологию сборки.

Проблемы фиксации не возникает в случае использования так называемых мини-пигтейлов [182]. Данное изделие конструктивно похоже на вилку иммерсионного ОР и также содержит обработанный и заклеенный в производственных условиях отрезок ОВ, см. рис. 102. Основное отличие заключается в отсутствии внутренних элементов выравнивания волокон и иммерсионного геля. В отличие от классического монтажного шнура мини-пигтейл может быть установлен на волокно линейного кабеля только с использованием сварной технологии.

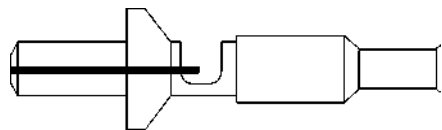


Рис. 102. Конструктивная схема мини-пигтейла

Установка мини-пигтейла в сварочный аппарат осуществляется на адаптер, который смонтирован на одной из микроподвижек вместо традиционной V-образной направляющей канавки. Армируемое ОВ вводят в рабочую зону через отверстие увеличенного диаметра в хвостовике вилки, для подачи электрической дуги в зону контакта волокон кабеля и мини-пигтейла предусмотрено круглое отверстие (система E2000 FUSION компании Diamond) или U-образная выемка (система FuseLite фирмы Corning) достаточно больших размеров. В изделиях Alberino Krokodil швейцарской компании Diamond перед сваркой необходимо раскрыть ламели защитного элемента.

Работа с мини-пигтейлами не имеет каких-либо особенностей по сравнению со случаем сращивания двух световодов. Исключение составляет необходимость применения адаптера для установки этого компонента в сварочный аппарат и соответствующей адаптации его конструкции.

Применение сварной технологии в обязательном порядке требует решения проблемы защиты области стыка ОВ от воздействия атмосферной влаги. В данном случае применение клеев-расплавов является технически невыгодным. На практике известно два подхода к решению этой задачи. Согласно первому из них, существенно более часто применяемому на практике, сварной стык заливают клеем, быстро высыхающим при комнатной температуре. В изделиях Alberino Krokodil для выполнения этой операции используется механический защитный элемент.

5.7. Установка и монтаж элементов оптических разъемов

5.7.1. Особенности монтажа оптических разъемов в технике СКС

В процессе создания волоконно-оптических линий в сетях связи общего пользования сращивание ОВ и установка вилок ОР выполняются в подавляющем большинстве случаев с использованием сварочных аппаратов. Такой подход обусловлен тем, что наряду с высокой скоростью выполнения работы технология сварки обеспечивает минимальные, по сравнению с другими методами, потери в точке сращивания, а данный параметр критически важен на линиях большой протяженности, что характерно для данной области применения. Платой за эти преимущества являются значительная стоимость оборудования и повышенные требования к уровню технической подготовки персонала [183].

По сравнению с линейно-кабельными сооружениями сети связи общего пользования СКС имеют ряд специфических особенностей, которые накладывают заметный отпечаток как на их элементную базу в широком смысле, так и на применяемые в оптической подсистеме методы установки ОР. Одна из наиболее важных из них состоит в том, что стандарты и прочие нормативно-технические документы СКС предъявляют существенно менее жесткие требования в отношении допустимого уровня вносимых потерь, что является прямым следствием малой протяженности линий. Так, в частности, при строительстве линий междугородной, зоновой и даже городской связи величина потерь в сращениях ОВ нормируется цифрами 0,05–0,1 дБ, тогда как стандарты СКС являются в этом отношении значительно более мягкими и устанавливают величину данного параметра на уровне 0,3 дБ в независимости от формы его исполнения. При таких величинах потерь многие потенциальные возможности сварочного аппарата как технологического инструмента оказываются избыточными. Вместе с тем подавляющее большинство мелких и даже средних системных интеграторов, которые реализуют заметную долю проектов на рынке СКС, выполняют в процессе их исполнения не более нескольких десятков оконцовок ОВ в год, а необходимости в сращивании ОВ в промежуточных и разветвительных муфтах у них не возникает вообще. Это приводит к невозможности амортизации дорогостоящего сварочного аппарата за разумный по современным меркам срок. В то же время приглашение внешней специализированной организации с целью выполнения сварочных работ для таких компаний с их небольшим объемом оборота является экономически невыгодным.

При построении крупных СКС правилом, из которого почти нет исключений, является необходимость практически одновременной установки значи-

тельного количества оптических вилок (до нескольких тысяч в крупных проектах). Кроме того, как явствует из стандартов СКС, выполнение различного рода промежуточных соединений внутри тракта стационарной линии на всех уровнях проводки не приветствуется, а это именно те операции, где известные преимущества технологии сварки проявляются наиболее полно.

Отличительные особенности структурированной проводки в сочетании со стремлением к достижению максимальной эффективности применяемых технических решений привели к предложению разнообразных альтернативных методов установки ОР и сращивания волокон, а также к внедрению в широкую инженерную практику целой гаммы оригинальных разработок. Выбор конкретной технологии определяется местными условиями реализации проекта. В процессе выбора учитываются такие факторы, как предпочтения и пожелания заказчика, доступность элементной базы, а также требования к техническим характеристикам создаваемых трактов [184].

5.7.2. Формы исполнения элементной базы оптических разъемов

Элементная база для оконцевания оптических кабелей СКС может иметь две принципиально отличные друг от друга формы исполнения, каждая из которых, в свою очередь, реализуется в двух вариантах (рис. 103). Первая форма исполнения предполагает использование только элемента ОР (вилки или розетки), тем или иным способом устанавливаемого на ОВ. Способы реализации варьируются в зависимости от того, что поставляется на объект монтажа: набор исходных компонентов или уже частично предустановленные элементы, где ряд технологических операций с волокном был выполнен еще до выезда на объект монтажа, в стационарных заводских условиях. Обычно это наиболее ответственные операции заклейки, полировки и шлифовки, которые производятся с широким использованием автоматического и полуавтоматического оборудования, а на объекте осуществляется только сращивание волокон.

Решения первой группы дают возможность предельно уменьшить стоимость покупных компонентов. В случае применения подхода второго типа несколько снижается общее время выполнения монтажных работ, резко уменьшается количество отходов и практически стопроцентно гарантируются стабильность параметров и высокое качество.

Основным отличительным признаком второй разновидности методов оконцевания является применение так называемого монтажного шнура или пигтейла, рассмотренного в параграфе 7.1.2. Монтажный шнур присоединяется к световоду ОК с помощью сварки или механического сплайса (см. раздел 10.4). На ранних этапах развития техники оптической связи для этого использовался также клей, однако в силу целого ряда причин в современных условиях данное решение заметной роли не играет.

Технология с применением монтажного шнура относится к группе решений с выполнением части технологических операций по оконцеванию еще на этапе изготовления. Поэтому применение в случае технологии сварки прецизионного оборудования с высокой степенью автоматизации вследствие использования управляющего контроллера позволяет получить рекордно низкое на сегодняшний день время оконцевания ОВ в сочетании с минимальными вносимыми потерями.

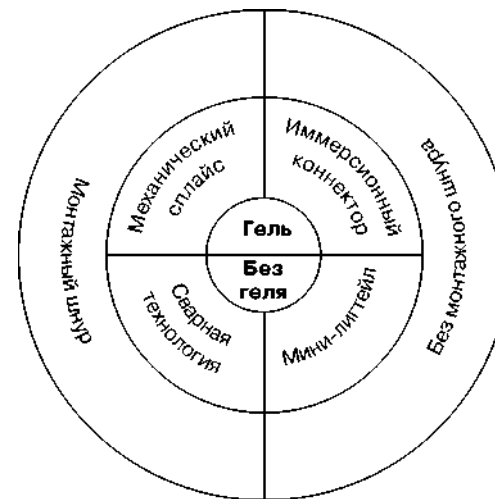


Рис. 103. Элементная база для сращивания волокон и установки разъемов в случае использования промежуточного отрезка волокна

5.7.3. Клеевые и механические методы фиксации волокна в наконечнике

Процедуры оконцевания световодов ОК элементами ОР, при которых ОВ фиксируется в центрирующем наконечнике или замещающем его элементе, относятся в настоящее время к классическим. Применяемые на практике разновидности реализующих их технологий могут быть в общем случае разделены на две основные подгруппы: с клеевой и механической фиксацией.

Клеевые методы оконцевания ОВ занимали доминирующее положение среди других технологий на первых этапах развития техники СКС. Сейчас они являются стандартным методом установки ОР практически во всех СКС как европейских, так и американских производителей (см. табл. 53). Этому способствуют простота реализации, универсальность и минимальная стоимость как применяемого инструмента, так и расходных материалов¹⁴.

¹⁴ При некоторой сноровке установить ОР по клеевой технологии с достаточно высоким качеством можно с помощью инструментов и материалов, имеющихся в любом хозяйственном магазине.

Таблица 53. Технические средства для установки разъемов некоторых производителей СКС

Компания-производитель	Тип СКС (тип оптической подсистемы)	Сплайсы	Сварочные аппараты	Клеевой состав
AMP, США	NetConnect (Solarum)	Corelink	–	Эпоксидная смола
Corning, США	LANscape	CamSplice	Serie X7	–
Commscope, США	Systimax (Optispeed)	CSL	–	Эпоксидная смола и двухкомпонентный клей
АйТи, Россия	АйТи-СКС	–	Fujikura FSM-17 FSM-50	Двухкомпонентный клей
Brand-Rex, Англия	Millennium (Helios)	–	Fiber Opticx	–
Nexans, Франция	Nexans Cabling System	–	–	Клей Hot Melt
RiT Technologies, Израиль	Smart	–	–	Эпоксидная смола
Panduit, США	PanNet	–	–	Двухкомпонентный клей

С точки зрения практической реализации клеевые методы монтажа ОР можно разделить на две разновидности. Первая из них фактически представляет собой адаптацию для специфической области использования известной заводской технологии заклейки ОВ эпоксидной смолой в центрирующий наконечник стандартного разъема SC, ST, FC, FJ и др. Перечень и последовательность основных технологических операций сохраняются неизменными, а целью всех известных в данной области нововведений является сокращение времени затвердевания клея до нескольких минут. Это достигается как использованием быстро затвердевающих эпоксидных составов, так и нагревом обычных до температуры 110–150°C в специальной малогабаритной электропечке на протяжении 5–10 мин.

При всех достоинствах эпоксидной смолы как фиксирующего состава, она может использоваться для работы в течение максимум 30–40 мин после смешивания исходных компонентов. Стремление к устранению этого недостатка привело к разработке других разновидностей клеев. Наиболее известными и часто применяемыми из них на сегодняшний день являются двухкомпонентные клеи различных модификаций, в том числе анаэробные, цианакрилатные, акрилатные и другие составы специальных видов [185]. Подбор исходных ком-

понентов выполняется с тем расчетом, чтобы параметры клеевой субстанции сохранялись на протяжении всего срока эксплуатации разъема.

Основная сложность приготовления двухкомпонентных клеевых составов для монтажа оптических вилок состоит в поиске компромисса между удобством установки и скоростью затвердевания (схватывания) клея. Ускорение затвердевания состава с невысокой скоростью схватывания достигается нанесением отвердителя непосредственно на поверхность волокна (подготовленный к заклежке конец ОВ предварительно смачивают в жидком или гелеобразном отвердителе). В случае составов с высокой скоростью схватывания каплю отвердителя наносят на клеевую шапку на торце наконечника после продевания волокна через канал. Наиболее серьезным недостатком двухкомпонентных клеев является небольшое гарантированное время хранения отдельных его составляющих вследствие происходящих в них необратимых химических процессов. В среднем оно оставляет несколько месяцев, у лучших образцов (таких, например, как состав Light Speed компании Siemon) достигает одного года.

Отдельного упоминания заслуживают также другие специальные клеевые составы. Наиболее известным из них является клей Hot Melt компании 3М, а также клеи, отверждение которых происходит под действием УФ излучения. Данные методы не получили достаточно широкого распространения. Причина малой популярности технологии Hot Melt состоит в том, что температура начала размягчения клея-расплава в 60°C недостаточно высока для некоторых случаев эксплуатации, что ощутимо сужает область его применения. В свою очередь, клей, отверждающийся под действием УФ излучения, требует применения прозрачных для УФ-лучей корпусов отдельных элементов ОР, а также специальной лампы.

Определенное ускорение процесса монтажа разъемов по клеевой технологии и, самое главное, улучшение качества обработки могут быть достигнуты за счет применения оригинальных автоматических или полуавтоматических технологических инструментов. В качестве примера таких решений можно привести портативные полировочные машинки 6850А компании 3М и FPOL компании Siemon.

Производители СКС нередко сохраняют в составе системы одновременно две клеевые технологии. В качестве обоснования такого подхода они ссылаются на необходимость удовлетворения пристрастий пользователей к той или иной конкретной технологии. Еще одним достаточно распространенным аргументом является ссылка на возможности реализации сильных сторон этих технологий в различных практических ситуациях.

Кроме клеевых методов, в их классическом исполнении определенную популярность на практике получили также решения с использованием других схем фиксации в наконечнике волокна в рабочем положении. Исторически первым ОР с фиксацией волокна в наконечнике вилки по «сухой» схеме было известное изделие Light Crimp компании AMP. Его характерной особенностью является необходимость дополнительной шлифовки и полировки ОВ

после его механической фиксации в канале наконечника. В силу ряда причин технического характера данное решение не получило широкого распространения, и, кроме АМР, одноточечную механическую фиксацию в серийных широко распространенных устройствах более не применяет никто.

Решения с фиксацией ОВ в наконечнике и его скалыванием заподлицо с торцевой поверхностью (например, по технологии компании Radiall) сколько-нибудь широкого распространения также не получили. Основной причиной этого является довольно высокая стоимость технологического приспособления для их реализации.

5.7.4. Иммерсионные разъемы

Появление ОР иммерсионного типа, иногда называемых также механическими коннекторами, было вызвано стремлением к поиску альтернативы клеевой технологии и устранению ее недостатков при работе в первую очередь в полевых условиях. Наиболее серьезными из них являются достаточно сложная многоэтапная процедура реализации технологии, необходимость применения значительного количества расходных материалов, а также наличие в составе клея весьма агрессивных химических веществ¹.

Иммерсионные разъемы представляют собой комбинацию механического сплайса (см. раздел 10.4) и предустановленного ОР, т. е. в соответствии с предложенной выше классификацией они относятся к решениям второй разновидности с частичным выполнением некоторых технологических операций в заводских условиях. Применение этих элементов позволяет радикально решить проблему уменьшения продолжительности монтажа при относительно невысокой стоимости оборудования и не слишком жестких требованиях в отношении квалификации монтажников. Такой эффект обеспечивается:

- устранением из процесса установки требующих повышенной аккуратности и занимающих много времени операций шлифовки и последующей полировки торцевой поверхности наконечника;
- применением в процессе монтажа комплекта хорошо отработанных технологических инструментов, в некоторых случаях снабжаемых элементами полуавтоматики.

Качество торцевой поверхности ОВ, необходимое для получения требуемых стандартами потерь в разъеме, достигается в данной разновидности ОР использованием наконечника, куда входит заклеенный, отшлифованный и отполированный в заводских условиях короткий отрезок волокна (так называемый prepolish ferrule). В процессе монтажа иммерсионного разъема обра-

¹ В большинстве фирменных инструкций по монтажу при попадании клея или отдельных его компонентов на кожу, а тем более в глаза или на слизистые оболочки рекомендуется немедленно промыть пораженное место большим количеством воды и обратиться к врачу.

ботанное в скалывателе волокно ОК после предварительной юстировки в направляющем элементе (трубка или V-образная канавка) соединяется в стык с отрезком световода наконечника, после чего фиксируется в этом положении, см. рис. 104.

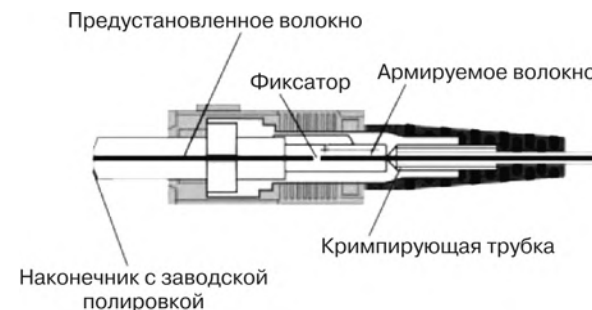


Рис. 104. Принцип иммерсионного разъема

Для улучшения технических и эксплуатационных параметров устанавливаемый на волокно компонент ОР изготавливается с направляющим элементом, заполненным иммерсионным гелем. Это позволяет эффективно устранить как френелевские потери (примерно по 0,17 дБ на каждом переходе воздух — стекло), так и обратные отражения. Дополнительным преимуществом данной конструктивной схемы является то, что наличие иммерсионного геля значительно снижает требования к качеству обработки торцевой поверхности сращиваемых волокон и в первую очередь к перпендикулярности среза. Последнее обстоятельство позволяет при установке иммерсионных ОР отказаться от применения необходимого при работе со сварочным аппаратом прецизионного скалывателя в пользу существенно более (в 3–5 раз) дешевого скалывателя изгибного типа, гарантирующего отклонение плоскости торцевой поверхности обрабатываемого волокна от перпендикуляра на величину не более 1,5°. В силу этого комплект инструментов для монтажа иммерсионных разъемов по стоимости практически не отличается от стоимости аналогичного набора для клеевой установки.

Типовая продолжительность монтажа иммерсионного ОР составляет приблизительно 1–3 мин. Меньшее значение соответствует случаю оконцевания ОВ в буферном покрытии 0,9 мм, большее — характерно для изготовления коммутационного и оконечного шнура из кабеля в шланге диаметром примерно 3 мм. Дальнейшее уменьшение продолжительности монтажа становится проблематичным, так как основное время в технологическом процессе занимают подготовительные операции, связанные с разделкой ОК, удалением защитных покрытий световодов и подготовкой ОВ к скалыванию. Фиксация

волокна на его штатном месте в подавляющем большинстве случаев осуществляется механическими средствами с помощью защелки или подпружиненного зажима. Исключений из данного правила известно немного, например это изделия компаний Panduit и Molex, где используется процедура заклейки ОВ на входе в направляющую с помощью быстросохнущего клея.

Разработчики иммерсионных ОР применяют в серийной продукции три основные разновидности конструктивного исполнения механических фиксаторов своих изделий. В решениях первой группы фиксатор удерживается в открытом состоянии стопором, а сама технология не предусматривает повторной переустановки элемента разъема (Quick Connect компании Mohawk/CDT) в случае возникновения такой потребности. Достоинством этого варианта являются несколько меньшее время установки и большее удобство монтажа, особенно в случае применения фирменной технологической оснастки. Во вторую группу входят те разъемы, в которых перед установкой тем или иным способом необходимо открыть фиксирующий механизм (наиболее известный представитель данной разновидности — Light Crimp компании AMP). В третьем типе исполнения, который можно рассматривать как промежуточный вариант двух предыдущих, защелка встает на свое штатное место под действием рабочего органа технологического инструмента (например, Fibrlok компании ЗМ). Последние две разновидности позволяют в случае необходимости переустановить разъем несколько раз. Кроме того, для работы с ними используются более простые технологические приспособления.

Фиксатор может устанавливаться в различных элементах ОР. Некоторые производители используют при оконцовке фиксацию волокон на вилке разъема, другие — в розетке. Вместе с тем в области перспективных многоволоконных разъемов, которые достаточно часто реализуются по несимметричной схеме, все заметнее проявляется тяготение к применению фиксирующего блока в розеточной части с разрешением использования для коммутации только шнуров фабричного производства. Последнее требование объясняется высокой плотностью ОВ в многоволоконном ОР и опасением разработчиков за возможные потери качества при сборке вилок в полевых условиях.

5.7.5. Технологии механического и сварного сращивания

Далеко не все производители СКС предусматривают в составе оборудования оптических подсистем средства для сращивания ОВ. Обоснованием такого подхода служит сравнительно небольшая протяженность кабельных линий, что позволяет в подавляющем большинстве случаев создавать их с использованием одной строительной длины. Тем не менее если производитель СКС считает необходимым иметь в составе своей системы средства для сращивания световодов, то он может взять на вооружение технологии механических сплайсов и сварки. Одним из главных преимуществ механических сплайсов

(см. табл. 54) являются заметно меньшие затраты на технологическое оборудование для их установки. Благодаря этому применение механических сплайсов оказывается экономически выгодным даже при выполнении сравнительно небольшого количества сращиваний и оконцовок (при сложившемся на рубеже веков уровне цен на российском рынке граница безусловного ценового превосходства технологии механических сплайсов над технологией сварки находится на уровне 200—300 сращиваний в год).

Таблица 54. Сравнительная характеристика различных методов оконцевания световодов

Метод	Время установки, мин	Стоимость комплекта инструментов, долл. США	Стоимость конструкции, долл. США	Примечание
Клеевая технология	5–20	450–1500	2–13	–
Иммерсионные разъемы	2–3	700–1200	8–15	–
Механические сплайсы	1–3	1000	7–20	Необходим организатор сплайсов
Технология сварки	1–2	8000–30 000	10–20	Необходим организатор защитных гильз

Отдельного упоминания достоин тот факт, что, как это следует из данных табл. 55, уровень вносимых потерь в точке сращивания в случае механических сплайсов лишь не намного превышает величину потерь в сростках, изготовленных методом сварки. Кроме того, обратное отражение в изготовленном сростке имеет ту же величину, что и в случае разъемов с качеством обработки торцевой поверхности ОВ класса SuperPC, а рабочий температурный диапазон сплайсов и кабелей внешней прокладки массового применения совпадает. Это, в частности, открывает перспективы ремонта кабельных линий, в том числе подсистемы внешних магистралей, и их дополнительной прокладки в небольших объемах в случае выполнения данного вида работ силами сотрудников отдела автоматизации и связи без привлечения специализированной строительной организации. С учетом необходимости решения подобных задач в некоторые СКС, например Systimax, в состав штатного оборудования введе-

ны промежуточные муфты для сращивания ОК внешней прокладки, сплайс-пластины которых рассчитаны на установку в них механических сплайсов. Совокупность данных обстоятельств технического и экономического характера определяет достаточно высокую (по крайней мере, в нашей стране) популярность включения комплекта инструментов для установки механических сплайсов в стандартное техническое предложение по реализации СКС в крупных организациях.

Таблица 55. Типовые параметры различных технологий полевой установки элементов оптических разъемов

Технология	Вносимые потери, дБ	Обратные отражения, дБ
Обычные разъемы	0,2–0,4	–26 ÷ –40
Механические сплайсы	0,1	–50
Сварка	0,05	–70

Технология сварки является в настоящее время самым распространенным среди строителей сетей связи общего пользования способом сращивания ОВ. Реализующие эту технологию сварочные аппараты используются:

- для соединения ОВ отдельных строительных длин кабелей в процессе строительства линий связи большой протяженности, а также во время монтажа разветвительных и переходных муфт;
- при оконцевании ОВ вилками ОР в случае применения монтажных шнуров.

По упоминавшимся выше причинам экономического и технического характера сварочные аппараты не получили повсеместного распространения в области структурированной проводки и включаются в состав штатного технологического оборудования лишь ограниченным количеством производителей СКС.

Стандарты и другие нормативно-технические документы СКС не содержат каких-либо рекомендаций по применению методов оконцовки и сращивания световодов. В данной ситуации производители СКС также не всегда берут инициативу на себя и во многих случаях точно следуют духу и букве этих документов, не налагая жестких запретов на использование технологии сварки и оставляя право окончательного выбора метода монтажа за системным интегратором. Более того, даже в случае отсутствия сварочных аппаратов в перечне штатного оборудования в список компонентов нередко включаются монтажные шнуры и организаторы сплайсов.

Общим принципиальным недостатком сварной технологии в классической форме ее реализации являются значительные габариты и масса элемента защи-

ты сростка, что особенно актуально при большом количестве сращиваемых ОВ. Устранить этот недостаток можно за счет применения так называемого мини-пигтейла (см. параграф 5.6.8). Применение мини-пигтейлов в сочетании с технологией сварки представляется наиболее перспективным в первую очередь именно для СКС и ЛВС. Это обусловлено как несколько меньшей чувствительностью оптических трактов в данной области к величине вносимых в месте сварки потерь, так и большей естественностью использования полуавтоматической схемы вследствие конструктивных особенностей мини-пигтейла.

5.8. Выводы

В оптических подсистемах СКС используются разъемы исключительно контактного типа, построенные по схеме физического контакта и унифицированные с аналогичными изделиями для сетей связи общего пользования. Применение подобных компонентов позволяет снизить их стоимость и упрощает процесс производства, построения и эксплуатации структурированной кабельной проводки. Одновременно унификация элементной базы дает возможность добиться заметного превышения характеристик разъемов над требованиями стандартов СКС в первую очередь по параметру вносимого затухания и обратного отражения.

Наличие широкой гаммы серийных разработок разъемов из группы SFF позволяет достигнуть в оптической подсистеме плотности портов, по меньшей мере не уступающей аналогичному параметру медножильной подсистемы. Дополнительным преимуществом элементной базы этой разновидности является то, что в нее еще на стадии разработки заложен принцип практически полной совместимости с разъемами модульного типа витопарной подсистемы по посадочным местам и идентичности по эксплуатационным параметрам.

Основная масса типов серийных оптических разъемов реализует симметричную схему построения, что выгодно в первую очередь с эксплуатационной точки зрения, так как унифицирует конструкцию и технологию монтажа на линейных и шнуровых кабельных изделиях. Определенное значение имеют также несколько более широкие функциональные возможности симметричных разъемов.

Среди перспективных изделий группы SFF наибольшей популярностью среди разработчиков и производителей СКС пользуется разъем MT-RJ, вторым по распространенности может считаться LC.

Использование основных компонентов оптического разъема оказывается технически выгодным в процессе конструирования разнообразных адаптеров. Изделия данной разновидности в массовом масштабе применяются при решении широкого круга задач, часто возникающих на этапах построения и эксплу-

атации структурированной проводки (изменение типа интерфейса, внесение в тракт передачи дополнительного затухания и т. д.).

В технике СКС находит применение значительное количество оригинальных технологий монтажа элементов разъемов, ориентированных на применение непосредственно на объекте установки кабельной системы. Это существенно упрощает и ускоряет процесс реализации оптической подсистемы. Каждый из внедренных в широкую инженерную практику методов позволяет гарантировать качество не только на уровне требований действующих редакций национальных и международных нормативно-технических документов, но и с определенным превышением пороговых значений.

Наибольшей популярностью среди методов установки вилок оптических разъемов пользуются клеевые технологии в различных вариантах реализации, в особенности с применением двухкомпонентных клеев. Наиболее быстро развивающейся разновидностью методов оконцовки волоконных световодов является технология с применением элементов иммерсионного типа с механическим принципом фиксации волокна в рабочем положении.

КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

6.1. Общие положения

6.1.1. Назначение

Оптические коммутационные (точнее коммутационно-разделочные) устройства выполняют функции оконечного интерфейсного оборудования стационарной линии и в соответствии с этим устанавливаются как в технических помещениях различного уровня, так и в помещениях для размещения пользователей. Для обозначения коммутационного оборудования, предназначенного для установки в штатном режиме в технических помещениях, в отечественной литературе часто используется термин «оптический кросс» [186].

Рассматриваемая далее разновидность технических средств в процессе построения и эксплуатации СКС выполняет две основные функции: создает условия для осуществления оконечной разделки линейных кабелей и формирует пользовательский интерфейс.

На этапе выполнения оконечной разделки ОК с помощью коммутационных устройств в большем или меньшем объеме производится следующий комплекс операций:

- фиксация линейных ОК в рабочем положении с креплением силовых элементов сердечника;
- установка вилок ОР на отдельные волокна линейных ОК с их последующим подключением к внутренней части розеток пользовательского интерфейса;
- укладка технологических запасов длин отдельных ОВ с соблюдением заданного радиуса изгиба;
- фиксация в рабочем положении гильз КДЗС и корпусов механических сплайсов;
- неразъемное соединение (сращивание) друг с другом ОВ различных магистральных или горизонтальных ОК в процессе организации постоянных транзитных соединений.

Отличительной особенностью этих действий является то, что они не затрагивают пользовательского интерфейса коммутационного устройства и выполняются преимущественно внутри его корпуса.

В процессе формирования пользовательского интерфейса отдельных подсистем СКС на оптические коммутационные устройства возлагаются следующие функции:

- создание трактов передачи за счет соединения ОВ линейных ОК различных подсистем друг с другом с помощью коммутационных шнуров (временное транзитное соединение или схема соединения cross-connect в соответствии с терминологией стандарта ISO/IEC 11801:2002);
- подключение к СКС сетевого оборудования через оконечные шнуры и, возможно, внешние шнуровые и/или навесные адаптеры (схема соединения interconnect в соответствии с терминологией стандарта ISO/IEC 11801:2002).

6.1.2. Технические требования

Согласно американскому стандарту TIA/EIA-568-B.3 оптическое коммутационное оборудование в независимости от назначения, области использования и варианта конструктивного исполнения должно обеспечивать:

- полное администрирования кабельной системы;
- подключение к кабельной системе интерфейсов активного сетевого оборудования;
- соединение ОВ кабелей различного назначения, заводимых в коммутационные устройства;
- возможность применения предусмотренной стандартами маркировки отдельных оптических портов и, в случае необходимости, различных функциональных секций коммутационного поля;
- соответствующую ТУ по механическим параметрам укладку отдельных волокон и линейных ОК целиком, а также коммутационных шнуров;
- возможность выполнения тестовых проверок всех стационарных линий и сформированных на их основе оптических трактов;
- защиту ОВ и розеток ОР от такого несанкционированного контакта с чужеродными объектами, который может привести к временному или постоянному ухудшению их передаточных параметров.

Положение американского и международных стандартов по части пунктов развивает и дополняет руководящий документ РД 45.064-99 [187] Министерства связи Российской Федерации. В соответствии с его требованиями оптическое коммутационное оборудование должно обеспечивать концевую заделку всех исполнений типов ОК, для монтажа которых оно предназначено. В тех случаях, когда осуществляется подключение кабелей с металлическими обо-

лочками и броневыми покрытиями, предусматривается их изоляция друг от друга, а также возможность электрического отключения этих оболочек и проводов заземления в процессе эксплуатации. При этом сечение заземляющего проводника принимается равным не менее 4 мм². Дополнительно на коммутационное оборудование накладывается требование идентификации световодов и соединительных розеток ОР с возможностью доступа к последним с обеих сторон. Укладка запасов длин ОВ должна осуществляться с радиусом изгиба не менее 30 мм.

Стандарт TIA/EIA-568-B.3 несколько смягчает последний параметр в отношении ИР в помещениях для размещения пользователей. Для них минимально допустимый радиус изгиба ОВ установлен равным в 25 мм. Выбор именно такого значения минимально допустимого радиуса изгиба обеспечивает примерно двухкратный запас по отношению к критической величине, так как заметное увеличение изгибных потерь для всех типов многомодовых ОВ начинается при их изгибе с радиусом менее 10 мм [188]. Кроме того, указанный нормативный документ требует, чтобы конструкция абонентской ИР обеспечивала возможность оконцевания в ней по меньшей мере двух световодов.

На оптическое коммутационное оборудование накладывается комплекс следующих требований монтажно-эксплуатационного плана:

- наличие емкости, достаточной для текущей эксплуатации кабельной системы и ее расширения в перспективе;
- обеспечение надежности в работе и удобства изменения конфигурации;
- получение высокой плотности коммутационного поля [189];
- достижение защиты глаз обслуживающего персонала от оптического излучения в соответствии с действующими нормами.

6.1.3. Конструктивные особенности

Оптическое коммутационное устройство в любом варианте его исполнения конструктивно выполнено в форме полностью или частично закрытого тонкостенного корпуса с элементами внешнего крепления. В зависимости от своего функционального назначения это оборудование может размещаться в монтажном конструктиве или устанавливаться непосредственно на стационарной монтажной поверхности (на стене, колонне, открыто и за фальшпотолком и т. д.).

Основными функциональными элементами конструкции оптических коммутационных устройств являются корпус, панель с розетками ОР, элементы маркировки, фиксаторы и организаторы.

6.1.3.1. Корпус

Корпус устройства в стоечном исполнении изготавливается из тонкого алюминиевого или стального листа, снабженного антикоррозийным покрытием. Настенные варианты из-за их меньших габаритов достаточно часто выпол-

няются из пластмассы. Известные образцы коммутационного оборудования, изначально сконструированные для эксплуатации в рабочих помещениях для размещения пользователей, имеют исключительно пластиковые корпуса.

Обязательным компонентом конструкции корпуса являются элементы его крепления к несущей поверхности или для установки в стойку. Доступ внутрь корпуса для выполнения монтажных, ремонтных и профилактических работ осуществляется через съемную или сдвижную крышку (возможно, прозрачную) либо дверцу на петлях. В стоечном оборудовании вполне возможны, хотя существенно реже применяются на практике из-за сложности конструкции и повышенной металлоемкости составные корпуса, состоящие из внешнего защитного кожуха и монтажного основания. Для выполнения монтажных и сервисных работ основание выдвигается в переднее положение или откидывается вбок на петле.

В процессе разработки корпуса различными конструктивными мероприятиями обеспечивается удобство доступа к ОВ на всем протяжении их длины и к розеткам ОР. Для достижения высокого уровня эксплуатационной надежности решения в целом применяются меры по защите внутреннего пространства от внешних механических воздействий, попадания внутрь посторонних предметов и пыли.

6.1.3.2. Панель с розетками

Данный элемент представляет собой пластинку с установочными отверстиями под розетки ОР. В коммутационном оборудовании первых поколений она являлась внешней интегральной составной частью корпуса. В конструкциях, выпуск которых освоен не позднее середины 90-х гг. прошлого века, панель достаточно часто выполняется в форме сменного элемента¹. В последнем случае она снабжается крепежными компонентами в различных вариантах их исполнения (винты, заклепки типа обратной цанги, различные разновидности поворотных и сдвижных фиксаторов язычкового типа). В связи с широким распространением в последнее время различных защитных кожухов, экранов и шторок, закрывающих в рабочем положении розетки ОР, панель может устанавливаться по внутренней схеме.

Как интегральные, так и сменные панели могут выпускаться в фиксированном и наборном вариантах. Фиксированный вариант предполагает наличие установочных гнезд под розетки ОР определенного типа. Наборное исполнение применяется на практике в двух разновидностях. Первая из них предполагает применение вставок-адаптеров с одной симплексной или дуплексной розеткой, см. рис. 105а. Основными достоинствами такого решения являются взаимозаменяемость по посадочным местам с розетками разъемов кабелей из витых пар и возможность использования вставок также в ИР на рабочих местах пользователей. Вторая разновидность панелей отличается наличием боль-

ших установочных гнезд, куда, в свою очередь, монтируются вставки с несколькими однотипными розетками ОР каждая, см. рис. 105б. К исполнению вставок в таком виде тяготеют главным образом американские производители оптического коммутационного оборудования.

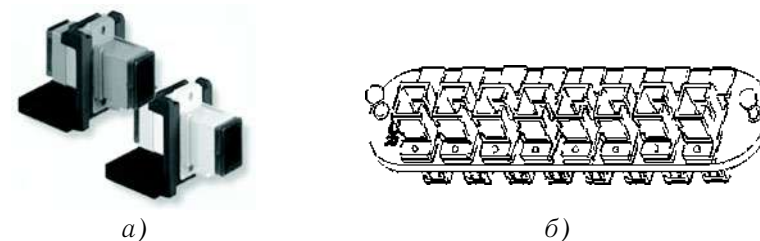


Рис. 105. Варианты исполнения вставок с оптическими разъемами для панелей коммутационных устройств:

а) вставка-адаптер индивидуального типа;

б) вставка «группового» типа

Штатным местом монтажа панели является передняя, боковая или нижняя часть корпуса в зависимости от схемы реализации коммутационного устройства. Основная масса типов сетевого оборудования требует для своего функционирования пары ОВ. Поэтому в случае возможности выбора наиболее целесообразным является применение дуплексных розеток. Коммутационное устройство и соответственно панель рассчитываются на определенное количество обслуживаемых ОВ. В случае оконцевания ОК с меньшей емкостью из соображений минимизации стоимости решения и улучшения его эстетических характеристик могут применяться два подхода. Первый из них основан на заказных конструкциях с заданным количеством установочных гнезд под розетки и реально реализуется только в случае локализации производства. Согласно второму подходу на панель на производстве, в лаборатории системного интегратора или непосредственно на объекте устанавливается требуемое количество розеток, а незадействованные монтажные проемы обязательно закрываются заглушками для защиты от попадания пыли и посторонних предметов внутрь корпуса.

Конструкция панели разрабатывается таким образом, чтобы обеспечивать удобство подключения вилок ОР к розеткам как внутри, так и снаружи корпуса. Розетки разъемов группы SFF часто конструируются таким образом, чтобы быть взаимозаменяемыми с розетками модульных разъемов RJ45. Отсюда от оптического коммутационного оборудования в стоечном исполнении следует ожидать плотности конструкции до 24 дуплексных оптических портов на 1U монтажной высоты конструктива.

Высота панели обычно заметно превышает высоту розетки ОР. Поэтому при необходимости увеличения плотности портов вполне может быть выпол-

¹ В англоязычной технической литературе такие элементы часто называются spair-in-модуль.

нен переход от однорядного расположения розеток к многоуровневым вариантам их монтажа. В случае дуплексных розеток, форма которых отличается от квадратной, на практике применяется их размещение на 1U высоты в двух уровнях с небольшим боковым смещением верхнего ряда относительно нижнего (полка FCP 2 компании Siemon) или в один ряд, но с разворотом под углом 45° относительно продольной оси, см. рис. 106. При установке розеток соблюдается правило параграфа 5.3.5 относительно одинаковой ориентации направляющих пазов или заменяющих их элементов.

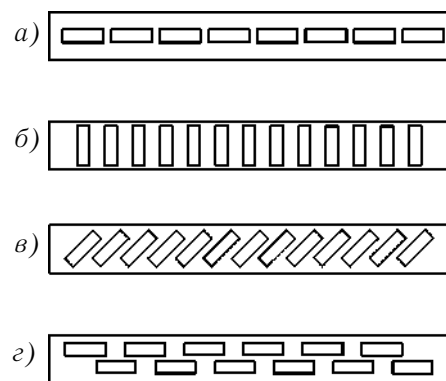


Рис. 106. Варианты расположения розеток оптических разъемов на передней панели коммутационного устройства:
а) горизонтальный; б) вертикальный; в) угловой;
г) двухрядный со смещением отдельных розеток

Известно также использование передних панелей зигзагообразной формы с парой симплексных розеток на каждой площадке. В качестве дополнительных преимуществ панелей данной разновидности разработчики называют уменьшение угла изгиба соединительного шнура при его вводе в организатор, а также улучшение уровня защиты органов зрения обслуживающего персонала при использовании сетевых интерфейсов с мощными лазерными излучателями. Массовое внедрение такого решения сдерживается технологическими сложностями изготовления панели.

Применяется также так называемая модульная конструкция, когда розетки монтируются на сменных вставках, унифицированных с аналогичными элементами настенных муфт. Это решение дает несколько меньшую плотность портов, однако позволяет устанавливать в одной полке розетки различных типов, используя их, в частности, как средство механической блокировки неправильного подключения.

Розетки в панели могут устанавливаться в заводских условиях или же монтироваться непосредственно на объекте. Первый подход более предпочтитель-

лен в отношении розеток симплексных ОР первых поколений, крепление которых осуществляется винтами или гайкой (FC, ST и аналогичные им). Розетки с креплением под защелку вполне могут монтироваться непосредственно на объекте.

Стационарные оптические линии СКС в некоторых случаях могут включаться в область действия системы интерактивного управления проводкой (подробнее см. параграф 8.2.1). В этом случае оптические коммутационные устройства дополнительно оборудуются элементами, обеспечивающими возможность отслеживания процесса установления соединения и управления изменением конфигурации. В перечень этих компонентов, которые устанавливаются как с лицевой, так и с задней стороны передней панели, входят чувствительные элементы датчиков подключения, индикаторные СД, разъемы ленточных кабелей для соединения с главным и вспомогательным сканерами и т. д.

6.1.3.3. Элементы пользовательской маркировки оптических розеток

Розетки отдельных ОР, а также их совокупность, образующая различные функциональные секции коммутационного поля, должны быть снабжены соответствующей маркировкой, облегчающей выполнение процедур администрирования. Для этого используются как маркирующие надписи, выполненные, например, по ISO/IEC 14763-2, так и окраска отдельных съемных компонентов панелей в стандартные маркировочные цвета в соответствии с TIA/EIA-606-A [190].

Для маркировки розеток используются в основном те же элементы, которые применяются в электрических панелях различных видов. Отметим только две особенности, прямо вытекающие из специфики рассматриваемого оборудования. Во-первых, практически не получила распространения практика маркировки цветными пластиковыми вставками, дополнительно снабженными иконками (как пример исключения укажем полки из состава СКС Siemon Cabling System). Во-вторых, в связи с широким распространением в конструкциях полок и настенных муфт защитных экранов и кожухов, закрывающих в рабочем положении розетки ОР с подключенными к ним вилками, клеевые этикетки и сменные надписи часто устанавливаются на внешней поверхности их панели.

6.1.3.4. Кабельный фиксатор

Кабельный фиксатор является основным элементом кабельного ввода и используется для крепления магистрального или горизонтального ОК на входе в корпус. На практике применяются три основные разновидности конструктивного исполнения данного компонента: в виде зажима под винт или под защелку, цанги, перфорированной планки или лапки под стяжку с вертикальной или горизонтальной ориентацией. Решения «под стяжку» не всегда обеспечивают достаточную жесткость фиксации и поэтому иногда применяются в комбинации с другими вариантами крепления.

В некоторых случаях в оптическую полку вводится ОК внешней прокладки. Наибольшее распространение среди этих изделий имеют модульные кон-

струкции. С учетом этого обстоятельства некоторые полки снабжаются дополнительным фиксатором центрального силового элемента.

Конструкция фиксатора оказывает непосредственное влияние на количество ОК, обслуживаемых коммутационным устройством. Обычно фиксаторы, обеспечивающие чисто механическое крепление кабеля, рассчитаны только на один ОК. В тех случаях, когда функции крепежного элемента выполняет стяжка, количество вводимых и фиксируемых кабельных изделий может увеличиваться до четырех.

6.1.3.5. Внутренние организаторы

При построении оптических коммутационных устройств находят применение две разновидности внутренних организаторов. Организаторы световодов предназначены для хранения технологического запаса длины ОВ в муфтах и полках. Организаторы сплайсов используются для фиксации корпусов механических сплайсов и защитных гильз сростков. Общими требованиями к организаторам в независимости от их назначения являются рациональное использование внутреннего объема корпуса коммутационного устройства и возможность реализации любой технологии сращивания световодов.

Организаторы световодов должны обеспечивать:

- соединение всех ОВ во всех ОК с соблюдением заданного радиуса изгиба (обычно величина этого параметра на основании требований параграфа 6.1.2 принимается равной не менее 30 мм);
- минимальное увеличение оптического затухания, в том числе при механических воздействиях и изменениях температуры;
- идентификацию и доступ к любому ОВ;
- хранение запаса ОВ длиной до 1,5 м (фактически два-три витка), необходимого для повторного соединения световодов при изменении схемы связи;
- защиту волокон и элементов их сращивания от механических воздействий в процессе монтажных и сервисных работ;
- надежную фиксацию корпусов сплайсов и гильз.

Задача обеспечения заданного радиуса изгиба, что является необходимым условием получения требуемого уровня эксплуатационной надежности, решается двумя различными способами. Первый из них основан на применении различных механических направляющих, которые физически не дают изгибать ОВ с радиусом менее допустимого. Второй способ предполагает наличие на корпусе организатора отметок, выход за пределы которых свидетельствует об изгибе волокна с недопустимо малым радиусом.

В практике построения оптических подсистем СКС находят применение следующие конструктивные разновидности организаторов световодов:

- пластиковый барабан с горизонтальными боковыми лепестками, предусматривающий укладку колец технологического запаса волокон «внатяг»;

- полимерный или металлический поддон с загнутыми вверх и внутрь краями, использующий укладку колец технологического запаса волокон «в расклин». Для обеспечения возможности ввода ОВ в организатор на загибах выполняются прорези;
- несколько стационарных или съемных разрезных колец, при этом съемные кольца фиксируются в корпусе на защелках или с помощью поворотного зажима.

Первые два решения из приведенного перечня в некоторых случаях используются совместно.

Организаторы сплайсов выполняются в виде:

- гребенки из различных полимерных материалов, наклеиваемой на монтажное основание организатора ОВ или фиксируемой на штатном рабочем месте под защелку;
- гребенки, выполненные в форме составной части монтажного основания организатора ОВ;
- пластмассового основания с намагниченной пластинкой и направляющими пазами, обеспечивающими ровный ввод световодов.

Защитные гильзы термоусадочного типа могут иметь упрочняющий стержень из керамики. С учетом этого обстоятельства последний вариант организатора распространен на практике в очень ограниченных масштабах.

Некоторые разновидности организаторов первых двух типов имеют увеличенную глубину монтажного паза. Такое решение позволяет в случае необходимости устанавливать в гнездо одновременно две гильзы КДЗС.

Достаточно часто организаторы световодов и сплайсов конструктивно выполняются в виде единого неразборного или модульного блока. Такой комбинированный элемент называется кассетой для выкладки волокна [191] или сплайс-пластиной, см. рис. 107. В случае реализации сплайс-пластины по сборной схеме ее основными конструктивными блоками являются основание, крышка и фиксатор защитных гильз или механических сплайсов. Некоторые конструкции сплайс-пластины для расширения функциональной гибкости предусматривают две возможности ввода в них световодов: параллельно продольной оси и под углом 45° к этой оси.

При большом количестве соединителей (обычно свыше 12) используется несколько сплайс-пластин, устанавливаемых друг над другом. Для обеспечения доступа к кассетам, которые находятся во внутренней части такого «стека», практикуется выдвижная или (существенно реже) откидная схема. Вариациями второй схемы установки является поворот корпуса вокруг оси, совпадающей с его

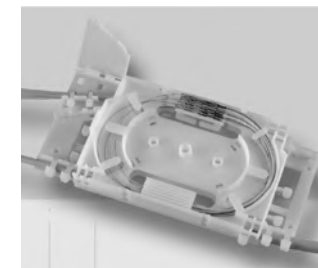


Рис. 107. Сплайс-пластина

плоскостью или перпендикулярной ей. В зависимости от конструктивного исполнения угол поворота может достигать 180°.

Установка отдельных сплайс-пластин рядом друг с другом для наращивания их общей суммарной емкости встречается существенно реже из-за крайне неэкономичного расходования площади внутреннего пространства корпуса коммутационного устройства.

Организаторы крепятся в корпусе коммутационного устройства

- на защелках;
- на винтах или шпильках под гайку;
- с помощью двухсторонней липкой ленты;
- с помощью пластмассового зажима;
- с использованием матерчатой ленты или резиновой стяжки.

Последний вариант не обеспечивает необходимой жесткости и надежности фиксации без дополнительных средств и в современных конструкциях используется преимущественно для фиксации в рабочем положении откидных кассет.

6.1.4. Варианты организации внутренней разводки

Схема внутренней разводки коммутационного устройства полностью определяется используемой технологией установки вилок ОР на ОВ. На практике находят применение три основные разновидности реализации этой процедуры, которые в схематическом виде показаны на рис. 108.

В самом простейшем варианте, который изображен на рис. 108а, внутри корпуса не выполняется дополнительное промежуточное соединение ОВ. На практике находят применение три основные разновидности реализации этой процедуры, которые в схематическом виде показаны на рис. 108.

В самом простейшем варианте, который изображен на рис. 108а, внутри корпуса не выполняется дополнительное промежуточное соединение ОВ. На световоды 1 и 2 кабеля 7 тем или иным способом устанавливаются вилки 3 и 4 ОР, которые в процессе дальнейшей укладки подключаются к внутренней части розеток. Такой вариант является типичным для случая использования клеевой и механической технологий оконцевания (см. раздел 5.7), а также при применении классической претерминированной сборки (см. параграф 7.3.1) с оконцовкой ОВ вилками симплексных ОР. Аналогичная разводка получается также при применении так называемых мини-пигтейлов (см. параграф 5.6.8), так как при этом выполняется дополнительное сварное соединение ОВ, скрытое в корпусе этого элемента.

Более сложный вариант изображен на рис. 108б и характерен в основном для случая претерминированной сборки с групповым разъемом 5. Для перехода от группового ОР к розеткам пользовательского интерфейса предназначен короткий комбинированный шнур, остающийся внутри корпуса и обычно недоступный пользователю. В модульных и модульно-кассетных решениях (см. раздел 8.3) также используется схема рис. 108б, отличающаяся только выносом розетки группового разъема на заднюю поверхность корпуса.

При больших объемах работ по созданию волоконно-оптических подсистем СКС широко применяются технологии сварки и установки механических

сплайсов (рис. 108в). Для них характерно применение монтажных шнуров длиной порядка 120 см. Использование этой элементной базы обязательно сопровождается введением в тракт распространения оптического сигнала дополнительного неразъемного соединения. Элементы 6, которые обеспечивают такое соединение (защитные гильзы и корпуса механических сплайсов), из-за их значительной по сравнению с волокном массы обязательно фиксируются внутри корпуса устройства в соответствующем организаторе.

При использовании схем рис. 108а и рис. 108в требуются достаточно большие технологические длины волокон. В процессе сборки коммутационного устройства они с привлечением организатора укладываются в корпусе с соблюдением заданного радиуса изгиба.

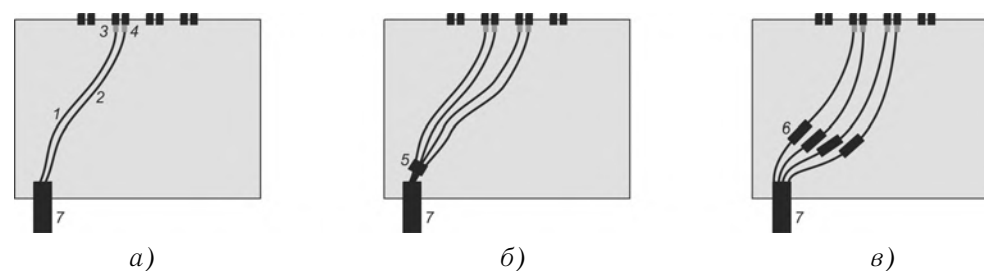


Рис. 108. Типовые схемы внутренней разводки оптических коммутационных устройств:
а) в случае непосредственной установки вилок на волокно;
б) при применении разветвительного шнура; в) в случае использования монтажных шнуров: 1, 2 — оптические волокна; 3, 4 — вилки симплексных оптических разъемов; 5 — групповой оптический разъем; 6 — механический сплайс или гильза КДЗС; 7 — линейный оптический кабель

6.2. Коммутационное оборудование стоечного типа

Коммутационное оборудование стоечного типа или стоечного исполнения применяется в технических помещениях различного уровня и является в этой области основным видом оптических кроссов. В настоящее время оно выполняется в форме полок, предназначено для установки в традиционные для СКС монтажные конструктивы 19-дюймового или иного другого стандартного формата и в массовых масштабах используется в процессе реализации оптических подсистем. Полную совокупность известных конструкций этих видов изделий можно разделить на две большие группы. К первой из них отнесем оптические полки с фиксированным корпусом, полки с подвижным корпусом образуют вторую группу.

6.2.1. Коммутационные полки с фиксированным корпусом

Коммутационные полки данной разновидности, см. рис. 109, отличаются тем, что в процессе эксплуатации являются неподвижными относительно крепежных рельсов 19-дюймового конструктива. Для выполнения монтажных и измерительных работ, связанных с доступом внутрь корпуса, в подавляющем большинстве случаев осуществляется их демонтаж со штатного места установки.



Рис. 109. 19-дюймовая коммутационная полка

Для установки этих изделий на штатном рабочем месте чаще всего используются съемные кронштейны. В некоторых случаях их крепежные отверстия выполнены в форме длинных прорезей, что дает возможность осуществлять плавное изменение глубины монтажа полки относительно монтажных рельсов. Практикуется также замена прорезей несколькими круглыми отверстиями, которые обеспечивают только дискретное регулирование глубины установки корпуса. Иногда

проблема изменения этого параметра решается изготовлением на заказ кронштейнов различной длины. Диапазон регулирования глубины установки при таком исполнении корпуса составляет примерно 50–100 мм.

Ввод кабеля в корпус обычно выполняется с задней стенки. Некоторые конструкции допускают ввод ОК с левой, с правой или с задней стороны корпуса, что придает им большую функциональную гибкость. Известны также изделия серии OR-625MMC компании Ortronics, в которых два кабельных ввода в виде прямоугольных отверстий выполнены в крышке корпуса.

Полки, разработанные в период вплоть до середины 90-х гг. прошлого века, обычно комплектовались прямым кабельным вводом, плоскость которого совпадала с плоскостью задней или (существенно реже) боковой стенки корпуса. Это вызывало определенные проблемы монтажного характера, которые проявлялись в первую очередь в случаях разделки отличающихся повышенной жесткостью ОК внешней прокладки и были связаны с трудностями обеспечения заданной ориентации его концевой участка в достаточно тесном пространстве закрытых 19-дюймовых конструктивов. Для устранения данного недостатка в современных конструкциях широко применяются решения, обеспечивающие подачу ОК в корпус под определенным углом к продольной оси полки. Технически это может быть оформлено в виде выступа или выемки треугольной в плане формы на задней стенке корпуса, на котором установлен цанговый зажим, см. рис. 110. В случае выбора такого варианта исполнения задней стенки узел ввода может быть выполнен сменным и подбирается в процессе проектирования в зависимости от конкретной ситуации. Встречается исполнение узла ввода в виде проема в задней стенке, за которым под углом в 45° установлена планка под стяжку. Малая популярность такой конструкции

обусловлена меньшей жесткостью крепления и появлением в корпусе большого открытого отверстия. Известен также промежуточный вариант, когда на планке монтируется цанговый держатель.

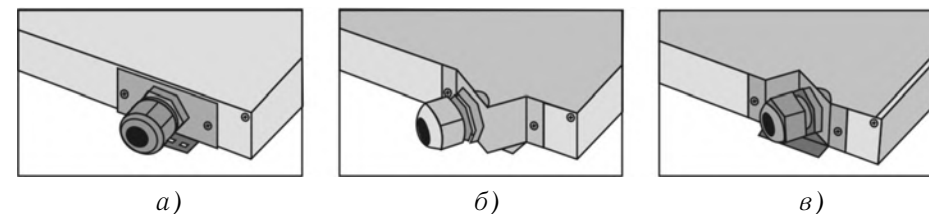


Рис. 110. Варианты расположения кабельных вводов цангового типа в оптических полках:
а) прямой; б) угловой с выступом;
в) угловой с выемкой

В самом конце 90-х гг. прошлого века определенную популярность получила конструкция с одним вводом в виде достаточно длинного отверстия со скругленными краями, выполненным в центре задней стенки корпуса. При таком исполнении ввода ОК укладывается горизонтально вдоль задней стенки до отверстия и фиксируется стяжками в нескольких местах, а в корпус вводятся только трубки модулей [192]. Кабель и место ввода модулей могут дополнительно закрываться декоративной крышкой (изделия компании «Волоконно-оптическая техника» и фирмы Raychem). Данное решение из-за распределенной фиксации отличается очень надежным удержанием линейного кабеля, однако несколько неудобно в стесненных условиях, характерных для 19-дюймовых монтажных конструктивов, и поэтому не получило широкого распространения в области СКС.

Кроме фиксаторов, представляющих собой интегральную составную часть корпуса, на практике находят применение также съемные разновидности этих элементов. Необходимость их внедрения обусловлена неудобством фиксации кабеля непосредственно на корпусе полки (решение компании Оптел) или стремлением к расширению функциональных возможностей и обеспечения крепления наряду с кабелями внешней прокладки также более тонких и обладающих меньшей устойчивостью к воздействию раздавливающих усилий ОК внутренней прокладки (полки АйТи-СКС). В первом случае съемный защитный кожух снабжен дополнительной фиксирующей скобой, во втором случае в прижимной пластинке кабельного ввода выполнены два дополнительных овальных отверстия для прохода фиксирующей пластиковой стяжки.

6.2.2. Коммутационные полки с подвижным корпусом

Коммутационные полки с подвижным корпусом разработаны с целью обеспечения удобства монтажа и последующего эксплуатационного обслуживания.

Основным отличительным признаком их конструкции является то, что в процессе выполнения монтажных и сервисных работ корпус может быть каким-либо способом переведен в переднее положение относительно монтажных направляющих без демонтажа крепежных кронштейнов. Реализация данного свойства обеспечивается за счет линейного или углового перемещения корпуса полки. При линейном перемещении речь обычно идет о традиционных конструкциях, отличающихся только установкой крепежных кронштейнов на корпусе на полозьях. Такое исполнение позволяет выдвигать корпус полки в переднее положение и иногда откидывать вниз примерно на 30°. Полки с угловым перемещением корпуса характеризуются наличием внешнего кожуха и боковой оси или петли, вокруг которой осуществляется поворот, в результате чего открывается доступ во внутреннее пространство корпуса.

Использование тех преимуществ, которое дает возможность линейного или углового перемещения корпуса полки, достаточно проблематично в часто встречающемся на практике случае ввода в него жесткого кабеля внешней прокладки.

6.2.3. Другие разновидности пассивного оптического коммутационного оборудования стоечного типа

В практике построения 19-дюймового коммутационного оборудования СКС определенную популярность получили так называемые разборные блоки 19-дюймовых коммутационных панелей. В гнезда этих панелей могут быть установлены также вставки соответствующего дизайна с розетками ОР, применяемые для организации информационных розеток на рабочих местах. Такое решение позволяет как очень гибко менять конфигурацию кроссового поля, так и создавать панели только или же в основном с оптическими розетками. На практике данным вариантом пользуются достаточно редко из-за неудобства монтажа (отсутствует организатор ОВ, гильз КДЗС и корпусов механических сплайсов). Для его устранения компанией Panduit предложен барабанный организатор ОВ типа fibre spool (рис. 115а), который навешивается на задней части панели на специально предусмотренном для этой цели крепежном кронштейне.

Другой способ расширения функциональной гибкости разборных блоков используется компанией Nexans. Ее конструктив образован универсальной передней панелью серии Omega типа ACS-202.125, в монтажные отверстия которой вставляются 6-портовые оптоволоконные модули (рис. 112). Последний имеет переднюю стенку с розетками ОР и заднюю горизонтальную в рабочем положении полку с элементами для установки сплайс-пластины и монтажа кабельного фиксатора. Вся конструкция в сборе может рассматриваться как бескорпусной (в смысле отсутствия крышки) вариант полки. Она имеет меньшую стоимость, но не защищает ОК и его ОВ от механических воздействий и отложений пыли.

От указанного выше недостатка свободна так называемая Global Fibre Panel английской фирмы RW Data Cabling Sciences, имеющая аналогичную конструктивную схему. В этом изделии модули с розетками ОР, держателем кабелей и сплайс-пластиной после установки в лицевую панель закрываются индивидуальными защитными крышками.

В тех ситуациях, когда проводка реализуется на основе композитивных кабелей (конструкция типа breakout), возможно некоторое снижение требований к уровню механической защиты коммутационных устройств. С учетом данной особенности компания Corning ввела в состав оптической подсистемы своей СКС LANscape открытый корпус с упрощенной конструкцией типа FCH, см. рис. 111.



Рис. 111. Коммутационная панель типа FCH

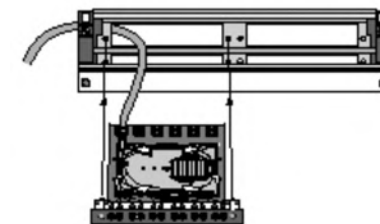


Рис. 112. Коммутационная панель компании Nexans с оптическим модулем

В виде 19-дюймовой полки могут выполняться не только коммутационные устройства, но и промежуточные муфты. Примером могут служить изделия 404 866 и 404 867 (максимальная емкость — 24 и 48 соединений соответственно) немецкой компании Datwyler. Сращивание ОВ в такой полке выполняется через розетки ОР. Для установки этих розеток внутреннее пространство полки разделено продольной стенкой на две части.

Другой вариант реализации промежуточной муфты для монтажа в 19-дюймовом конструктиве реализует следующая конструкция. Корпуса настенных муфт типов LIU100 и LIU200, входящие в состав СКС SYSTIMAX, могут быть установлены напротив друг друга на монтажной пластинке типа 742А. При этом панели с розетками ОР крепятся только в одном из корпусов и используются для подключения вилок, оконцовывающих световоды ОК, вводимых в различные корпуса.

Использование данной конфигурации вместо обычных 19-дюймовых полок дает следующие преимущества:

- переход от схемы cross-connect (в смысле положений стандарта ISO/IEC 11801:2002) к схеме interconnect, что сопровождается снижением стоимости за счет уменьшения вдвое количества розеток и лицевых панелей, а также исключением коммутационных шнуров из перечня необходимого оборудования;

- уменьшение суммарных потерь в тракте за счет сокращения количества ОР.

При всей оригинальности подобного решения его сколь-нибудь массовое распространение серьезно сдерживается крайне нерациональным использованием полезной высоты монтажного конструктива.

6.3. Настенные муфты

6.3.1. Классические конструкции

Настенные муфты, настенные распределители, коробки (wall box) или шкафчики¹, из-за своего характерного внешнего вида также называемые в некоторых отечественных публикациях этажными кроссами шкафного исполнения [193], в процессе строительства и эксплуатации СКС выполняют функции коммутационного устройства ОК относительно небольшой емкости (как правило, не более 24 ОВ). В этом качестве муфты наиболее удобны в тех ситуациях, когда активные сетевые приборы и коммутационное оборудование монтируются по настенной схеме без применения закрытых конструктивов типа шкафов.

Настенные муфты существенно чаще по сравнению с 19-дюймовыми полками применяют также для перехода между ОК внешней и внутренней прокладки, выполняя функции промежуточной муфты. В этой ситуации корпус данного устройства не имеет розеток ОР и устанавливается недалеко от кабельного ввода в здание.

Конструкция муфты обычно проектируется исходя из расчета ее монтажа и эксплуатации в технических помещениях с ограниченным доступом посторонних лиц. Некоторые изготовители выпускают настенные муфты, снабженные металлическим защитным корпусом во влагозащищенном исполнении с замком на дверце. Это позволяет осуществлять их установку в помещениях со свободным доступом.

Принципиальным недостатком настенной муфты в классическом варианте ее исполнения является отсутствие встроенного или съемного организатора коммутационных шнуров. Поэтому в процессе эксплуатации шнур постоянно провисает и в большинстве случаев изгибается под действием собственной тяжести, что в определенных пределах снижает его эксплуатационную надежность. Кроме того, настенный способ крепления муфты затрудняет ее соединение с оптическими интерфейсами активного сетевого оборудования, которое в соответствии с современной практикой реализации проектов располагается

¹ Это название прижилось в отечественной научно-технической литературе и профессиональном жаргоне некоторых специалистов по кабельным системам, вероятно, из-за того, что оно применяется в СКС Molex Premise Networks, которая исторически первой появилась в нашей стране. С Россией работает находящийся в Варшаве офис производителя этой СКС, а по-польски данный элемент из-за своего характерного внешнего вида называется szafka — шкафчик.

в основном в стойках и шкафах различного вида. С учетом этих двух обстоятельств конструктив данной разновидности используется преимущественно при организации небольших СКС в тех случаях, когда на первый план выдвигается требование дешевизны получаемого решения.

6.3.2. Особенности конструктивного исполнения

Конструктивно муфта представляет собой тонкостенный металлический или пластмассовый корпус, внутри которого размещаются организаторы и элементы крепления ОК, см. рис. 113. Передняя панель выполняется в форме откидной дверцы или съемной крышки и обеспечивает доступ внутрь корпуса. Розетки ОР обычно располагаются в один или два ряда на правой боковой поверхности корпуса или на внутренней разделительной стенке корпусов больших размеров (под правую руку специалиста, выполняющего коммутацию). В том случае, если число розеток не превышает 4–6, они иногда ориентируют вниз. При таком расположении этих элементов некоторое неудобство подключения вилок полностью компенсируется преимуществом более эффективной защиты от загрязнений при неподключенных коммутационных шнурах.



Рис. 113. Различные варианты исполнения настенных муфт

В качестве основы корпуса настенной муфты достаточно часто используются широко распространенные электротехнические коробки небольших размеров. Такое решение обосновывается хорошими эстетическими показателями этого изделия. Вторым немаловажным доводом в его пользу является то, что из-за герметичности корпуса в процессе эксплуатации в его внутреннем пространстве не накапливаются отложения пыли. Отверстия для установки розеток выполняются в корпусе в заводских условиях или сверлятся непосредственно на объекте монтажа «по месту». В последнем случае для улучшения эстетических характеристик готовой муфты рекомендуется пользоваться разметочным шаблоном.

В муфтах импортного производства для установки розеток достаточно часто применяются сменные вставки-адаптеры, которые в известных изделиях имеют по шесть установочных гнезд под розетки ОР и крепятся с помощью двух фиксаторов цангового типа. Вставки выполняются унифицированными с возможностью применения также в полках модульной конструкции этого же производителя.

Одной из наиболее серьезных проблем, которая обусловлена в первую очередь установкой муфты вне пределов монтажного конструктива, является необходимость обеспечения механической защиты подключаемого к розетке ОР соединительного шнура. Конструктивными методами задача защиты решается применением внутренней стенки для монтажа розеток или же с дополнительного внешнего жесткого откидного Г-образного экрана. Последний изготавливается из металла или прозрачной пластмассы и достаточно часто снабжается внутренним замком. Дополнительное увеличение уровня эксплуатационной надежности изделия целиком достигается тем, что отсек для установки сплайс-пластины муфт больших размеров может иметь собственную крышку с замком (так называемые двухдверные конструкции). Этот замок не может быть открыт ключом от замка защитного экрана (муфты из состава СКС типа rdm freenet фирмы Reichle & De-Massari, изделия из состава СКС NetConnect компании Tyco Electronics и некоторые другие).

Для обеспечения возможности монтажа нескольких муфт друг над другом без бокового смещения в левой части корпуса некоторых конструкций предусматривается место для транзитного прохода ОК.

Одной из проблем работы с настенными муфтами, рассчитанными на большое количество портов, является сложность доступа к внутренней стороне розеток в процессе выполнения подключений и перекоммутаций. Для устранения этого недостатка компанией Ortronics предложена муфта Surface Mount Fibre Cabinet, конструкция которой основана на откидной монтажной рамке по образцу трехсекционных настенных 19-дюймовых шкафов. Проблема обеспечения доступа во внутреннее пространство корпуса решается за счет возможности откидывания центральной секции на петлях вбок.

6.3.3. Специальные конструкции

Основная масса известных на рынке настенных муфт ориентирована на применение в технических помещениях различного уровня. В тех ситуациях, когда задача коммутации оптических трактов, а также сращивания и разветвления ОК решается вне технического помещения, возможно применение специализированных конструкций, наилучшим образом адаптированных к конкретным местным условиям.

В рамках реализации такого подхода настенная муфта вполне может быть выполнена в варианте для эксплуатации в жестких условиях окружающей среды, в том числе по климатическим параметрам. Так, в частности, в рамках реализации данной концепции компания Telegartner предлагает настенную муфту со степенью защиты IP66. Отличительной особенностью этой конструкции является исполнение ее корпуса из ударопрочного негорючего пластика, применение внутренней съемной панели с розетками ОР и наличие индивидуальных гермовводов для линейного ОК и коммутационных шнуров.

Комплекс технических требований к настенной муфте не включает в себя положения об обязательной открытой установке этого элемента структурированной проводки. С учетом данной особенности компанией Telegartner предложена также малая настенная муфта, ориентированная на размещение внутри настенных кабельных каналов шириной не менее 80 мм. Изделие имеет упрощенный дизайн, конструктивно очень похоже на сплайс-пластину и может монтироваться на штатном рабочем месте как с помощью винтов, так и методом установки на шины различных видов. Перспективы использования подобного элемента в проектах серьезно стимулирует рост популярности применения при построении оптической подсистемы СКС сварной технологии сращивания ОВ.

6.4. Информационные розетки

6.4.1. Общие положения

Оптические информационные розетки ИР (telecommunications outlet box) устанавливаются в рабочей области (work area) офисного помещения и выполняют функции интерфейсного элемента СКС для пользователей. Со стороны линейной части системы к ИР подключается горизонтальный ОК, связывающий ее с КЭ, абонентская сторона снабжена розеткой ОР для подключения оконечных коммутационных шнуров.

Согласно американскому и международному стандартам основным видом розеточных модулей для розеток рассматриваемого вида являются SC. Допускается также установка розеток ОР группы SFF без конкретизации их типа. В случаях модернизации и развития кабельных систем, в которых ранее применялись розетки разъемов ST, их разрешается использовать дальше.

Требования к конструкции ИР практически полностью совпадают с требованиями, предъявляемыми к коммутационному оборудованию технических помещений с некоторой естественной коррекцией на область использования. Наиболее существенные отличия согласно американскому стандарту TIA/EIA-568-B.3 заключаются в следующем:

- корпус ИР должен обеспечивать возможность установки одной или нескольких розеток ОР, обслуживающих минимум два ОВ;
- конструкция ИР должна выбираться таким образом, чтобы обеспечить хранение технологического запаса ОК с гарантированным радиусом изгиба не менее 25 мм.

В зависимости от специфики решаемой задачи применяют одну из нескольких возможных конструкций данного элемента кабельной проводки, отвечающих этим требованиям и наилучшим образом соответствующих конкретным условиям реализуемого проекта.

6.4.2. Классические конструкции

ИР оптической подсистемы СКС в традиционном варианте исполнения практически повторяет конструкцию розетки кабелей из витых пар. Она состоит из



Рис. 114. Оптическая информационная розетка в виде вставки

корпуса, в котором смонтирована одна или несколько розеток ОР, и, возможно, некоторых дополнительных компонентов см. рис. 114.

На практике встречаются варианты исполнения как с прямой, так и с угловой с выступом и выемкой установкой розеточных модулей. Из соображений обеспечения единообразия с медножильной частью СКС предпочтительной является установка этих модулей направляющими пазами вниз. Особенно строго данное положение должно соблюдаться для ОР, в основу которых положен принцип push-pull. При выборе схемы монтажа из соображений единообразия и выполнения рекомендаций стандарта ISO/IEC 11801 целесообразно использовать такую схему разводки, чтобы в случае применения симплексных разъемов левый розеточный модуль маркировался символом А.

Требование соблюдения минимального радиуса изгиба ОК в розетке на уровне 25 мм во многом определяет ее конструкцию. В случае внутренней установки монтаж этого компонента следует осуществлять в короб размером 50 × 100 мм и более. При реализации розетки для установки на стену или рядом с коробом размеры ее корпуса в плане не могут быть (с учетом толщины стенок) менее примерно 60 × 60 мм. В остальном конструкция оптической ИР не отличается от ее электрического аналога.

Большинство ИР первого поколения представляло собой обычную вставку для монтажа в короб. Функции монтажного основания для установки розеток ОР обычно выполняла декоративная панель. Общим недостатком данного решения является отсутствие места для хранения технологического запаса волокна или кабеля, что существенно затрудняет выполнение процедур клеевой технологии монтажа вилок ОР и делает невозможным использование технологии оконцевания, основанной на применении монтажных шнуров. Для его устранения в последнее время на рынке Западной Европы большую популярность получили «двухэтажные» конструкции. В них на первом уровне, который размещается внутри короба и обычно оформлен в виде монтажной коробки, располагаются кабельные вводы, организатор для укладки технологического запаса длины ОВ, а также держатель гильз КДЗС или корпусов механических сплайсов. Второй верхний уровень, который обычно соединяется с нижней частью на шарнире, образует собственно розетка с розеточными модулями ОР (рис. 116). Для увеличения эксплуатационной надежности решения рядом с розеточными модулями внутри корпуса иногда предусматривается дополни-

тельная направляющая, наличие которой обеспечивает заданный радиус изгиба световодов.

Кроме конструкций на основе монтажной коробки, которые можно отнести к решениям «закрытого» типа, известны также варианты «полуоткрытого» исполнения. Их общей характерной особенностью является наличие организатора ОВ барабанного типа в задней части розетки. При этом барабан может располагаться как перпендикулярно плоскости розетки на пластиковом кронштейне (так называемый fibre spool серии CFS2XX компании Panduit, рис. 115а), так и параллельно ей (розетка типа 2-966936-5 фирмы AMP, рис. 115б). Емкости барабанного организатора достаточно для хранения до 12 м ОВ в буферном покрытии диаметром 0,9 мм и максимум 2 м стандартного дуплексного ОК для шнуров. Первый вариант решения отличается большей универсальностью, так как может применяться наряду с розетками также в коммутационных панелях. Конструкция фирмы AMP выгодно отличается от своего аналога существенно меньшими требованиями в отношении монтажной глубины.

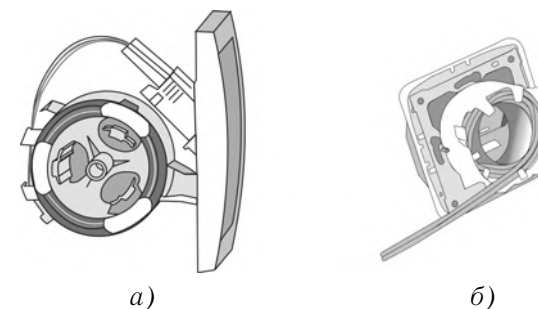


Рис. 115. Варианты исполнения организаторов барабанного типа для применения в оптических информационных розетках:
а) с перпендикулярной ориентацией барабана (изделие типа fibre spool);
б) с параллельной ориентацией барабана

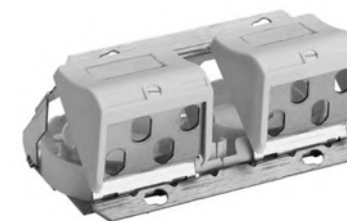


Рис. 116. Корпус оптической информационной розетки со штатным организатором волокон и сплайсов

В том случае, когда конструкция ИР предусматривает ее крепление к днищу декоративного короба, функции организатора могут быть возложены на



Рис. 117. Угловая вставка для монтажа розетки

монтажное основание. С учетом этой особенности основания розеток серии OAD/К немецкой компании Telegartner выполнены в форме цилиндра, на внешнюю поверхность которого в процессе монтажа кабельной системы наматывается технологический запас ОК внутренней прокладки.

6.4.3. Розетки мультимедиа

Под розеткой мультимедиа понимается ИР, построенная по модульной схеме и имеющая посадочные места под розетки разъемов нескольких разновидностей, см. рис. 118. Свое название этот компонент получил еще в начале 90-х гг. прошлого века из-за того, что позволял обслуживать различные типы сред передачи информационных сигналов. Характерной отличительной чертой конструкции данного элемента является обязательное наличие внутреннего штатного или дополнительного организатора световодов, в который с соблюдением заданного радиуса изгиба производится укладка технологического запаса ОВ типовой длиной 1 м. Иногда организатор световодов дополняется организатором механических сплайсов или гильз сварных сростков.



Рис. 118. Розетка мультимедиа

Корпус розетки обычно изготавливается из пластмассы светлых оттенков под цвет декоративных коробов, возможно использование других вариантов окраски. Чаще всего применяются конструкции в виде параллелепипеда со скругленными кромками отдельных граней, иногда встречаются корпуса более сложной многогранной призматической формы (например, СТ-ММО-(XX) компании Siemon). На основании требований параграфа 6.1.2 размеры корпуса в плане не могут быть менее 60 × 60 мм. Представленные на рынке изделия являются значительно более крупными.

Подвод кабелей к розеткам осуществляется через короб или внутристенный кабельный канал. Наиболее распространенными местами ввода линей-

ных кабелей являются задняя поверхность корпуса и его днище, где предусматриваются соответствующие вырезы, закрытые сдвижными или удаляемыми в процессе монтажа технологическими крышками.

Монтаж розетки мультимедиа осуществляется на стену или (значительно реже) на пол, некоторые типы этих элементов могут комплектоваться магнитами и устанавливаться на металлические поверхности. Как правило, фиксирующие винты и клейкая двухсторонняя лента входят в штатную комплектацию, магнитные фиксаторы поставляются по отдельному заказу. Известны также конструкции, которые монтируются непосредственно на короб конкретного производителя на предусмотренные для этого штатные посадочные места.

Розеточные модули разъемов информационных кабелей для обеспечения универсальности устанавливаются в корпус на сменных вставках со стандартизованными внешними габаритами, см. рис. 117. Плоские вставки вдвигаются на свое место по направляющим стоек, вставки уголкового формы крепятся винтами к днищу. Наиболее распространенным местом установки вставок является боковая поверхность корпуса. Некоторые конструкции предусматривают размещение одной-двух розеток непосредственно на защитной крышке (например, BRACOC фирмы Hubbell). С целью увеличения плотности портов без увеличения габаритов корпуса иногда применяется угловой монтаж вставок (корпус типа СТ-ММО-(XX) компании Siemon). Кроме индивидуальных вставок, находят использование также сменные передние панели с максимум четырьмя посадочными местами под модули различных типов.

На практике розетки мультимедиа очень часто выполняют функции многопользовательских розеток MUTO в открытом офисе. Согласно действующим стандартам СКС коммутационный элемент данной разновидности должен обслуживать не более 12 рабочих мест. На основании этого розетки мультимедиа обычно рассчитываются на небольшое количество посадочных мест под розеточные модули.

Общие сведения о розетках мультимедиа некоторых фирм-изготовителей приводятся в табл. 56.

6.4.4. Многопортовые розетки абонентского уровня

В форме многопортовых розеток абонентского уровня обычно реализуются оптические многопользовательские розетки MUTO и консолидационные точки. Эти изделия относятся к сравнительно «молодому» типу оптического коммутационного оборудования, которое начало в массовом масштабе использоваться в проектах реализации СКС только с конца 90-х гг. прошлого века в связи с быстрым ростом популярности открытых офисов. Розетки MUTO позволяют очень эффективно реализовать концепцию FTTD в данной разновидности архитектурной реализации помещений для размещения пользовате-

лей. В некоторых случаях это оборудование заменяет розетку мультимедиа или применяется как ее дополнение.

Таблица 56. *Некоторые технические характеристики розеток мультимедиа*

Фирма-изготовитель	Тип	Габаритные размеры, мм	Кол-во розеточных модулей	Типы розеточных модулей
AMP, США	559274-1	170 × 146 × 38	6	ST, SC, FC, модульная, BNC
Hubbell, США	BRACOC	133 × 133 × 38	4	ST, BNC, IBM, модульная
CommScope, США	40A1	175 × 142 × 41	8	ST, SC, MIC, BNC, модульная,
Molex, США	17-5229-02 17.B143G	197 × 159 × 57	8	ST, SC, BNC, модульная
Panduit, США	CBXF6 CBXF12	170 × 120 × 25 170 × 170 × 46	6 12	ST, SC, BNC, модульная, RCA
Siemon, США	CT-ММО-(XX)	200 × 200 × 57	24	ST, SC, BNC, RCA

Конструктивно многопортовые розетки и консолидационные точки выполнены в виде закрытого корпуса. Изделия этого вида предназначены для установки на колонне, стене и других строительных конструкциях, а также в подпольных коробках. Фактически они являются функциональным аналогом настенной муфты для своей специфической области применения. Четкое разделение между оборудованием данной разновидности по конструктивным признакам провести довольно затруднительно. Пожалуй, единственным серьезным отличием является область их эксплуатации. Многопортовые розетки достаточно часто устанавливаются открыто и обладают соответствующими эстетическими характеристиками для наружного офисного применения. В отличие от этого консолидационные точки больше тяготеют к закрытой установке под фальшполом или за фальшпотолком и имеют упрощенный дизайн корпуса.

В соответствии с общими требованиями стандарта ISO/IEC 11801:2002 одна розетка MUTO должна обслуживать не свыше 12 рабочих мест. Корпуса известных образцов розеток имеют не более 12 посадочных мест под розетки ОР. Таким образом, заданное стандартами максимальное количество обслуживаемых пользователей может быть достигнуто только в случае применения на уровне рабочего места разъемов группы SFF.

Примерами многопользовательских розеток могут служить 12-портовые изделия 406818—406820 компании Tyco Electronics (AMP), а консолидационной точки — изделие 406771 этого же производителя.

В некоторых случаях консолидационным точкам присваивается собственная торговая марка. С учетом данного принципа немецкой компанией Ackermann разработана система ACPS (от Ackermann Consolidation Point System). Отличительной характеристикой данного решения является его очень высокая функциональная гибкость, так как, кроме оптического модуля (варианты с розетками ST и SC), в его состав входят также модули с розетками RJ45 и силового питания.

6.5. Выводы

При построении структурированной кабельной проводки может быть использовано несколько основных разновидностей оптического коммутационного оборудования, каждая из которых эффективно решает задачу администрирования оптических трактов передачи информации в сетях различного масштаба как на рабочих местах пользователей, так и в технических помещениях. Наличие выбора дает возможность оптимизации создаваемой кабельной проводки в зависимости от ее масштабов и архитектурных особенностей здания.

Оптическое коммутационное оборудование специальной разработки позволяет получить надежную фиксацию оптических кабелей и простоту доступа к оптическим розеткам в процессе выполнения коммутации. Его применение в проектах гарантирует также функционирование волокон оптических кабелей на протяжении всего срока эксплуатации кабельной системы за счет обеспечения конструктивными мероприятиями соблюдения минимально допустимого радиуса изгиба волоконных световодов.

В случае применения дуплексных малогабаритных разъемов коммутационное оборудование стоечного типа потенциально обеспечивает плотность монтажа до 48 волокон на 1U высоты, то есть по параметру плотности портов полностью эквивалентно панелям для подключения к кабелям из витых пар.

В отличие от подсистемы на базе кабелей из витых пар в области оптической подсистемы как на рабочем месте пользователей, так и в технических помещениях применяется значительное количество типов разъемов. С учетом данного обстоятельства, а также из-за технологических преимуществ групповых разъемов при конструировании оптического коммутационного оборудования существенно большей популярностью пользуются решения с модульным и кассетным принципом построения.

ГЛАВА 7

ШНУРОВЫЕ И ПРЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ

В процессе монтажа оптической подсистемы наиболее сложной, ответственной и дорогостоящей операцией является установка отдельных компонентов ОР на различные кабельные изделия. Данная операция вполне может быть осуществлена непосредственно на объекте монтажа, для чего разработаны соответствующие технологии и технические средства. Тем не менее наилучшие результаты в смысле стабильности характеристик, уровня вносимых потерь и надежности изделия в целом естественным образом достигаются в стационарных производственных условиях. Данное обстоятельство определяет чрезвычайно широкую популярность различных кабельных продуктов, которые поступают на объект монтажа как устройство, выполненное по схеме plug & play, то есть с уже установленными вилками разъемов.

К настоящему времени создано и внедрено в широкую инженерную практику построения СКС достаточно большое количество изделий, установка вилок ОР на которые осуществляется на производстве. Полную совокупность этих продуктов можно условно разделить на четыре основные группы, см. рис. 119. К первым двум из них относятся шнуровые компоненты общего и специального назначения, применяемые в процессе текущей эксплуатации кабельной системы и эксплуатируемые в технических и рабочих помещениях. Третью группу образуют претерминированные кабели, по постоянной или временной схеме устанавливаемые в линейной части СКС. В четвертую группу объединяются шнуровые изделия, используемые в процессе проведения различных тестовых проверок [194].

7.1. Шнуровые изделия общего назначения

Под шнуровыми изделиями общего назначения понимаем гибкие ОК для шнуров, на один или оба конца которых установлены вилки ОР. Эти компоненты имеют предельно простую конструкцию и в массовом масштабе используются для решения следующих задач:

- формирования трактов передачи из нескольких стационарных линий;
- подключения к СКС активного сетевого оборудования и измерительных приборов (коммутационные и оконечные шнуры), а также в процессе создания самих стационарных линий (монтажные и разветвительные шнуры).



Рис. 119. Шнуровые и претерминированные кабельные изделия СКС

7.1.1. Коммутационные и оконечные шнуры

Оконечные шнуры формально не являются частью СКС, а их конструкция, параметры и условия эксплуатации во многом определяются тем активным оборудованием, которое использует структурированную проводку для организации информационного обмена. Несмотря на это, аналогично подсистеме на основе кабелей из витых пар стандарты предъявляют к шнурам конкретные достаточно четко заданные требования как в отношении механических характеристик, так и обеспечиваемых оптических параметров.

Основная масса видов современного сетевого оборудования использует для своей работы два ОВ (см. табл. 91). С учетом этого обстоятельства и из соображений удобства эксплуатации кабельной проводки в подавляющем большинстве случаев в СКС применяются двухволоконные (дуплексные) шнуры, что, в частности, зафиксировано в нормативной части стандарта ТИА/ЕА-568-В.1. Одновременно этот же стандарт из соображений минимизации потерь требует использования в кабелях для шнуров и в линейных кабелях волокон одного типа. Необходимость в одинарных (симплексных) вариантах шнуров (jumper) на практике возникает достаточно редко и главным образом для подключения некоторых видов измерительного оборудования.

Кабель шнура в режиме нормальной эксплуатации должен выдерживать растягивающее усилие 100 Н. Конструкция кабеля и особенно места его ввода в вилки оптических разъемов выбираются таким образом, чтобы гарантировать соблюдение минимального радиуса изгиба в 40 мм.

Дуплексные шнуры могут быть изготовлены на основе гибких кабелей без оболочки (типа zip-cord) и с защитной оболочкой (типа heavy duty). Производители СКС рекомендуют применять шнуры с кабелем в исполнении heavy duty, которые обладают существенно лучшими параметрами по механической прочности, в рабочих помещениях пользователей. Областью применения шнуров на основе кабелей типа zip-cord являются преимущественно технические помещения. Это обусловлено тем, что эта разновидность кабельных изделий превосходит свой аналог по массогабаритным показателям и имеет заметно меньшую

жесткость. С учетом данного обстоятельства, а также в связи с малой популярностью применения оптических решений на уровне горизонтальной подсистемы следует, что подавляющее большинство шнуров выпускается на основе кабеля zip-cord.



Рис. 120. Дуплексный коммутационный шнур с вилокми SC разъемов

Действующие редакции стандартов СКС в явном виде определяют соединитель SC в качестве основного типа ОР. Поэтому, резюмируя все приведенные выше доводы, можем констатировать, что основным типом коммутационного шнура является дуплексный шнур с вилокми SC (в стандарте TIA/EIA-568-B.1 для обозначения этого компонента даже использован термин 568SC optical fiber patch cord). Вилки SC в соответствии с требованиями стандарта должны быть установлены на кабель шнура таким образом,

чтобы с разных концов любого его волокна находились вилки с различной маркировкой А-В или В-А. В тех ситуациях, когда ОК коммутационного шнура армирован вилокми симплексных разъемов других типов, которые не имеют заводской маркировки, она должна быть сделана любым другим способом и по той же схеме. Наиболее часто применяемым штатным средством реализации данной операции являются полимерные хвостовики различных цветов. Например, входящие в состав СКС Siemon Cabling System вилки ST-разъемов могут комплектоваться хвостовиками черного и бежевого цветов. Непосредственно на объекте монтажа может быть применена маркировка самоламинирующимися этикетками или сменными надписями.

Правильность установки вилок дуплексных разъемов должна гарантироваться предприятием-изготовителем соответствующим выбором технологического процесса и используемой на предприятии системой качества.

Относительная простота конструкции и легкость реализации технологического процесса сборки оптических шнуров в случае необходимости позволяет возложить на них также некоторые функции адаптеров. Наиболее часто с помощью шнуров осуществляется согласование типов ОР коммутационного оборудования СКС и активных сетевых приборов. Для этого на разных концах кабеля шнура устанавливаются вилки разъемов различных типов. Такие ком-

бинированные (переходные) шнуры могут являться стандартной каталожной позицией производителя СКС или изготавливаться производством на заказ. Корректность их применения в составе структурированной проводки даже в случае установки на одном из концов неразрешенной нормативными документами вилки обосновывается тем, что ОР сетевого оборудования согласно стандартам не является частью СКС.

Для обозначения шнуров используются буквенно-цифровые индексы, в которых тем или иным способом шифруется информация о типе волокна и вилок оконечных разъемов, а также о длине кабеля и его конструктивном исполнении.

Наиболее часто встречающийся на практике ряд длин серийно выпускаемых оптических оконечных и коммутационных шнуров, как правило, содержит значения 2, 3, 5, 10 и 15 м. Шнуры с меньшей длиной изготавливаются сравнительно редко в первую очередь из-за технологических сложностей. Более длинные шнуры или шнуры, имеющие длину, отличную от указанной в каталоге, производятся на заказ.

В зависимости от типа ОР и предполагаемой области эксплуатации для изготовления шнура может использоваться кабель с защитным шлангом различного диаметра. Тип кабеля по этому параметру указывается в индексе изделия или оговаривается при заказе у изготовителя.

Изготовители практикуют в основном индивидуальную поставку шнуров в мягком прозрачном пластиковом пакете. В упаковку может вкладываться этикетка с паспортом изделия, где наряду с типом волокна и механическими характеристиками (длина, тип вилок разъемов) указываются, в частности, такие важные для эксплуатации параметры, как фактическая величина затухания и коэффициента обратного отражения (последнее значение для одномодовых шнуров). В случае предъявления заказчиком специальных требований шнур снабжается уникальным идентификационным номером, а вся информация о фактических значениях контролируемых параметров наряду с паспортом заносится также в БД изготовителя.

7.1.2. Монтажные шнуры

Монтажный шнур, полувилка или пигтейл (от pig-tail¹) в классическом варианте своего конструктивного исполнения представляет собой отрезок гибкого ОК с вилкой симплексного ОР на одном из его концов. Изделие данной разновид-

¹ Название, как это непосредственно следует из его перевода, представляет собой технический жаргонизм, часто употребляемый в профессиональном аргументе американскими специалистами и основанный на внешнем сходстве с его «аналогом» из животного мира. Оттуда он попадает в техническую документацию и распространяется по всему миру. В отечественной технической литературе этот термин употребляется в написании кириллицей. В публикациях конца 70-х — начала 80-х гг. прошлого века иногда использовался его буквальный аналог в виде «шнур типа пороссячий хвост».

ности используется для быстрого оконцевания линейных кабелей в процессе монтажа коммутационных устройств, для чего подключается к ОВ линейных кабелей методом сварки или с помощью механических сплайсов. Конструкция монтажного шнура предполагает постоянное соединение его волокна с волокном кабеля стационарной линии.

Монтажный шнур в наиболее распространенном варианте его реализации конструктивно выполнен в форме отрезка микрокабеля (волокно в буферном покрытии диаметром 0,9 мм) длиной примерно 50–70 см, армированного с одной из сторон вилкой ОР. Конструкция данного изделия в данной разновидности рассчитана на постоянную эксплуатацию внутри корпуса коммутационно-разделочного устройства. Для облегчения контрольных проверок, в том числе на объекте монтажа, вилки достаточно часто устанавливаются с двух сторон на отрезок микрокабеля длиной 1,0–1,5 м, который разрезается пополам непосредственно перед подключением к ОВ линейного кабеля.

Внешняя поверхность оболочки микрокабеля без существенных технологических проблем может быть окрашена в различные цвета. При этом в вопросе выбора цветов практикуется два различных подхода. В тех ситуациях, когда согласно подходу производителя СКС к построению своей системы монтажный шнур является отдельной заказной позицией, маркирующий цвет используется для обозначения типа волокна (т.е. желтый — для стандартного одномодового, бирюзовый — для волокон категории OM3 и т. д.). Если же оптический кросс поступает на объект монтажа в предразведенном виде, то внешние оболочки микрокабелей монтажных шнуров окрашиваются в различные идентификационные цвета, совпадающие с цветами ОВ линейного кабеля (принцип «цвет к цвету»).

Кроме изделий предыдущей разновидности, которые иногда называют волоконными монтажными шнурами, ограниченное применение на практике находят так называемые кабельные пигтейлы. Они конструктивно выполнены в виде отрезка гибкого симплексного кабеля с ОВ в покрытии диаметром 0,9 мм, кевларовыми упрочняющими нитями и защитным шлангом диаметром от 1,8 до 3,0 мм длиной 1–1,5 м, на одном из концов которого установлена вилка ОР. Фактически это изделие представляет собой часть обычного дуплексного коммутационного шнура небольшой длины. Применение подобного решения может быть обосновано лучшей защитой световода от механических воздействий в процессе хранения и транспортировки, а также возможностью прямого армирования некоторых типов ОК внутренней прокладки без использования традиционных настенных муфт и 19-дюймовых полок. В последнем варианте использования внешний шланг не снимается, а место стыка световодов закрывается защитным устройством в форме муфты.

По своим ценовым характеристикам шнуры общего назначения и пигтейлы в пересчете на одну вилку ОР являются практически идентичными. Это приводит к тому, что иногда в спецификацию поставляемого оборудования из

соображений единообразия включаются только коммутационные шнуры, а пигтейлы готовят из них непосредственно на объекте монтажа. Для этого разрезают одиночные или двойные соединительные шнуры небольшой длины (обычно 2–3 м) и удаляют с них внешние шланги и кевларовые упрочняющие нити.

Поставка волоконных монтажных шнуров обычно осуществляется в индивидуальных пластиковых пакетах. Часто практикуется их парная упаковка с двухсторонним оконцеванием волокна, что существенно облегчает проведение входного контроля. Для более эффективной защиты изделий от механических повреждений при их хранении в пакете в период после 2000 г. большую популярность приобрело применение картонной вставки, см. рис. 121. Вполне возможно, хотя и редко используется на практике, использование штатных одноразовых футляров из тонкого жесткого прозрачного пластика. Это дополнительно увеличивает уровень защиты ОВ шнура и делает существенно более удобным процесс складского хранения.

В случае использования в коммутационном оборудовании дуплексных разъемов возможно применение сведенных монтажных шнуров. В частности, монтажные шнуры данной разновидности с разъемом MT-RJ являются штатным компонентом решения XPressLock, входящего в состав СКС Molex PN.



Рис. 121.
Монтажный шнур

7.1.3. Многоволоконные монтажные и разветвительные шнуры

Появление многоволоконных монтажных и разветвительных шнуров (изделия группы fan-out или fanout) было вызвано в первую очередь внедрением в технику оптической связи ленточных кабелей. Использование данной элементной базы сразу же ставит задачу перехода от световодов ленты к отдельным розеткам симплексных или дуплексных ОР на коммутационных устройствах технического помещения, что реализуется с помощью шнуров рассматриваемой разновидности.

Многоволоконные монтажные шнуры имеют два характерных отличительных признака. Во-первых, они используются в пределах стационарной линии и исключительно внутри корпуса коммутационного устройства, что существенно снижает требования к его упрочняющим и защитным покрытиям. Во-вторых, они имеют муфту, которая закрывает область перехода от волокон ленточного кабеля к отдельным ОВ, которые армированы вилками симплексных и дуплексных ОР.

Аналогично своему одноволоконному варианту многоволоконный монтажный шнур используется для прямого оконцевания ленточных волокон линей-

ного ОК. Для реализации этой процедуры может привлекаться как технология сварки, так и групповые механические сплайсы.

Появление разветвительных шнуров (рис. 122) обусловлено ростом популярности технологии реализации линейной части оптических магистралей СКС на основе рассмотренных далее претерминированных сборок. Наибольшие перспективы эти изделия имеют в случае использования для их оконцевания групповых разъемов. Для перехода от многоволоконного ОР линейной стороны коммутационного устройства традиционной конструкции к симплексным и дуплексным разъемам его пользовательской интерфейсной части чрезвычайно эффективны разветвительные шнуры. Основное отличие монтажного шнура от разветвительного заключается в том, что к волокнам линейного кабеля последнее изделие подключается через разъемный соединитель, то есть его установка не требует применения дорогого специализированного технологического оборудования.



Рис. 122. Многоволоконный разветвительный шнур

Из-за характерного для коммутационных устройств рядного расположения розеток ОР на лицевой панели длиной порядка 40 см некоторые типы разветвительных шнуров имеют одиночные ОВ различной длины. Это делает процесс подключения армирующих их вилок симплексных разъемов более удобным и увеличивает эксплуатационную надежность решения в целом за счет уменьшения риска изгиба световода с недопустимо малым радиусом.

7.2. Шнуровые изделия специального назначения

Шнуровые изделия специального назначения используются исключительно вне пределов стационарной линии СКС в тех ситуациях, когда параметры кабельного тракта не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к физическому уровню сети определенными разновидностями сетевого оборудования. Эти компоненты фактически выполняют роль адаптеров.

7.2.1. МСР-шнуры

МСР-шнуры (от mode condition patch-cord), иногда называемые в англоязычных публикациях также Gigabit Launch Cable и core-offset patchcord, относятся к оконечным шнуровым изделиям специального назначения, которые выполняют функции адаптера и включаются в случае необходимости между оптическим передатчиком гигабитного и мультигигабитного диапазона скоро-

стей и некоторыми типами многомодовых линейных ОК. Применение данного изделия впервые было предусмотрено в стандарте IEEE 802.3z. Основным назначением этого компонента является подавление дифференциальной модовой задержки, которая может проявиться в волокнах современных категорий OM1 и OM2, изготовленных по старым спецификациям. Применение МСР-шнуров позволяет, в частности, передавать с требуемым качеством сигналы интерфейсов Gigabit Ethernet и 10G Ethernet длинноволнового LX-диапазона (1300 нм) по кабельным трактам длиной свыше 220 м, созданных не позднее конца 90-х гг. прошлого века и изначально предназначенных для обеспечения функционирования сетей FDDI и Fast Ethernet. Для гарантированного обеспечения высоких качественных показателей тракта передачи некоторые изготовители МСР-шнуров рекомендуют применять свою продукцию даже при длине линии свыше 50 м.

Причина возникновения явления дифференциальной модовой задержки подробно рассмотрена в параграфе 3.2.2. МСР-шнур реализует одну из возможных схем борьбы с этим нежелательным явлением. Принцип подавления эффекта паразитного возникновения мод высокого порядка основан в данном случае на принудительном смещении области ввода высоконаправленного лазерного излучения от оси ОВ в ту часть его сердцевины, где локальный радиальный градиент показателя преломления не испытывает резких скачков. В результате интенсивность модовой конверсии существенно снижается, что имеет своим прямым следствием резкое улучшение частотных свойств многомодового световода.

Технически смещение реализуется по двум основным схемам. Первая схема (рис. 123а) является технически более сложной и предполагает внесение смещения торцевой поверхности одномодового ОВ в наконечнике вилки ОР. Его реализация возможна только в случае наличия в распоряжении производящего предприятия технологии активной юстировки (см. параграф 5.3.1).

Вторая схема (рис. 123б) существенно шире распространена на практике. В таком варианте шнура излучение лазера оптического передатчика через его интерфейсный разъем вводится в короткий отрезок одномодового световода. Это ОВ внутри кабеля шнура с небольшим осевым сдвигом соединяется встык с многомодовым волокном. Величина сдвига подбирается с учетом диаметра модового поля одномодового световода и типовых размеров дефекта центральной части многомодового ОВ и составляет обычно 17–23 мм для световодов типа 62,5/125 и 10–16 мм для 50-микронного волокна [195, 196]. Для соединения всегда используется сварка. Постоянное соединение ОВ встык с заданным осевым смещением было достаточно хорошо отработано еще в начале 90-х гг. прошлого века в процессе внедрения в автоматические сварочные аппараты опции создания фиксированного аттенюатора. Отсюда она была с минимальными доработками перенесена в новую область. Кроме того, сварная технология обеспечивает минимальную величину обратных отражений.

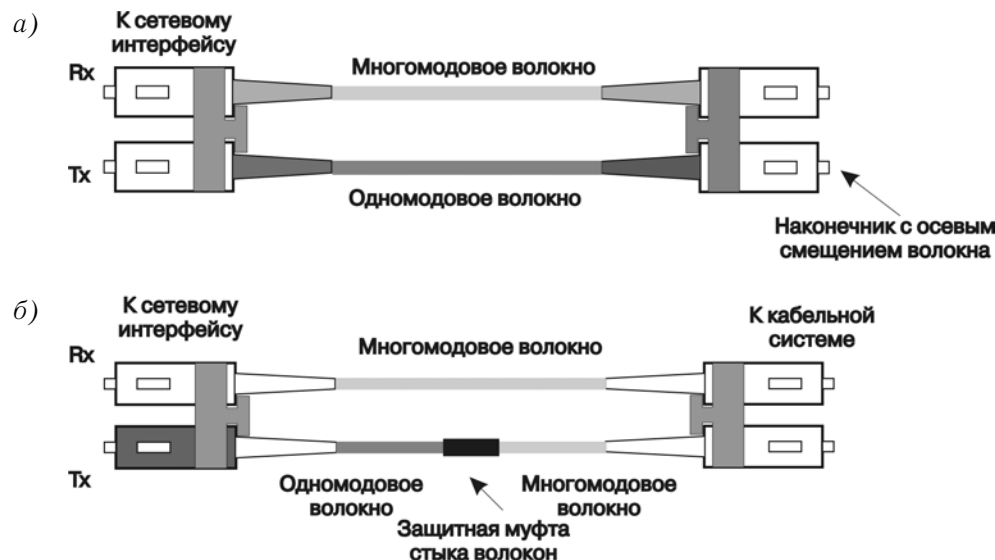


Рис. 123. Варианты конструктивной реализации МСР-шнуров:
 а) со смещением торцевой поверхности одномодового волокна;
 б) на основе соединенных встык со смещением одномодового и многомодового волокон

МСР-шнур всегда выполняется в дуплексном варианте. При его реализации по первой схеме он визуально отличается от обычного коммутационного шнура тем, что содержит три многомодовых и одну одномодовую вилку с соответствующей цветовой маркировкой их корпусов. Одномодовая вилка в обязательном порядке подключается к розетке передатчика сетевого интерфейса и устанавливается с помощью кабельного монтажного шнура. Место стыка кабелей обычного и монтажного шнуров защищается небольшой муфтой. Достаточно часто исходя из технологических соображений применяется муфта, корпус которой закрывает оба шланга дуплексного шнура. Это придает изделию симметричную форму и делает процесс его эксплуатации несколько более удобным. При реализации МСР-шнура по второй схеме он всегда имеет симметричную форму и не содержит защитной муфты. Его единственным визуальным отличием от обычного шнурового изделия является применение специальной маркировки вилок ОР.

Оптические тракты длиной свыше 200 м достаточно редко встречаются в практике построения подсистемы внутренних магистралей СКС. Еще реже, в первую очередь из соображений экономического характера, в этой области применяются интерфейсы с гигабитными и мультигигабитными скоростями передачи, излучатели которых работают на длине волны 1300 нм. Кроме того, в связи с массовым переходом промышленности на выпуск широкополосных

многомодовых световодов, доля волокон старых типов, в которой существует опасность возникновения дифференциальной модовой задержки, является достаточно малой уже сейчас и продолжает снижаться быстрыми темпами. Поэтому МСР-шнуры не являются продуктом массового потребления, а их серийный выпуск производится небольшим количеством компаний (AMP, Diamond и некоторые другие).

7.2.2. Шнуры-аттенюаторы

Необходимость применения аттенюаторов в процессе построения и эксплуатации СКС обсуждалась в параграфе 5.6.4. Использование аттенюаторов в шнуровом исполнении (patchcord style attenuator) дает возможность наряду с внесением в оптический тракт определенного затухания выполнить также процедуру администрирования проводки и осуществить подключение сетевого оборудования различных видов. При этом в отличие от некоторых вариантов корпусных аттенюаторов, имеющих форму адаптера, не происходит изменение конфигурации стационарной линии. Кроме того, отпадает необходимость в использовании неудобных в эксплуатации промежуточных навесных устройств.



Рис. 124. Шнур-аттенюатор

Шнуровые варианты аттенюаторов с точки зрения вносимого затухания могут быть выполнены в фиксированном исполнении или же обеспечивать его плавную регулировку. Характерным внешним отличительным признаком этих изделий является наличие на кабеле малогабаритной муфты, закрывающей узел внесения затухания или же содержащей встроенный механизм изменения оптических потерь. Достаточно широкая гамма этих изделий выпускается, например, американской компанией Amphenol.

7.3. Претерминированные кабельные изделия

Рассмотренные выше оптические коммутационные и монтажные шнуры являются массовым изделием и широко применяются в процессе создания и эксплуатации СКС. Кроме них, известны другие разновидности кабельных изделий общего назначения, установка вилок ОР на световоды которых также осуществляется в производственных условиях до проведения линейных монтажных работ. Данная продукция предназначена для решения определенного круга специальных задач и поэтому встречается на практике существенно реже. От шнуровых изделий рассмотренные далее компоненты отличаются по двум основным признакам. Во-первых, они обычно имеют емкость свыше двух волокон, во-вторых, для их изготовления используется линейный кабель

с упрочняющими элементами, имеющий не столь высокую гибкость по сравнению с кабелем для шнуров. Терминологически данная разница подчеркивается тем, что эти компоненты часто обозначаются как претерминированный шнур, кабель, полка и т. д.

7.3.1. Претерминированные сборки и полки

7.3.1.1. Претерминированные сборки

Претерминированные сборки, или кабели (preterminated cables или cable assemblies), см. рис. 125, относятся к простейшим разновидностям претерминированных изделий. Их применение позволяет осуществлять строительство линейной части отдельных подсистем СКС без последующей установки вилок ОР на волокна ОК непосредственно на объекте.



Рис. 125.
Претерминированная
сборка

Сборка представляет собой строительную длину в подавляющем большинстве случаев многоволоконного ОК, на световоды которого в стационарных производственных условиях с выполнением соответствующих требований по обеспечению качества (в том числе с обязательным 100-процентным тестированием) установлены вилки ОР (factory terminated). Терминируются преимущественно оба конца ОК (классическая или двухсторонняя сборка). В определенных ситуациях практикуется установка вилок только на одном конце (так называемая односторонняя сборка). Конец кабеля сборки с установленными вилками в обязательном порядке снабжается специальной защитной арматурой.

Основное преимущество использования претерминированной сборки заключается первую очередь в существенном сокращении объема монтажных работ, требующих высокой квалификации, применения специального инструмента и проводимых непосредственно на объекте установок кабельной системы. Их перечень включает в себя следующие основные операции: протяжка оптического кабеля, удаление защитной арматуры и подключение вилок к розеткам разъемов в корпусе коммутационно-разделочного устройства. Из приведенного перечня видно, что только последняя операция требует привлечения для ее осуществления специально обученного персонала.

Применение претерминированных изделий технически и экономически оправдано на трассах, которые могут быть пройдены одной строительной длиной без применения различных вспомогательных приемов. Производители заявляют о готовности изготовления сборок с кабелем, длина которых ограничена только размерами барабана. Однако практика построения линий подси-

стемы внешних магистралей свидетельствует о том, что реально увеличение длины кабеля свыше 1200–1400 м на основании данных параграфа 13.7.2 является нецелесообразным в первую очередь из-за опасности превышения максимально допустимого усилия тяжения.

Особенностью сборки является то, что она представляет собой полностью функционально законченное изделие. Поэтому в процессе проектирования линий, строительство которых предполагается вести с использованием претерминированных изделий, особо жестко должна контролироваться длина трассы.

Поставка сборки с производящего предприятия на объект монтажа выполняется в виде бухты или на кабельном барабане. Согласно правилам компании Kerpen предельное значение длины кабеля при поставке в форме бухты составляет 60 м, при превышении этого значения обязательно используется барабан. Установка ОР может производиться на один или два конца ОК, что оговаривается при заказе. В случае армирования обоих концов к ним обеспечивается свободный доступ, что реализуется за счет намотки концевых участков кабеля с оконечной арматурой в отдельную секцию барабана. Эта секция имеет ширину порядка 5–10 см и образована тонкой дополнительной внутренней стенкой.

В случае работы внутри здания претерминированная сборка может быть изготовлена непосредственно на объекте монтажа из обычного соединительного шнура требуемой длины. Для этого фирмой Molex используется специальный комплект. Основой комплекта является мягкий пластиковый наконечник в форме прозрачного пакета с кольцом для крепления протяжного шнура и элементами фиксации кабеля, в который укладываются наконечники ОР.

Претерминированная сборка часто используется западными производителями в качестве центрального элемента специализированных волоконно-оптических СКС. В качестве примеров такого подхода отметим систему GigaLine VKT¹ немецкой фирмы Kerpen, а также решения MasterLine и SmartLine швейцарской компании Huber+Suhner.

7.3.1.2. Защитная арматура сборки и ее особенности

Арматура предназначена для защиты вилок разъемов и сердечника ОК в той его части, на которой удалены упрочняющие и защитные покрытия. Этот элемент чаще всего выполняется в виде наконечника из отрезка металлической или жесткой пластмассовой гофрированной трубки или шланга длиной не свыше 60–70 см. В тех случаях, когда сборка изготавливается из кабеля внутренней прокладки и применяется для организации связи внутри здания, функции защитной арматуры может выполнять мягкий пластиковый чехол.

¹ VKT — от нем. *Vorkonfektionierte*, то есть претерминированная.

Сборка может быть реализована на основе ОК внутренней или внешней прокладки. Для прокладки внутри здания герметичность арматуры может не превышать IP50 (защита от пыли). При работе на трассах подсистемы внешних магистралей исходя из условий строительства на оконечную арматуру накладывается требование обеспечения защиты формируемого с ее помощью внутреннего объема по классу не ниже IP67 [197].

Поверхность защитного наконечника может быть выполнена гладкой или гофрированной. Второй вариант исполнения увеличивает гибкость, однако выступы гофра цепляются за неровности кабельных каналов. Для устранения этого недостатка на гофрированный наконечник надевают чехол из тонкого эластичного материала.

На переднем конце наконечника предусматривается или формируется проушина для крепления протяжного шнура. Еще одним вариантом решения этой задачи является установка рым-болта. Несмотря на более высокую стоимость, применение рым-болта является более предпочтительным, так как устраняет возможное закручивание кабеля в процессе протяжки по каналам кабельных трасс.

Для облегчения установки в полке или настенной муфте в рамках комплексного решения защитная арматура может быть выполнена составной. Головная часть с элементами крепления протяжного шнура после завершения прокладки удаляется, задняя часть остается на кабеле и используется в качестве силового элемента, на который накладывается зажим кабельного держателя. Примером использования такого подхода является серия сборок Fiber Quick швейцарской компании Brugg.

Достаточно перспективным представляется применение для армирования кабеля претерминированной сборки группового ОР, так как высокая плотность их конструкции позволяет существенно уменьшить длину и диаметр защитного наконечника. Для разводки ОВ по отдельным симлексным или дуплексным розеткам коммутационного устройства в этом случае используется короткий комбинированный разветвительный шнур.

Еще одним способом решения задачи уменьшения габаритов защитного наконечника является использование свойства легкости сборки конструкции вилок многих современных ОР, в частности SC. В этом случае на ОВ устанавливается только центрирующий наконечник, а окончательная сборка вилок осуществляется после протяжки и удаления защитного шланга перед подключением вилок к розетке.

7.3.1.3. Претерминированные полки

Некоторые компании (Avaya, ADC Telecommunications, Molex) еще в середине 90-х гг. прошлого века включали в состав производимых ими СКС претерминированные сборки, ОК которых уже введен в стоечное или (реже) настенное коммутационное устройство, оконцован вилками ОР и подключен

к розеткам пользовательского интерфейса. Данная конструкция в зависимости от варианта конструктивного исполнения называется претерминированной полкой (preterminated shelves) или преконфигурированной панелью (pre-configured panels). Полка может располагаться с одного (рис. 126) и с двух концов кабеля. Для защиты розеток ОР и внутреннего объема полок от загрязнений при протяжке в кабельном канале возможна поставка изделия рассматриваемой группы с полками в защитных чехлах (швейцарская фирма Huber+Suhner).

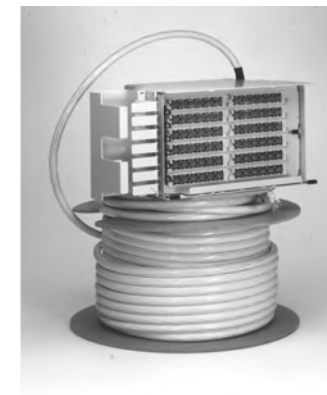


Рис. 126. Односторонняя претерминированная полка

При традиционном вводе кабеля со стороны задней стенки корпуса площадь поперечного сечения изделия возрастает настолько, что его прокладка по линейной части магистрали становится затруднительной внутри здания и практически невозможной по основной массе каналов подсистемы внешних магистралей. Переход на боковой ввод кабеля несколько уменьшает габариты полки в положении «для прокладки», однако не решает проблему полностью. Кроме того, необходимость обеспечения заданного радиуса изгиба ОК в тесном пространстве монтажного конструктива вынуждает сокращать длину корпуса, что сопровождается уменьшением плотности портов на единицу монтажной высоты конструктива. С учетом этих особенностей область использования претерминированных полок в реальных условиях ограничена только созданием локальной проводки в технических помещениях и центрах обработки данных.

7.3.2. Кабельные вставки

Кабельные вставки используются преимущественно для оперативной организации временных связей и восстановления трактов передачи сигналов в слу-

чаях повреждения линейного ОК. Еще одной большой областью их использования применительно уже к области структурированной проводки может являться также быстрое развертывание дополнительных временных линий в первую очередь магистральных подсистем СКС. С точки зрения формы своего конструктивного исполнения вставки могут рассматриваться как претерминированные сборки многократного использования. Данное изделие представляет собой отрезок ОК длиной 100–300 м на барабане диаметром примерно 70 см, причем кабель с обоих концов в обязательном порядке снабжен муфтами. В различных вариантах реализации вставок в муфте могут устанавливаться розетки ОР или просто укладываться запас ОВ. Принцип подключения волокон магистрального ОК к кабелю вставки зависит от вида исполнения оконечных муфт. Известны конструкции, в которых эта операция может выполняться с помощью механических сплайсов и обычных разъемов. В последнем случае естественным образом допустимо применение адаптеров быстрого оконцевания.

Для обеспечения удобства транспортировки вставки практикуется укладка муфт в полую центральную часть барабана таким образом, чтобы они не выступали за ее габарит. Для улучшения массогабаритных показателей изделия и с учетом области его использования в качестве основы вставки в подавляющем большинстве случаев применяется небронированный ОК внешней прокладки.

Эксплуатация кабельной вставки предполагает наличие средств ее перемещения к месту ремонта или развертывания временных связей. Данная задача решается двумя различными способами. В традиционной конструкции для облегчения перемещения катушка снабжается установочным каркасом, имеющим ножки и ручки для переноски. В некоторых случаях установочные ножки заменяются на колесики.

Известны также кабельные вставки так называемого рюкзачного или ранцевого типа, используемые преимущественно в процессе ремонта внешних линий связи. Это изделие отличается от своего аналога тем, что установочный каркас катушки выполнен в форме рамы станкового рюкзака, см. рис. 127. Такая конструкция облегчает доставку вставки к месту выполнения ремонта в случае бездорожья и невозможности использования автотранспорта, что достаточно часто встречается в практике эксплуатации линий связи большой протяженности.

На каркасе дополнительно может быть предусмотрена штатная сумка, которая предназна-



Рис. 127. Ремонтная кабельная вставка рюкзачного типа

чена для хранения в ней инструментов, приборов и расходных материалов, используемых в процессе проведения ремонта.

7.4. Шнуровые и кабельные изделия для выполнения измерений

Наряду со строительными и эксплуатационными оконцованными волоконно-оптическими шнурами и кабелями на практике находят применение некоторые другие разновидности компонентов данной разновидности, которые можно отнести к «технологической» ветви оконцованных оптических кабельных изделий. Их общей отличительной чертой является использование исключительно в процессе выполнения различного рода измерений. В рабочем состоянии они располагаются вне пределов постоянной линии СКС.

7.4.1. Нормализующие катушки

Применение нормализующей или компенсационной катушки (reflectometric extender или pulse suppressor) позволяет получить исчерпывающую информацию о начальном и конечном участках оптического кабельного тракта в процессе проведения измерения его параметров рефлектометром. Это конструктивно предельно простое устройство представляет собой ОВ в буферном покрытии внешним диаметром 0,25 мм длиной обычно от 300 до 1000 м, намотанное на бобину подходящего диаметра. Один из концов световода армирован наконечником разъема и в процессе измерений подключается к рефлектометру. Второй конец волокна соединяется с испытуемым кабелем сваркой, с помощью механического сплайса или адаптера на обнаженное волокно. Единственным серьезным ограничением является требование соблюдения равенства диаметров сердцевин ОВ катушки и исследуемого кабеля.

Основное назначение катушки заключается в искусственном удлинении оптического тракта, по которому распространяется зондирующий импульс рефлектометра. В результате к моменту его поступления на вход тестируемого ОВ излучение имеет установившийся модовый состав, то есть в случае тестирования могомодовых линий катушка играет роль модового фильтра для полевых измерений. Одновременно применение катушки на стороне подключения измерительного прибора обеспечивает устранение мертвой зоны рефлектометра, что дает возможность судить о качестве выполнения ОР.

В процессе проведения рефлектометрических измерений рекомендуется также выполнять подключение катушки к дальнему концу исследуемого тракта. Такой прием дает возможность с достаточно высокой точностью выполнить оценку качества установки удаленного оконечного ОР.

Эксплуатационным преимуществом использования нормализующей катушки является эффективная защита интерфейса оптического рефлектометра от механических повреждений, возникающих в процессе характерных для этого оборудования многочисленных подключений и отключениях.

Для обеспечения удобства эксплуатации катушка помещается в футляр. Ее подключение к тестируемому кабелю и рефлектометру может производиться через розетки ОР, которые устанавливаются на торцевой стороне корпуса футляра. Вторым вариантом подключения является использование кабельных монтажных шнуров, которые во внерабочем состоянии хранятся внутри футляра или в фиксирующих гнездах на его внешней поверхности.

Нормализующая катушка является чрезвычайно эффективным средством выполнения различных измерений самых разнообразных видов, выполняемых с помощью оптического рефлектометра. С учетом этого обстоятельства в некоторых случаях монтажники используют самодельные изделия данной разновидности. Их функции выполняет ОВ, намотанное на обычную технологическую бобину, используемую в процессе производства ОК. Во внерабочем состоянии бобина помещается в картонную коробку подходящего размера.

Для расширения функциональных возможностей самодельной нормализующей катушки один из концов ее волокна не армируется вилкой разъема. Для подключения к уже смонтированному тракту используется волоконный монтажный шнур в сочетании с механическим сплайсом, а неоконцованный кабель соединяется с такой катушкой с помощью механического сплайса или сваркой. Выбор конкретного исполнения сплайса определяется преимущественно с учетом возможности простоты очистки центрирующего элемента и его заполнения свежим иммерсионным гелем.

7.4.2. Устройства оперативного подключения

Устройства оперативного подключения, или монтажные шнуры на обнаженное волокно (bare fiber pigtail), предназначены для быстрого временного подключения к неоконцованным ОВ оптического тестера, рефлектометра или

другого измерительного оборудования. Конструктивно устройство выполнено в форме отрезка симплексного коммутационного шнура длиной порядка 1–1,5 м, на одном из концов кабеля которого вилка разъема заменена на стыковочный узел с центрирующим элементом, см. рис. 128. Данный элемент реализован на основе V-образной канавки и предназначен для ввода в него обнаженного волокна. Минимизация потерь и уровня обратных отражений в точке ввода излучения



Рис. 128.
Устройство
оперативного
подключения

достигается заполнением области оптического контакта световодов шнура и тестируемого кабеля иммерсионным гелем.

Фактически устройство представляет собой комбинацию обычного кабельного монтажного шнура и механического сплайса, конструкция которого доработана с учетом характерных для области проведения измерений многочисленных подключений. По своему назначению устройство является функциональным аналогом адаптеров на обнаженное ОВ. Основное отличие состоит в том, что его конструктивная схема создает объективные предпосылки для возможности получения существенно меньших потерь, чему способствует в первую очередь отсутствие френелевских отражений. Опыт работы показывает, что наличие иммерсионного геля позволяет в случае крайней необходимости даже не выполнять обработку конца тестируемого волокна в скалывателе и ограничиться обычной зачисткой и ручным обламыванием.

Устройство рассчитывается на многократные подключения, и поэтому конструкция стыковочного узла разрабатывается с учетом возможной его многократной очистки и добавления иммерсионного геля. В конструкции корпуса элемента ввода волокна предусмотрен магнитный держатель или иные средства его фиксации на рабочем столе оператора.

Как недостаток данного технического решения, сдерживающего его широкое распространение, отметим неудовлетворительные массогабаритные показатели и повышенную сложность работы за счет необходимости применения иммерсионного геля.

7.5. Выводы

В процессе строительства, эксплуатации и выполнения различных измерений в СКС используется обширная номенклатура оконцованных оптических кабельных и шнуровых изделий различного назначения, монтаж элементов разъемов на которые осуществляется в заводских условиях.

Заметно более высокая стоимость элементов оптических разъемов и технологическая сложность их установки, а также повышенные требования к квалификации персонала определяют высокую популярность применения претерминированных изделий на этапе строительстве и при ремонте линейной части всех трех подсистем СКС. При этом относительная частота использования кабельных изделий, оконцованных в заводских условиях, в оптической подсистеме является заметно более высокой по сравнению с подсистемой на базе кабелей из витых пар.

Оптический тракт СКС подавляющего большинства производителей может быть построен с использованием исключительно претерминированных оптических кабельных изделий. С учетом достигнутого на сегодняшний день заметного превышения параметров оптических разъемов над требованиями

стандартов СКС это позволяет получить определенный выигрыш по величине общего затухания тракта, который увеличивает помехоустойчивость линии связи, а также может быть израсходован на увеличение протяженности ее линейной части или количества промежуточных кроссов.

Некоторые разновидности оконечных шнуровых изделий наряду с подключением к оптическим кабельным трактам СКС интерфейсов сетевого оборудования эффективно реализуют функции адаптеров.

В отличие от адаптеров корпусного типа значительная часть оконцованных и претерминированных кабельных изделий может быть изготовлена в условиях производственной лаборатории или даже непосредственно на объекте монтажа специалистами системных интеграторов без обращения на специализированные предприятия.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

8.1. Системы пневматической прокладки

8.1.1. Общие положения

При строительстве линий городской и междугородной связи определенное распространение получила технология прокладки линейных кабелей в пластиковые трубы с внутренним покрытием, имеющим минимальный коэффициент трения. Эти трубы укладываются в кабельной канализации или непосредственно в грунт. В полученные в результате каналы затем затягивается кабель, причем тянущее усилие создается прикрепленным к его концу парашютом, на который воздействует давление предварительно осушенного и, возможно, охлажденного сжатого воздуха, нагнетаемого в трубу компрессором. Такой метод получил название метода пневматической прокладки или пневмозаготовки каналов¹, и был разработан и внедрен в широкую инженерную практику в начале 80-х гг. прошлого столетия в Нидерландах и Великобритании, где эти работы проводились по заказу английской телекоммуникационной корпорации British Telecom [198].

Метод пневматической прокладки был рассчитан на работу с магистральными ОК и в своей изначальной форме оказался плохо пригоден для использования внутри зданий. Это обусловлено в первую очередь тем, что кабели внутриобъектовой прокладки рассчитываются на существенно меньшие осевые механические нагрузки, так как имеют облегченные упрочняющие покрытия, а в некоторых случаях не содержат их вообще.

Первые системы, адаптирующие основную идею метода пневматической прокладки на область построения кабельной инфраструктуры ЛВС, появились в конце 80-х гг. и были основаны на результатах работы над заказом British Telecom. Затем, по мере перехода схемы построения физического уровня локальных сетей на принципы СКС, они были без каких-либо изменений перенесены в новую область.

Внедрение новой технологии организации линейной части кабельной магистрали потребовало использования соответствующей терминологии. С учетом дан-

¹ В англоязычной технической литературе используются также такие обозначения метода, как High Air Speed Blowing, Air-Assist Installation, Push/Pull Installation, Cable Jetting.

ного обстоятельства некоторые компании, работающие с системами пневматической прокладки, для обозначения традиционного способа организации линейной части оптической кабельной системы привлекают термин «fixed fiber».

Процедура реализации метода пневматической прокладки в любой его модификации и в независимости от области его использования всегда выполняется в три этапа. Сначала по предварительно подготовленным кабельным трассам прокладываются пустые трубчатые каналы, покрытые с внутренней стороны слоем твердой смазки на основе композиции силикона и ПЭ высокой плотности [199] для минимизации сопротивления движению. Затем с помощью комплекта тестовых приспособлений каналы проверяют на целостность оболочки и отсутствие ее пережатий. На заключительном этапе в каналы охлажденным сжатым газом¹ вдувается одиночное оптическое волокно или их сборка в форме кабеля. При этом возможны две схемы, отличающиеся друг от друга только наличием или отсутствием парашюта, который крепится к концу протягиваемого кабеля (рис. 129).

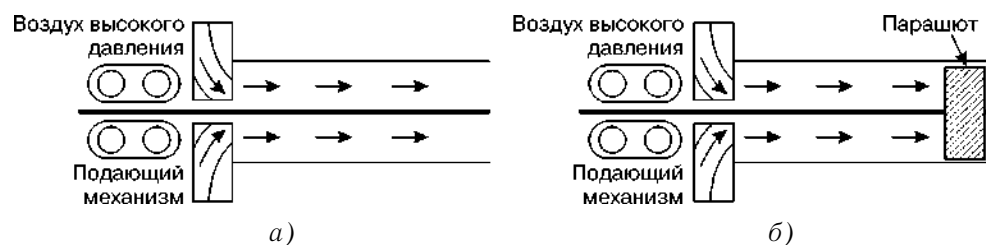


Рис. 129. Схемы реализации принципа пневматической прокладки:
а) без использования парашюта (беспоршневой метод);
б) с использованием парашюта (поршневой метод)

Методы пневматической прокладки, используемые на сетях связи общего пользования и в СКС, имеют много общего. Тем не менее при внешней схожести реализация метода на уровне СКС имеет ряд особенностей, наиболее существенные из которых заключаются в следующем [200]:

- каналы, образующие линейную часть систем, имеют значительно меньший внутренний диаметр (обычно не более 6–8 мм по сравнению с несколькими десятками миллиметров для кабелей внешней прокладки);
- отдельные ОВ и их сборки за счет соответствующего исполнения верхней поверхности оболочки с учетом ее аэродинамических параметров продвигаются по каналу без использования каких-либо внешних вспомогательных приспособлений, в частности в процессе протяжки в подавляющем большинстве случаев не применяется вытяжной парашют;

¹ Охлаждение препятствует размягчению оболочки ОК и ОВ, а также внутренней поверхности трубки канала, которое сопровождается заметным увеличением силы трения.

- из-за небольшой погонной массы ОВ и ОК их ввод в канал линейной части осуществляется преимущественно без использования подающего механизма;
- в некоторых вариантах реализации системы в одном канале возможна прокладка нескольких отдельных одиночных или ленточных световодов;
- из-за сравнительно небольших длин кабельных трасс СКС и меньших диаметров каналов для прокладки наряду со сжатым воздухом может использоваться сжатый азот.

Прокладка ОК в кабельную канализацию сетей связи общего пользования может осуществляться непосредственно по несколько штук в один канал или же индивидуально в так называемый субканал. Данный принцип без изменения распространяется на системы пневматической прокладки. В первом случае в одну трубку прокладываются несколько ОВ. Вторая схема характеризуется тем, что каналы принципиально предназначены только для одного изделия, однако для более полного использования их емкости по каналам прокладываются не отдельные ОВ, а их сборки, реализованные в форме ленты или микрокабеля.

Далее рассмотрено несколько серийных образцов комплексов и оригинальных технических средств, применение которых позволяет использовать метод пневматической прокладки при создании кабельных трактов структурированной проводки.

8.1.2. Техно-экономические параметры систем пневматической прокладки

Основные технические преимущества метода пневматической прокладки, которые являются привлекательными для системного интегратора, работающего в области построения СКС, заключаются в следующем:

- отсутствие сосредоточенных тянущих усилий, действующих на ОВ в процессе его продвижения по каналу, позволяет существенно снизить требования к работающим на растяжение упрочняющим элементам, что удешевляет ОК и не ухудшает оптических и эксплуатационных параметров световода;
- сведение до минимума требований к работающим на сжатие упрочняющим покрытиям отдельных световодов и ихборок, так как необходимый уровень защиты ОВ от внешних радиальных механических воздействий обеспечивается трубкой канала;
- некоторая экономия обычно дефицитной площади кабельных каналов из-за более высокой плотности упаковки ОВ в трубке [201];
- возможность замены разветвительной муфты ОК на разветвительную муфту трубчатых каналов, которая существенно проще по конструкции (время монтажа одного ответвления — порядка 5 мин) и дешевле

в практической реализации, а также позволяет прокладку отдельных ОВ и ОК одной строительной длиной без сварки световодов и образования петлевых структур в точке выполнения отвода от магистрали.

Как недостаток данной технологии отметим повышенную по сравнению с ОК классической конструкции чувствительность каналов к сдавливающим усилиям. Кроме того, ее практическая реализация требует обязательного применения комплекта фирменного технологического оборудования, имеющего высокую стоимость и обладающего неудовлетворительными массогабаритными показателями.

Для заказчика и потребителя ресурсов СКС необходимый уровень технико-экономической эффективности метода обеспечивается легкостью наращивания количества волокон и изменения конфигурации физического уровня сети. Таким образом, в линейном тракте любого уровня структурированной проводки может быть задействовано только то количество световодов, которое определяется конкретными потребностями в данный момент времени (нет необходимости в единовременных капитальных затратах на темные ОВ). Одновременно упрощается процедура перехода с ОВ одного типа на другое и ремонт поврежденных световодов, так как заменяемое волокно просто выдувается из канала, причем в некоторых случаях это осуществляется без остановки работы СКС [202]. Более того, при создании надлежащей инфраструктуры кабельных каналов появляется возможность изменения самой концепции эксплуатации ИВС. Так, в частности, системы пневматической прокладки позволяют легко переходить от двухуровневых структур к централизованным и обратно, реализовывать схемы «сеть по запросу» и т. д.

По оценкам разработчиков использование технологии пневматической прокладки меняет саму структуру соотношения капитальных и эксплуатационных затрат с традиционных 0,9 : 0,1 на заметно более выгодные с финансовой точки зрения 0,35 : 0,65. Данное положение соблюдается в том случае, если потребность в волокне растет не слишком быстрыми темпами [203]. При этом увеличения общего объема средств, необходимых для реализации и эксплуатации оптической подсистемы СКС, не происходит. Не последнюю роль в этом играет тот факт, что работы по модернизации сети не требуют непосредственного доступа в короба, на лотки и прочие варианты кабельных каналов и могут выполняться бригадой, состоящей всего из двух специалистов. Кроме того, стоимость ремонта поврежденных участков линейной части проводки уменьшается примерно на 40% по сравнению с альтернативным вариантом ее построения на основе традиционных ОК.

8.1.3. Система Blolite

Система Blolite является исторически первой внедренной в практику построения СКС системой пневматической прокладки. Комплекс технических средств

этой системы был разработан английской компанией BICC в середине 80-х гг. прошлого века по заказу British Telecom с использованием опыта, накопленного в процессе разработки технологии пневмозаготовки каналов для сетей связи общего пользования¹. Заказчик первоначально предполагал использование технических решений Blolite в первую очередь в процессе создания оконечных участков линейной части сетей доступа, затем ее применение было распространено на область структурированной кабельной проводки. В соответствии с введенной выше классификацией данное решение представляет первое направление реализации метода пневматической прокладки, т. е. предполагает прокладку в один канал нескольких ОВ.

Для передачи информации в системе Blolite предназначены специальные ОВ трех основных типов 9/125, 62,5/125, а также 50/125 в вариантах ОМ2 и ОМ3, стандартно поставляемых на катушках длинами 2 или 4 км. Основным отличием этих волокон от обычных является применение двухслойного защитного покрытия. Внутренняя часть покрытия диаметром 460 мкм выполнена из силикона, исполняет роль буфера и предназначена для защиты световода от сдавливающих механических воздействий. В качестве материала внешней оболочки служит твердый акрилат. Данная оболочка используется для продвижения ОВ в канале и решает при этом две задачи. Во-первых, снижение сопротивления достигнуто за счет наличия в акрилате антистатических присадок. Во-вторых, для создания необходимого тянущего усилия в потоке воздуха структура верхней поверхности имеет повышенную шероховатость и сформирована таким образом, чтобы создать значительную турбулентность пограничного слоя. Для снижения погонной массы и получения необходимой гибкости ОВ внешний диаметр его защитного покрытия уменьшен до 485 ± 30 мкм. Световод допускает непосредственную установку вилок ОР без использования сварки или применения механических сплайсов. Визуальная идентификация волокон в процессе работы обеспечивается окраской внешней поверхности их оболочки в стандартные цвета в соответствии с TIA/EIA-598-A (см. табл. 40).

Кабельные каналы (bloducts) выпускаются в двух вариантах, которые отличаются в основном внешним диаметром (5 или 8 мм при внутреннем диаметре 3,5 и 6 мм соответственно) и имеют номинальную погонную массу 14,6 и 32,1 кг/км. Максимально допустимое усилие тяжения одиночного канала составляет 120 Н, то есть примерно соответствует аналогичному параметру горизонтального кабеля из витых пар, что с учетом практически одинакового внешнего диаметра этих изделий позволяет использовать при их прокладке одинаковую технологию. Для формирования магистральных участков кабельной системы с большим количеством трактов передачи отдельные каналы объединяются по несколько штук (до семи трубок в одном изделии) и конструктивно

¹ Первая коммерческая инсталляция системы была осуществлена в 1986 г.

оформляются в виде трубчатых кабелей, см. рис. 130а. Каналы диаметром 5 мм предпочтительны для применения на трассах длиной до 400–500 м, использование 8-миллиметровых каналов позволяет создавать стационарные линии магистральных подсистем максимальной длиной до 1000 м, табл. 57.

Таблица 57. Максимальные длины прокладки в метрах световодов системы Blolite в горизонтальных каналах

Диаметр канала, мм	Количество волокон		
	2–6	8	12
5	500	500	400
8	1000	1000	500

В одном кабельном канале согласно рекомендациям производителя может одновременно или последовательно прокладываться до двенадцати ОВ, номинальная скорость продвижения в благоприятных условиях составляет 40 м в мин, на трассе может быть до 300 поворотов под углом 90° с радиусом изгиба отдельного канала 25 мм. Максимальный перепад высот на вертикальных участках трассы может достигать 300 м. Минимально допустимый радиус изгиба трубчатого кабеля колеблется в диапазоне 25–390 мм и зависит от его емкости и номинального диаметра трубки. Прокладка дополнительных линий в большинстве случаев не требует остановки работы кабельной системы.

Кабели и отдельные каналы, предназначенные для эксплуатации внутри зданий, имеют обычную оболочку голубого цвета. В случае необходимости достижения большей устойчивости к воздействию влияющих факторов окружающей среды данные изделия снабжаются влагостойкими покрытиями черного цвета, влагозащитным барьером на основе поясной алюминиевой оболочки и элементами бронирования. Это позволяет в процессе организации подсистемы внешних магистралей без ограничений прокладывать их между зданиями в обычной кабельной канализации.

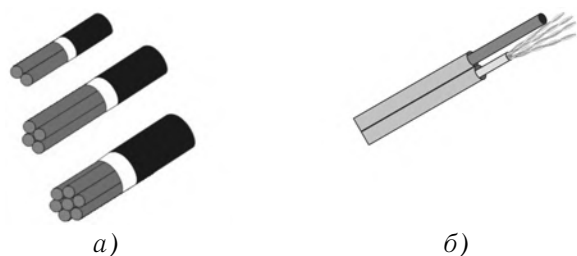


Рис. 130. Элементы формирования линейной части системы пневматической прокладки фирмы Brand-Rex:
а) кабельные каналы bloducts; б) кабель blotwist

При создании кабельной проводки внутри здания в первую очередь на уровне горизонтальной подсистемы возможно использование кабелей типа Blotwist. В составе изделий этой группы, которые фактически представляют собой комбинированный кабель, предусмотрены один или несколько экранированных или неэкранированных электрических модулей из витых пар категории 5е или 6 и кабельных каналов внешним диаметром 5 мм (рис. 130б). Модули витых пар могут быть в вариантах UTP, FTP и S/FTP. Для облегчения визуальной идентификации отдельных каналов практикуется окраска внешних оболочек их трубок в различные цвета. Изделие Blotwist может быть реализовано в виде сдвоенного кабеля с конструктивным оформлением типа zip-cord или обычного круглого кабеля с несколькими модулями под общей оболочкой. Достаточно широко практикуется традиционное для Великобритании исполнение кабеля в форме сборки, в которой отдельные шланги объединены в единую конструкцию за счет обмотки полистирольной лентой.

В качестве основного типа коммутационного оборудования системы Blolite/Blotwist используется универсальная коммутационная полка высотой 1U, в лицевую панель которой может быть установлено до 24 одиночных розеток ОР различных типов. От обычных изделий этой разновидности они отличаются только модернизированным кабельным вводом, который позволяет подключать к корпусу также каналы трубчатых кабелей. Кроме полки, в фиксированной конфигурации возможно применение 19-дюймовых панелей модульной конструкции. Емкость такой панели равна четырем модулям при сохранении высоты 1U, каждый модуль имеет четыре гнезда, в которые могут быть смонтированы розетки традиционных симплексных разъемов или разъемов группы SFF, а также ввод для установки трубки bloduct.

Для обеспечения возможности развития и эксплуатационного обслуживания системы кабельных каналов разработан набор аксессуаров и технологического оборудования. В перечень стандартных аксессуаров входят элементы сращивания кабельных каналов, в том числе адаптеры для соединения трубок с разным диаметром, заглушки, промежуточные муфты для внутреннего и внешнего монтажа и т. д.

Прокладка ОВ в кабельный канал в штатном режиме осуществляется с помощью комплекта типа IM2000, более известного под торговой маркой BloCentre. Основными функциональными блоками комплекта являются воздушный компрессор с приводом от электродвигателя, воздушный фильтр, осушитель воздуха и головка для ввода волокна в канал. Для доставки на объект компрессор и фильтр с осушителем пакуются в два чемодана. В случае необходимости источником сжатого воздуха вместо компрессора может служить предварительно заряженный обычный пневматический баллон с соответствующей арматурой для подключения. Интересной технической особенностью технологического оборудования BloCentre является то, что в рабочем положении головка для ввода ОВ в канал устанавливается на треноге.

Комплект тестовых приспособлений системы Blolite позволяет выполнить проверку состояния каналов и их пригодность для прокладки световодов. Для контроля отсутствия загибов, пережатий и других аналогичных дефектов в канал вдувается полимерный шарик, который задерживается на выходе специальным уловителем. Отсутствие проколов и разрывов оболочки проверяется манометром по постоянству давления, которое предварительно создается в заглушенном канале (максимум 10 бар).

В настоящее время продвижением продуктов Blolite и Blotwist занимается английская компания Brand-Rex, ранее входившая в группу BICC. Решения Blolite и Blotwist включены на правах отдельных продуктов в волоконно-оптическую часть СКС Millennium этого производителя. В соответствии с общепринятой практикой на систему Blolite/Blotwist, которая смонтирована партнерами компании Brand-Rex, может быть получена 25-летняя системная гарантия производителя.

Основные компоненты системы Blolite (за исключением вилок ОР, коммутационного оборудования и шнуров системы LightSystem) под оригинальной торговой маркой используются в составе СКС Siemon Cabling System. Практически аналогичного принципа внедрения технологии пневматической прокладки в свою продукцию придерживается другой известный американский производитель элементной базы СКС — компания Hubbell.

8.1.4. Системы Sirocco и FutureFlex

В настоящее время на рынке известно два серийных решения второй разновидности систем пневматической прокладки, в основу которых положена прокладка по каналам одиночных микрокабелей. Обе системы выпускаются независимыми производителями в соответствии с лицензионным соглашением с British Telecom. Итальянская компания Prysmian (ранее Pirelli) производит систему пневматической прокладки под торговой маркой Sirocco, аналогичная и очень похожая на нее конструктивно система японской корпорации Sumitomo Electric Lightwave продвигается под торговой маркой FutureFlex. Системные интеграторы, действующие на американском рынке, наряду с маркой FutureFlex в своих рекламных-маркетинговых материалах для обозначения системы часто употребляют также аббревиатуру ABF (от Air blown fiber).

Использование в линейной части систем FutureFlex и Sirocco вместо одиночных волокон микрокабелей⁴ позволяет существенно улучшить эффективность защиты световодов от влияющих факторов окружающей среды. Поэтому в процессе создания СКС данные решения являются привлекательными для применения в первую очередь при организации подсистемы внешних магистралей.

⁴ В некоторых англоязычных публикациях для их обозначения используется термин Fiber Unit, не имеющий пока аналога в отечественной технической литературе.

В серийных микрокабелях систем рассматриваемой разновидности могут применяться все типы одномодовых и многомодовых ОВ, допускаемых стандартами для использования при построении структурированной проводки. Для облегчения идентификации в процессе работы первичное защитное покрытие световодов окрашивается в соответствии со стандартом TIA/EIA-598-A. Максимальное количество волокон в одном изделии может достигать 8 (многомодовые ОВ) и 12 (одномодовые ОВ) для системы Sirocco, максимальная величина этого параметра составляет 18 в системе FutureFlex. Для увеличения скорости прокладки верхняя поверхность оболочки ОК за счет формирования на ней микросфер имеет структуру, увеличивающую турбулентность пограничного слоя, см. рис. 131. Несмотря на уменьшенные до предела внешний диаметр и толщину оболочки микрокабеля, в составе его конструкции в обязательном порядке предусматривается штатная полистирольная разрывная нить, существенно облегчающая разделку изделия в процессе монтажа. Основные механические параметры ОК различной емкости приведены в табл. 58.

Таблица 58. Технические параметры микрокабелей систем Sirocco и FutureFlex

Количество волокон	2	4	6	8	12	18
Система Sirocco						
Номинальный внешний диаметр, мм	1,02	1,02	–	1,38	1,4	–
Масса кабеля, г/м	0,8	0,9	–	1,5	1,66	–
Дистанция прокладки, м	1000	1000	–	1000	750	–
Система FutureFlex						
Номинальный внешний диаметр, мм	2,03	2,03	2,03	–	3,05	3,05
Масса кабеля, г/м	1,6	1,6	1,6	–	2,4	2,4

Поставка кабельных изделий рассматриваемых систем осуществляется на барабанах, максимальная величина строительной длины составляет 6 км. Максимальная стандартная длина 12- и 18-волоконных кабелей системы FutureFlex из-за их увеличенного диаметра при намотке на стандартные барабаны ограничена значением 3 км.

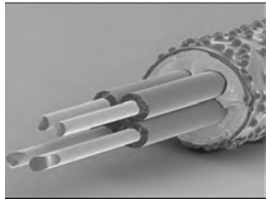


Рис. 131. Структура кабеля системы Sirocco

Минимизированный до предела внешний диаметр оболочки ОК чрезвычайно затрудняет нанесение на нее различных маркирующих надписей и соответственно идентификацию типа ОВ. Для решения этой проблемы в системе FutureFlex применена окраска внешней обо-

лочки одномодового кабеля в желтый цвет, на изготовление оболочки многомодового микрокабеля с волокном 62,5/125 используется полимер синего цвета, а многомодовый кабель с волокном 50/125 имеет оболочку серого цвета.

Каналы для прокладки микрокабелей конструктивно оформлены в виде кабельных изделий, сердечник которых собирается из одной или нескольких трубок. При количестве каналов свыше шести используется классическая многоповивная структура, то есть трубки располагаются в несколько слоев, концентричных относительно оси симметрии. Из-за относительно небольшой толщины оболочки трубчатые кабели внутренней прокладки системы FutureFlex емкостью в шесть трубок имеют характерную и легко узнаваемую многогранную форму. Поставка трубчатых кабелей осуществляется на барабанах, стандартное значение строительной длины составляет 1 км.

Каналы системы Sirocco имеют внешний диаметр 3 и 5 мм, система FutureFlex построена на однотипных каналах с внешним диаметром 8 мм. Трубка изготавливается из кабельного ПЭ высокого давления или безгалогенного негорючего материала, ее внутренняя поверхность для снижения усилий протяжки покрывается тонким слоем материала с низким коэффициентом трения. Полая конструкция трубчатого кабеля в случае его эксплуатации на трассах подсистемы внешних магистралей вынуждает разработчика применять специальные меры по защите от проникновения влаги. Наиболее эффективным средством решения этой проблемы является применение сплошной алюминиевой оболочки, которая располагается непосредственно под внешним ПЭ шлангом и выполнена в форме поясной изоляции. В случае необходимости по специальному заказу возможна поставка кабелей со стеклопластиковыми элементами защиты от грызунов и даже с упрочняющим покрытием из стальной гофрированной ленты толщиной 0,15 мм, см. рис. 132.

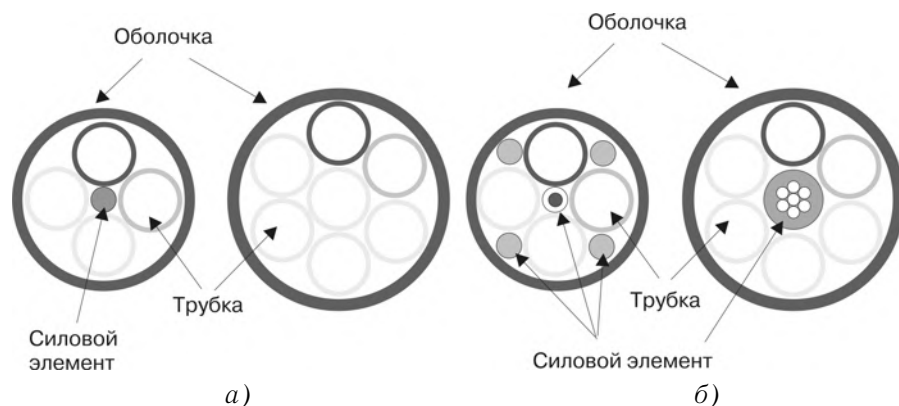


Рис. 132. Разновидности конструктивного исполнения трубчатых кабелей системы FutureFlex:
а) внутренней прокладки; б) внешней прокладки

Кроме обычных кабелей, в состав системы FutureFlex включены одиночные трубки без дополнительных защитных покрытий, которые из-за своих малых габаритов и высокой гибкости очень удобны для укладки в декоративные короба, внутристенные кабельные каналы и т. д. Предусмотрены также ориентированные на применение на трассах подсистемы внутренних магистралей сборки из нескольких таких трубок, которые скрепляются в единое целое полистирольной лентой. В 2003 г. в состав системы введены самонесущие трубчатые кабели для воздушной подвески.

Для построения линейной части кабельной системы доступно в общей сложности пять различных серийных модификаций кабелей. Изделия имеют варианты, предназначенные для внутренней и внешней прокладки, емкость сердечника которых составляет 1, 2, 4, 7 и 19 отдельных трубок. В системе Sirocco предусмотрена возможность увеличения емкости кабеля до 24 трубок.

В каталог стандартного оборудования обеих систем включен развитый набор аксессуаров и технологического оборудования, наличие которых ускоряет и упрощает процесс создания кабельных линий и выполнения отводов от них. В перечень аксессуаров входят такие компоненты, как промежуточные муфты, комплекты для ввода трубок в оконечные коммутационные устройства, средства для сращивания отдельных каналов и их разветвления и т. д.

Основным видом технологического оборудования является источник сжатого воздуха, с помощью которого осуществляется продвижение ОК по каналу. Наряду с воздухом допускается свободное использование сжатого азота. Источником сжатого газа может являться баллон или компрессор. В системе FutureFlex оговариваются только параметры этих устройств, в составе оборудования системы Sirocco присутствует штатный воздушный компрессор, имеющий приводной электрический или бензиновый двигатель и создающий рабочее давление до 10 бар. В обеих системах арматура источника сжатого воздуха снабжена регулятором давления, приспособлениями для дегидратации и охлаждения. Для ввода микрокабеля в канал на его вход надевается головка с подающими валками и штуцером для подключения шланга компрессора.

Скорость прокладки в благоприятных условиях и при создании максимального давления на входе канала может достигать 35–50 м/мин. Максимальная рекомендуемая длина стационарной линии на основе микрокабеля с числом ОВ не свыше восьми составляет 1 км, для кабелей большей емкости с увеличенной погонной массой это значение уменьшается до 750 м. При необходимости организации линий большой протяженности на основе одной строительной длины фирменными руководствами допускается применение всего известного в кабельной технике комплекса приемов (прокладка в двух направлениях из центральной точки, метод разделения динамической нагрузки и т. д.). Для облегчения выполнения этой операции в перечень штатного оборудования системы Laserstream (один из вариантов системы Sirocco) включен так называемый реверсивный промежуточный накопитель. Данное предельно

простое устройство представляет собой бак цилиндрической формы со съемными крышкой и дном. Бак со снятой верхней крышкой устанавливается в промежуточном пункте и предназначен для укладки в него прокладываемого кабеля при его выходе из канала. После завершения этой процедуры бак закрывается второй крышкой и переворачивается. При снятом дне внутренний конец ОК становится доступным для прокладки в следующий конец трубчатого кабеля [204].

Обе системы в соответствии с обычной для рынка СКС практикой обеспечиваются гарантийной поддержкой производителя. На инфраструктуру на базе технических средств системы Sirocco, которая была реализована сертифицированным партнером компании Pirelli с соблюдением правил и технологии производителя, заказчиком может быть получена 25-летняя системная гарантия. В системе FutureFlex в зависимости от уровня квалификации партнера продолжительность гарантии, выдаваемой производителем, составляет 15 и 25 лет с момента завершения установки.

Отметим, что технологические решения и элементная база Sirocco используются в составе своих СКС такими известными производителями, как Panduit, Krone и Molex (последний — под торговой маркой Laserstream).

8.1.5. Система RibboNet

Система RibboNet была разработана компанией Ericsson Cables в конце 90-х гг. прошлого века и предназначена в первую очередь для применения в процессе построения оконечного участка сетей доступа внутри отдельной постройки или группы зданий. По своим характеристикам комплекс ее технических средств вполне может быть использован в процессе создания магистральных подсистем СКС.

Основное отличие от систем, реализующих технологию British Telecom, состоит в том, что для прокладки в каналы трубчатых кабелей используется ленточная конструкция, реализованная на основе традиционной для кабельных изделий внутренней прокладки компании Ericsson сборки из двух, четырех, восьми или двенадцати волокон, см. рис. 133. Поставка ленточной сборки световодов осуществляется на катушке с наружным диаметром 230 мм и диаметром шейки 190 мм при ширине 65 мм. В зависимости от потребности и с учетом основной области применения на катушке может находиться 30, 50, 70, 100, 150 или 200 м ленточного волокна [205].

Ленточная конструкция световодов затрудняет формирование структуры ее верх-

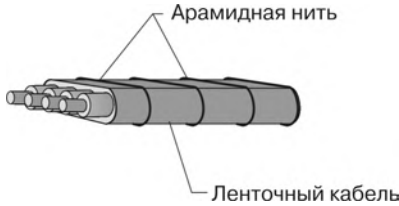


Рис. 133. *Четырехволоконная ленточная сборка световодов системы RibboNet первого поколения*

ней поверхности, стимулирующей продвижение кабеля по каналу в воздушном потоке. Задача создания турбулентности пограничного слоя, требуемой для получения необходимого тянущего усилия, первоначально была решена разработчиком за счет плотной навивки на ленту одиночной арамидной нити с шагом около 4 мм. Поэтому максимальная паспортная дальность прокладки ленточного волокна системы RibboNet в зависимости от ориентации канала и его топологии составляет 1000 м для 2-волоконной ленты, 600 м для 4-волоконной ленты и 200 м для ленты емкостью в 8 и 12 волокон. Резкое падение дальности прокладки многоволоконных кабелей обусловлено их плоской формой, которая отличается от оптимальной для движения по каналу, особенно непрямолинейному. Для устранения этого недостатка в начале 2000-х гг. производитель системы перешел на поставку кабеля в круглой оболочке с шероховатой верхней поверхностью, но с сохранением ленточного сердечника (табл. 59). Максимальная емкость этого изделия уменьшена до восьми волокон (две ленты по четыре волокна в каждой), однако паспортная дальность прокладки увеличена до 1000 м в зависимости от емкости.

Таблица 59. *Некоторые технические параметры ленточных кабелей системы RibboNet*

Количество волокон	2	4	8
Номинальный внешний диаметр, мм	1,02	1,02	1,35
Погонная масса, г/м	0,8	0,9	1,7
Допустимый радиус изгиба, внешних диаметров: при эксплуатации при прокладке		20 25	
Температура (прокладка, эксплуатация), °C		-20 – +60	

Трубчатые кабели реализованы на ПЭ или ПВХ трубках с внутренним диаметром 5 мм. Аналогично решениям других производителей эти кабели имеют несколько вариантов исполнения, предназначенных для внутренней и внешней прокладки, а также для прокладки в каналах кабельной канализации. Емкость этих изделий может достигать 24 каналов.

Приспособление для подачи кабеля и сжатого воздуха в канал в отличие от других систем реализовано в виде ручного прибора массой 2,5 кг и размером с электрическую дрель. Его особенностью является наличие задней консоли, куда устанавливается катушка с кабелем. В инструменте реализована двойная схема создания усилия продвижения волокна: подающим электродвигателем и сжатым воздухом. При каналах длиной до 50 м прокладка ка-

беля возможна без подачи сжатого воздуха только под действием усилия электродвигателя. Продвижение кабеля в канал происходит лишь при нажатом курке.

В комплект инструментов для прокладки входит раздвижная тренога для установки на нее подающего приспособления. Небольшая масса катушки и сравнительно короткие отрезки хранящегося на ней кабеля позволяют в случае необходимости выполнять все работы «с руки».

На смонтированную систему может быть получена 15-летняя системная гарантия производителя.

8.1.6. Микрокабели пневматической прокладки производителей кабельной продукции

Рассмотренные далее разработки изначально не привязывались к конкретной технологии и могут быть использованы совместно с типовыми каналами, приспособлениями для продувки и другим аналогичным оборудованием различных производителей.

8.1.6.1. Изделия компании OFS

Компания OFS в соответствии с патентом British Telecom разработала две разновидности микрокабелей, предназначенных для применения в системах пневматической прокладки.

Изделия серии AccuBreeze имеют сухую конструкцию и содержат два или четыре ОВ в первичном защитном покрытии. В случае их использования для построения структурированной проводки основной областью их применения являются подсистемы внутренней магистрали. Отличительной особенностью исполнения изделий данной разновидности является применение двухслойного внешнего шланга. Внутренний слой изготовлен из мягкого акрилата и придает конструкции необходимую гибкость. Внешний слой выполнен также из акрилата, но с повышенной твердостью. Его применение позволяет обеспечить эффективную защиту ОВ от сжатия. Одновременно твердый акрилат выполняет функции подушки для внедренных в нее стеклянных микрошариков. Наличие этих элементов дает двоякий эффект, то есть уменьшает коэффициент трения и создает значительную турбулентность пограничного слоя, что является необходимым условием получения тянущего усилия, требуемого для продвижения микрокабеля по каналу.

Микрокабели серии XpressTube в настоящий момент имеют фиксированную емкость, которая составляет 12 волокон. В доступных для заказа конструкциях применяются все типы ОВ, производимых компанией OFS. Характерной особенностью этих изделий является заполнение внутреннего свободного пространства шланга внешней оболочки гидрофобным гелем. Такое исполнение существенно увеличивает уровень защиты от воздействия

влаги и позволяет эффективно применять микрокабели этой серии на трассах подсистемы внешних магистралей.

Разработка 12-волоконного микрокабеля выполнена с учетом удовлетворения потребностей телекоммуникационных операторов, которые в настоящее время используют для организации сетей доступа преимущественно ОК емкостью 12, 24 и 48 световодов.

Как интересную техническую особенность отметим возможность прокладки кабелей XpressTube при температурах до -30°C .

Световоды, используемые в кабелях пневматической прокладки компании OFS, по своим передаточным параметрам (затуханию, дисперсии и т. д.) полностью соответствуют кабельным изделиям традиционной конструкции. Основные механические и эксплуатационные параметры изделий AccuBreeze и XpressTube приведены в табл. 60.

Таблица 60. Параметры микрокабелей для систем пневматической прокладки компании OFS

Параметр	AccuBreeze	XpressTube
Количество волокон	2 и 4	12
Внешний диаметр, мм	1,0	1,6
Погонная масса, г/м	0,85	2,2
Минимальный радиус изгиба, мм	36	–
Максимально допустимое тянущее усилие, Н	–	20
Рабочая температура, $^{\circ}\text{C}$	$-40 \div +60$	$-40 \div +60$

8.1.6.2. Изделия компании Samsung

Компания Samsung Electronics с 2003 г. серийно производит микрокабели пневматической прокладки (Air Blown Micro Cable), которые предназначены для создания городской телекоммуникационной инфраструктуры и сетей доступа. Из трех предлагаемых пользователям основных конструкций в технике СКС по своим характеристикам на уровне подсистемы внешних магистралей могут быть использованы ОК серии RTC. От продукции других производителей эти изделия отличаются тем, что основой сердечника является 6-волоконная лента, причем в зависимости от емкости кабель может содержать одну или две такие ленты. Необходимую степень защиты ОВ от воздействия влаги обеспечивает заполнение внутренних пустот сердечника гидрофобным гелем.

В номенклатуру производящего подразделения компании включены серийные ОК со стандартными одномодовыми ОВ, а также с многомодовыми волокнами типов 50/125 и 62,5/125. 12-волоконный ОК серии RTC при номинальном внешнем диаметре 2,8 мм имеет массу 6 кг/км.

Работы по прокладке ОК серии RTC могут выполняться при температурах от -20 до $+60$ °C. Тип используемой для этого технологии изготовителем не оговаривается.

8.1.7. Система JetNet

Система JetNet разработана компанией Draka Telekom в 1997 году и ориентирована на использование в процессе построения оконечных участков сетей доступа. Характеристики системы позволяют эффективно применять ее для создания подсистемы внешних магистралей СКС.

От других аналогичных продуктов JetNet отличается двухступенчатой схемой организации кабельных каналов, которая называется в некоторых публикациях технологией микротрубки [206]. В процессе их построения сначала по трассе прокладывается так называемый защитный канал пяти типоразмеров с диаметром от 25 до 63 мм. Канал данной разновидности изготовлен из полиэтилена высокого давления и представляет собой хорошо известную на сетях связи общего пользования трубку dura-line одноименной американской компании или ее функциональный аналог. Затем в этот канал методом пневматической прокладки вводится так называемая направляющая трубка диаметром 7 или 10 мм. Эта трубка предназначена для протяжки через нее ОК максимальной емкостью 24 волокна и для упрощения процесса монтажа изготовлена из полимерных материалов различных цветов.

Основным технологическим оборудованием системы служат станции типа SuperJet известной швейцарской компании Plumettaz, обеспечивающие задувку в защитный канал направляющих трубок и ОК. Из-за повышенной погонной массы трубки и кабеля в состав рабочей головки станции введен модуль с механическим валиковым подающим механизмом, имеющим гидравлический привод.

В состав системы входят также аксессуары типа направляющих приспособлений, средств для сращивания защитных и направляющих трубок, инструментов для монтажа и т. д. Промежуточная разветвительная муфта имеет характерную Y-образную форму (рис. 134), что существенно облегчает организацию ответвлений от магистральных каналов. Герметичность муфты обеспечивается чисто механическими средствами без использования герметиков и процедур термоусадки.

Максимальная паспортная дальность прокладки ОК по каналам системы JetNet составляет 1600 м. Тип кабеля производителем системы отдельно не оговаривается.



Рис. 134.
Разветвительная
муфта системы
JetNet

8.2. Системы интерактивного управления и средства активной идентификации для оптической подсистемы

Принципиальными недостатками любой СКС, обусловленным задаваемыми стандартами принципами построения структурированной проводки, являются отсутствие штатного источника электропитания и невозможность применения средств электронной и электромеханической коммутации. В свою очередь, это означает обязательность процедуры ручного переключения коммутационными шнурами портов коммутационных панелей и активного сетевого оборудования. При большом количестве обслуживаемых рабочих мест и высокой плотности розеточных частей разъемов, характерных для современного оборудования, это существенно затрудняет процесс администрирования кабельной проводки.

Общие принципы осуществления администрирования структурированной проводки задаются международным стандартом ISO/IEC 14763-1 и американским национальным стандартом TIA/EIA-606-A. Можно, однако, констатировать, что выполнение содержащихся в этих нормативно-технических документах требований обеспечивает удобство управления кабельной системой фактически только на минимально необходимом уровне.

В настоящее время на рынке предлагается несколько серийных систем и продуктов аппаратного и аппаратно-программного типа, обеспечивающих увеличение эффективности выполнения процедур администрирования. Всю совокупность имеющихся решений на основании заложенных в их конструкцию принципов можно разделить на две большие группы: системы интерактивного управления и системы идентификации.

8.2.1. Системы интерактивного управления

Системы интерактивного управления обеспечивают наивысший уровень дополнительного сервиса в области администрирования и, в частности, наиболее эффективно защищают от ошибочной и некорректной коммутации. Это достигается за счет выполнения мониторинга отдельных соединений в технических помещениях и индивидуальной индикации коммутируемых компонентов в процессе изменения конфигурации кабельной проводки. Решения данной группы образуют в некоторых случаях достаточно развитые комплексы, которые внедряются в СКС методом частичного «наложения» на инфраструктуру классического коммутационного поля и совершенно не затрагивают задаваемые стандартами правила построения структурированной проводки. При этом любое из рассматриваемых решений построено таким образом, чтобы в случае необходимости администратор имел возможность осуществлять экс-

плуатацию СКС традиционными способами ценой соответствующего уменьшения уровня сервиса.

Общие принципы построения, особенности архитектуры и ПО, сильные и слабые стороны систем интерактивного управления рассмотрены в [207]. На рынке известны три основные разновидности таких продуктов (PatchView фирмы RiT Technologies, iPatch компании Avaya и iTracks одноименной американской корпорации). Кроме того, наряду с базовыми решениями в период после 2000 г. появились их более или менее многочисленные клоны (например, PanView фирмы Panduit, Real Time фирмы Molex, AMPTrac фирмы AMP, IntelliMAC фирмы NORDX/CDT и т. д.). Данные решения полностью или частично производятся на основании OEM-контракта и за счет этого на уровне аппаратной части и особенно управляющего ПО могут иметь определенные непринципиальные отличия от прототипа. Отметим также, что решения PatchView и iTracks, а также соответственно их клонов в области оптических подсистем на уровне аппаратной части являются идентичными.

Внедрение в СКС системы интерактивного управления в обязательном порядке сопровождается установкой специализированного коммутационного оборудования. В продуктах PatchView и iTracks оно дополняется специализированными коммутационными шнурами. Коммутационное оборудование систем интерактивного управления отличается от обычного в основном тем, что каждая розетка электрического или оптического разъема снабжена датчиком, чувствительный элемент которого изменяет свое состояние в момент подключения и отключения шнура. Информация о каждом таком изменении передается в управляющий контроллер, который использует ее для формирования различных сообщений, выдачи предупреждающих сигналов, заполнения БД соединения и т. д.

В известных системах используются датчики с чувствительными элементами исключительно контактного типа, отличающиеся только вариантами конструктивного исполнения. В системе iPatch механическая часть чувствительного элемента выполнена в форме подвижной подпружиненной дверцы, которая своим скосом частично перекрывает просвет гнезда розетки и поднимается вверх в момент подключения вилки разъема. В системах iTracks и PatchView в той их части, которая предназначена для работы с оптической подсистемой, подвижная часть чувствительного элемента представляет собой контакт, который вынесен в вилок. Взаимодействующая с ним контактная площадка располагается рядом с розеткой.

Коммутационный шнур систем iTracks и PatchView отличается от обычного изделия данного вида наличием вспомогательного гибкого многопроводного проводника калибром 26 AWG (диаметр 0,5 мм). Обычно проводник располагается под общей оболочкой вместе с волокнами (рис. 135в). В случае применения для построения шнуров кабелей типа zip-cord с уменьшенными внешними габаритами возможен вынос этого проводника в отдельный внешний

шланг. Данный прием использован в шнурах системы PLM (Physical Layer Management) компании ADC Krone. Проводник на обоих концах шнура выводится на дополнительный контакт вилки, который расположен в ее пластиковом корпусе по центру или с боковым смещением [208].

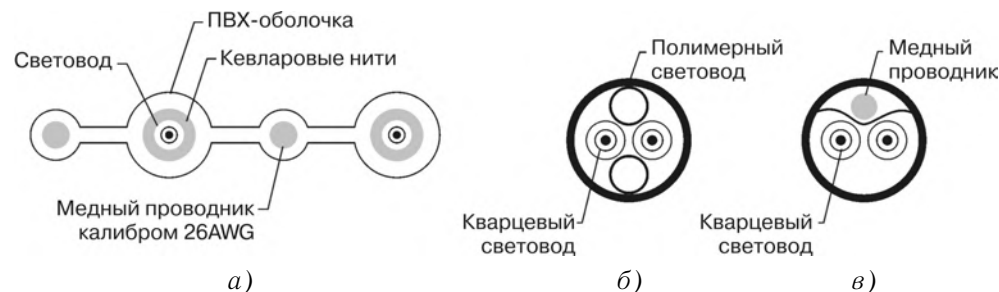


Рис. 135. Структура кабелей дуплексных оптических коммутационных шнуров систем интерактивного управления и идентификации:
а) кабель системы TracerLight; б) кабель системы PatchSee;
в) кабель системы PatchView

Контакт чувствительного элемента датчика подключения может быть выполнен по двум альтернативным схемам. Первая из них предполагает наличие подпружиненного подвижного элемента, который чаще всего расположен в вилке коммутационного шнура. Данный элемент почти всегда имеет форму штырька и за счет этого не отличается высокой механической прочностью. Для преодоления этого недостатка и увеличения эксплуатационной надежности в целом в узле установки подвижного контакта дуплексного шнура с вилками SC и MT-RJ системы PatchView предусмотрен трубчатый защитный элемент, см. рис. 136. В системе PLM компании ADC Krone подвижная часть контакта вилки выполнена в форме ножа, что заметно улучшает его механическую прочность.

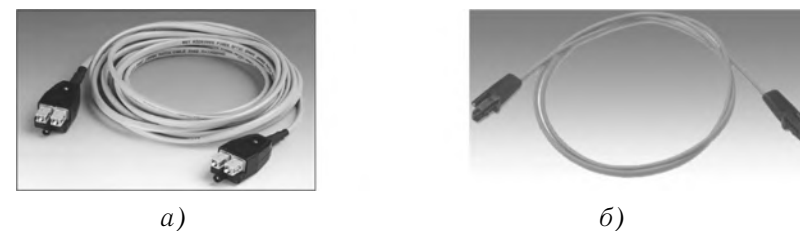


Рис. 136. Шнур системы PatchView:
а) с разъемами SC; б) с разъемами MT-RJ

Известна также система ReView, которая представляет собой один из вариантов системы PatchView. Схема этого продукта повторяет схему системы iTracks, однако в нем устранен один из недостатков аналога, которым является подвижный контакт вилки. Единственной подвижной деталью чувствительного элемента является контактная площадка накладной планки коммутационной панели [209]. В системе PanView компании Panduit также применен жесткий контакт вилки. Панельная часть чувствительного элемента реализована на основе контакта с V-образным центральным вырезом, в который при подключении шнура входит контакт вилки.

В своей исходной форме в системе iTracks используется схема «один контакт на вилку». В прототипе системы AMPTrac для достижения более высокой эксплуатационной надежности количество проводников и соответственно контактов было увеличено до двух, а контактная площадка розеточной части разъема имеет U-образную форму. В серийном варианте системы разработчик, однако, отказался от данного решения. Схема «один контакт на вилку» распространяется также на ОР предыдущего поколения (FC, ST и SC), допускающие применение одиночных вилок. С учетом этого принципа duplexная вилка разъема SC также будет иметь два управляющих контакта.

Сильной стороной систем PatchView и iPatch является наличие на панелях индивидуальных для каждой розетки индикаторных СД. Эти излучатели могут работать в режиме непрерывного и прерывистого свечения, что обеспечивает достаточно эффективную поддержку процесса изменения конфигурации кабельной проводки. Индикаторный СД обычно располагается над розеткой ОР, см. рис. 137а. В оптических полках увеличенной емкости при большой нагрузке коммутационного поля кабеля шнуров могут перекрывать индикаторные элементы. Для устранения данного недостатка иногда практикуется вынос СД на переднюю панель встроенного организатора, см. рис. 137б.



а)



б)

Рис. 137. Варианты расположения индикаторных светодиодов на оптических полках с опцией интерактивного управления:
а) полка высотой 1U; б) полка увеличенной высоты

Системы интерактивного управления в первую очередь из-за своей значительной стоимости достаточно редко применяются при построении магист-

ральных подсистем СКС, что обусловлено сравнительно небольшим количеством портов на данном уровне структурированной проводки. В свою очередь, это означает малую распространенность решений интерактивного управления на уровне оптической подсистемы и задержку по времени их вывода на рынок. Так, в частности, область действия системы iPatch фирмы Avaya была распространена на оптические полки на уровне серийного решения с двухлетним запаздыванием по сравнению с панелями для подключения кабелей из витых пар.

8.2.2. Системы активной идентификации соединений

Основным назначением систем активной идентификации, или оптической трассировки, соединений является упрощение процедуры поиска второго конца работающего коммутационного шнура без его отключения. Применение такой системы наиболее целесообразно на большом сильно загруженном коммутационном поле [210].

Решения этой группы отличаются от систем интерактивного управления двумя основными характерными чертами. Во-первых, они представляют собой чисто аппаратное средство поддержки администрирования крупных СКС. Средства активной идентификации обладают заметно меньшим функционалом, однако являются существенно более простыми во внедрении и эксплуатации. Немаловажное значение в этой связи имеет их заметно меньшая стоимость. Во-вторых, в них все технические изменения и модификации традиционной элементной базы сосредоточены исключительно на уровне коммутационных шнуров, а собственно процесс идентификации осуществляется с помощью внешнего ручного прибора. Внедрение системы идентификации в действующую структурированную проводку требует только применения специальных коммутационных шнуров вместо обычных.

Для выполнения процедуры идентификации на хвостовую часть вилки первого конца шнура надевается головка ручного инжектора, вилка второго конца отмечается оптическим сигналом видимого диапазона длин волн. Для реализации оптической индикации второго конца шнура выполнена модификация конструкции как кабеля, так и вилок коммутационного шнура, причем внесенные изменения в соответствии с требованиями стандартов не затрагивают тракт передачи информационного сигнала.

В настоящее время известны две системы идентификации данной разновидности, доведенных до уровня законченного инженерного решения: PatchSee и TracerLight. В коммутационных шнурах разработанной в 2001 г. системы PatchSee одноименной французской компании под защитным шлангом кабеля вместе с витыми парами и кварцевыми ОВ находятся два ПОВ диаметром 1 мм, см. рис. 135б. ПОВ образуют рабочую часть цепей индикации, для

чего их концы выведены в хвостовик вилки и развернуты назад таким образом, чтобы при подключении вилки к панели их торцевые поверхности были направлены в сторону администратора. Для поиска второго конца шнура на хвостовик вилки надевается головка прибора PatchLight, который представляет собой источник излучения красного цвета, выполненный в форме оптической указки с автономным питанием. При включенном источнике торцевые области ПОВ в хвостовике вилки второго конца шнура начинают светиться двумя хорошо заметными красными точками.

Функционально аналогичное решение TracerLight американской компании ADC KRONE может применяться только в оптической части СКС. Система TracerLight построена на использовании в качестве элемента оптической индикации плоского миниатюрного СД, встроенного в кабель шнура непосредственно за защитным хвостовиком вилки ОР типа FC, SC, ST и LX.5. Увеличение визуальной заметности излучения СД достигается его работой в импульсном режиме с достаточно высокой скоростью переключения. Ток в этот излучатель передается по двум гибким медным проводникам калибром 26 AWG, интегрированным в конструкцию кабелей для шнуров по схеме zip-cord так, как это изображено на рис. 135а.

Источником тока для индикаторного СД служат две батарейки типа АА, которые вместе со схемой управления размещаются в пластиковой рукоятке малогабаритного ручного устройства TracerLight Power Source FTL-PS. Для поиска второго конца шнура головка устройства TracerLight Power Source надевается на первом конце на дополнительный разъем, расположенный непосредственно за хвостовиком вилки (рис. 138), после чего включается СД вилки второго конца. Емкости батареек источника тока хватает примерно на 80 ч непрерывной работы. При выработке их ресурса скорость переключения СД уменьшается, что сигнализирует системному администратору о необходимости замены батареек. Для экономии ограниченного ресурса батарей автомата устройства принудительно отключает источник питания индикаторного СД через 1 ч после последнего использования.

8.2.3. Системы идентификации активных портов

Наряду с задачами администрирования кабельной системы, связанными с поддержкой изменения ее конфигурации, средствами оптической индикации в отдельных случаях решается также задача идентификации нахождения портов оптической подсистемы СКС в активном состоянии. Аналогично предыдущим



Рис. 138. Вилки оптических разъемов с опцией TracerLight

случаям используемые в этой области технические решения также не затрагивают тракта передачи сигнала. В отличие от систем активной идентификации соединений все изменения сосредоточены на уровне розеточных частей ОР. Известны два серийных изделия, реализующих этот принцип на практике: розетки типа RCC45² компании Reichle & De-Massari и E-2000 LED швейцарской фирмы Diamond.

Розетки типа RCC45² более подробно рассмотрены в параграфе 9.2.1, созданы на основе традиционного гнезда электрического модульного разъема и отличаются от него наличием в нижней части корпуса двух круглых установочных отверстий диаметром около 2 мм. Отверстия предназначены для фиксации в них концевых участков проводов электропитания или ПОВ типа 980/1000. Использующие эти волокна интерфейсы IEEE 1394b работают на длине волны 650 нм, которая находится в видимой области спектра. Таким образом, при работающем интерфейсе и отключенной вилке ОР торцевые поверхности ПОВ светятся хорошо видимым пользователю красным светом.

Разъем типа E-2000 LED компании Diamond является модификацией ОР типа E-2000. Основное отличие этого изделия от прототипа заключается в том, что его розеточные модули снабжены дополнительным контрольным

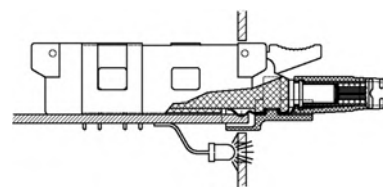


Рис. 139. Система E-2000 LED

СД, головка которого выводится на панель ниже розетки, см. рис. 139. Работающий СД отмечает тот порт оптической кабельной системы, к которому подключен коммутационный шнур. Элементом, включающим СД, является металлический пружинящий контакт, который прижат к корпусу вилки в его нижней части и одним своим концом введен под защитный хвостовик. Второй конец в процессе подключения проходит через соответствующий вырез в розетке и активизирует СД. Наибольшие преимущества решение данной разновидности имеет в случае оптических кроссов, обслуживающих значительное количество трактов передачи.

8.3. Решения модульно-кассетного типа

В самом конце прошлого века в широкую инженерную практику было внедрено несколько разновидностей малогабаритных ОР из группы SFF, а возможность их применения в проектах была официально подтверждена последними редакциями американской и международной версий основного стандарта СКС. Начало массового практического использования данной разновидности элементной базы явилось чрезвычайно важным достижением, так как теперь можно констатировать, что в кабельном и коммутационном оборудовании

витопарной и оптической подсистем обеспечена практически полная идентичность механических, массогабаритных и эксплуатационных параметров. Однако, несмотря на все достижения, при имеющемся на сегодняшний день уровне техники волоконно-оптическая часть кабельной инфраструктуры пока остается заметно более сложной и трудоемкой в области проведения работ по установке оконечного коммутационного оборудования. Это является объективным отражением существенно меньших габаритов ОВ как направляющей системы электромагнитных колебаний и особенностей передачи информации в оптическом диапазоне длин волн.

В условиях рыночной экономики системные интеграторы, на которых ложится основная тяжесть проблем по подготовке и реализации проекта построения кабельной проводки на конкретном объекте, естественным образом стремятся к получению превосходства над конкурирующими компаниями. Достигнуть преимуществ в конкурентной борьбе можно, как известно, двумя основными способами. Резервы по снижению стоимости элементной базы во многом были исчерпаны к 2000 г. Наглядным отражением этого факта является то, что в некоторых случаях стоимостные параметры трактов СКС, реализуемых на основе кабелей из витых пар и на базе ОК, оказываются практически одинаковыми [211].

Более перспективным представляется направление, связанное с уменьшением трудозатрат на создание кабельной проводки и в первую очередь тех их этапов, которые выполняются непосредственно на объекте монтажа. При использовании классической технологии реализация любой оптической линии СКС содержит следующие основные этапы: протяжку ОК по предварительно подготовленным или вновь построенным каналам, установку коммутационного оборудования, армирование ОВ вилками ОР, сборку оптических кроссов и тестовые проверки. Первые два этапа являются чисто механическими, их осуществление в случае соответствующей подготовки здания не вызывает никаких проблем, и они могут быть выполнены монтажниками даже первого разряда. Иная картина наблюдается при реализации заключительных этапов. Их исполнение требует привлечения квалифицированного персонала со специальной подготовкой, использующего в процессе своей деятельности дорогое технологическое и измерительное оборудование.

В основу разработки и внедрения в широкую инженерную практику построения стационарных линий СКС линейных претерминированных волоконно-оптических изделий было положено стремление к максимально полному выполнению технически сложных и ответственных операций в условиях специализированного производственного предприятия. Все продукты, относящиеся к данной группе (табл. 61), реализуются в форме комплекса технических средств, центральным элементом которого является претерминированная сборка.

Таблица 61. Основные свойства различных вариантов линейных волоконно-оптических претерминированных решений

Тип решения	Оконцевание и/или сращивание волокон	Необходимость внутренней разводки кросса	Тестовые проверки	Плотность портов
Претерминированная сборка	Не требуется	Необходима	Необходимы	Средняя
Претерминированная полка с задним вводом кабеля	Не требуется	Не требуется	Не требуются	Максимальная
Претерминированная полка с боковым вводом кабеля	Не требуется	Не требуется	Не требуются	Средняя
Претерминированная полка с односторонней сборкой	Необходимо	Не требуется	Необходимы	Максимальная
Модульно-кассетное решение	Не требуется	Не требуется	Не требуются	Максимальная

8.3.1. Концепция создания и преимущества модульно-кассетных решений

Оптические кроссы модульно-кассетного типа (Modular Fiber Optic Systems) могут рассматриваться как фактическое развитие концепции претерминированных полок. Их применение позволяет радикально устранить основной недостаток прототипа в виде больших габаритов головной части и в максимально полном объеме реализовать все преимущества техники предварительного оконцевания ОВ линейных ОК в заводских условиях. Технической основой внедрения данного решения в широкую инженерную практику является освоение промышленностью серийного производства ОР группового типа и технологии их монтажа.

Серьезным преимуществом комплекса технических средств данной разновидности является то, что в его состав входят всего два основных компонента: двухсторонняя претерминированная сборка (в англоязычных публикациях часто называется trunk cable), кабель которой в обязательном порядке армируется вилками группового ОР, и набор кассет с пользовательскими разъемами нескольких типов. При создании стационарной линии оптической подсистемы в данном случае длинный перечень монтажных работ сокращается всего до двух операций: протяжки кабеля по каналу и подключения его вилок к розетке линейной стороны кассеты оптического кросса. Серьезным преимуществом решения является то, что в случае его применения от проектировщика не требуется изменять тип оптических коммутационных шнуров и модернизировать принципы расчета их количества.

Оборудование модульно-кассетного типа естественным образом обладает всеми технологическими преимуществами техники претерминированных изделий. Однако за счет более комплексного подхода к решению проблемы построения тракта передачи оптического сигнала использующий его системный интегратор получает следующие дополнительные выгоды:

- радикальное уменьшение продолжительности выполнения монтажных работ при формировании оптических кроссов (согласно оценкам специалистов некоторых американских компаний, экономия времени при формировании оптического кросса в стоечном исполнении достигает 90 и более процентов; в рекламных целях часто используется следующее сравнение: продолжительность монтажа 96-портовой полки составляет по времени столько же, сколько требуется для установки одного оптического разъема по традиционной технологии);
- возможность заметного увеличения плотности конструкции оптического коммутационного оборудования (до 96 портов в одноволоконном исчислении на 1U монтажной высоты), что имеет немаловажное значение в технических помещениях небольшой площади;
- предельная простота перехода на другой тип ОР пользовательского интерфейса в случае возникновения такой необходимости;

- возможность передачи построенной линии в эксплуатацию немедленно после прокладки кабеля и подключения вилок его разъемов к розеткам линейной стороны оптического кросса без тестирования, паспортизации и других аналогичных операций.

Последнее положение означает фактическую реализацию в области СКС, то есть пассивного объекта, причем в его технически более сложной волоконно-оптической части хорошо известного в компьютерной и сетевой технике принципа plug & play.

Применение оборудования модульно-кассетного типа означает, что процесс армирования линейного ОК вилками ОР и сборки кассет осуществлен в заводских условиях с привлечением для этого соответствующей оснастки, а требуемые проверки выполнены на стационарном измерительном оборудовании. Такая реализация технологического процесса, во-первых, увеличивает качество продукта в целом (например, типичные потери в групповом разъеме МТР модулей системы EasyLan составляют 0,2 дБ при максимальном значении 0,5 дБ) и, во-вторых, резко снижает риск возникновения скрытых дефектов, проявляющихся через несколько месяцев или даже лет после завершения строительства. Немаловажное значение имеет также то, что в тех нередко встречающихся на практике случаях, когда заказчик в силу различных причин отказывается от сертификации проекта СКС в целом, на продукт все равно распространяется гарантия производителя, имеющая статус фактически системной. Поэтому системный интегратор в данной ситуации просто прикладывает заводской паспорт сборки к комплекту исполнительной документации, передаваемой заказчику кабельной системы.

Полностью модульный характер продуктов данной группы является очень большим преимуществом в случаях физического повреждения в процессе строительства и эксплуатации. При выходе из строя любого компонента (кабель, пользовательский или групповой разъем и т. д.) без выполнения сложных монтажных работ осуществляется его замена на исправный, который представляет собой функционально законченный модуль. Сама процедура замены может быть осуществлена обслуживающим персоналом даже с начальным уровнем специальной подготовки, что сводит время простоя ИВС до минимума.

8.3.2. Кассеты и их разновидности

Кассета конструктивно выполнена в форме небольшого полностью закрытого корпуса. Основным назначением этого компонента является обеспечение перехода от группового разъема сборки к индивидуальным симплексным или дуплексным ОР портов пользовательского интерфейса. Отражением этого факта является то, что в некоторых англоязычных публикациях для их обозначения используются построенные на заимствовании из кабельной техники термины breakout cassette, fiber distribution module или fanout module.

В отличие от других типов коммутационного оборудования СКС в штатном режиме доступ во внутреннюю часть корпуса кассеты принципиально не предусматривается не только для эксплуатационного персонала, но и для монтажников. В некоторых ситуациях производитель использует корпуса с легкоъемной крышкой (кассеты системы Plug & Play фирмы Corning). Основанием для этого является стремление к унификации модульно-кассетных и обычных модульных решений, основанных на традиционных технологиях оконцевания линейных ОК с одиночными или ленточными ОВ с помощью монтажных шнуров. Для облегчения процедуры заказа различных видов изделий для их обозначения используются термины обычные или претерминированные (pre-terminated) модули.

Корпус изделия изготавливается преимущественно из листовой стали толщиной примерно 1,5 мм, что обеспечивает ему необходимую механическую прочность. Наиболее распространенным средством крепления кассеты в кроссе являются фиксаторы, расположенные в той части передней панели, которая с двух сторон выступает за габарит корпуса в виде традиционных «ушей». Этот компонент выполняется в большинстве случаев на основе обратной цанги (push-pull fastener) и срабатывает при нажатии на головку фиксирующего штырька. Реже встречаются фиксаторы с рабочим элементом язычкового типа, которые переводятся в рабочее положение отверткой поворотом головки на четверть оборота.

Особенностью кассеты как компонента коммутационного оборудования является наличие у нее розеток двух различных разновидностей. На передней пользовательской стороне устанавливаются розетки дуплексных или симплексных ОР, к которым системный администратор штатным коммутационным шнуром осуществляет подключение сетевого оборудования. Розетка группового разъема размещается с линейной стороны на задней поверхности корпуса. С ней работают только монтажники, СКС и она недоступна для обслуживающего персонала владельца кабельной системы в режиме текущей эксплуатации.

Современные групповые разъемы типов МТР и МРО в серийно выпускаемых рядом компаний вариантах исполнения позволяют армировать одновременно максимум 12 волокон, тогда как типовое значение емкости наиболее распространенных на практике оптических кроссов с 24 дуплексными розетками составляет 48 волокон. В такой ситуации с учетом геометрии модулей логичным является использование принципа формирования коммутационного оборудования в стоечном исполнении по наборной горизонтальной схеме с тремя-четырьмя модулями на 1U монтажной высоты, см. рис. 140.

Высота корпуса кассеты в подавляющем большинстве случаев выбирается несколько меньшей 1U, и в таком изделии применяется одна розетка группового ОР. В крупных сетях с развитой волоконно-оптической подсистемой обеспечиваемая традиционной кассетой емкость оказывается недостаточной.

Для решения этой проблемы используются различные способы. Первый путь является эволюционным и заключается в переходе от горизонтальной схемы размещения кассет к вертикальной в специально предназначенном для этого конструктиве типа корзины. Более редким вариантом такого подхода является применение рядного расположения установочных гнезд в нескольких уровнях при сохранении их горизонтальной ориентации. Основным достоинством наборных решений данной группы является возможность применения в них кассет традиционной номенклатуры типов. Вполне имеет право на существование разработка обычной горизонтальной кассеты увеличенной емкости, ориентированной на системы среднего масштаба. При этом используется удвоение высоты ее корпуса. В таких кассетах для подключения ОК стационарной линии из соображений унификации используемой элементной базы и придания решению в целом большей функциональной гибкости на линейной стороне устанавливаются две розетки групповых ОР (система Momentum компании Ortronics). Аналогичным образом две розетки групповых разъемов применяются в кассетах одиночной высоты в случае использования удвоенной плотности расположения розеток пользовательских разъемов (система 3PLink американской компании Opticonx).



Рис. 140. 19-дюймовая полка с оптическими модулями

Разработчик естественным образом стремится до предела минимизировать габариты корпуса модуля. Это дает возможность использовать наборную схему построения коммутационного оборудования, что придает оптическому кроссу определенную гибкость, хорошо востребованную при реализации кабельных систем среднего масштаба. В крупных кабельных системах с развитой волоконно-оптической подсистемой такая гибкость оказывается избыточной и размеры кассеты вместе с количеством абонентских розеток в одной функциональной единице оборудования вполне могут быть увеличены. В этих ситуациях логика построения масштабного объекта диктует объективную необходимость перехода от модульно-кассетного принципа к обычной модульной схеме реализации стационарной линии оптической подсистемы структурированной проводки. В рамках реализации такого подхода на практике в состав продукта Instapatch, входящего в состав СКС Systimax, в дополнение к набор-

ным панелям, которые предназначены для установки 12-волоконных предразведенных модулей, введена полномасштабная полка с 96 пользовательскими розетками LC и шестью розетками MPO на линейной стороне. В перечне штатного оборудования продукта Plug & Play системы LANscape фирмы Corning присутствуют аналогичные по назначению полки серии HDS с 6 розетками разъемов MTP и 36 абонентскими розетками MT-RJ.

Внутренняя разводка кассеты осуществляется разветвительным шнуром в производственных условиях специализированного предприятия, что позволяет обеспечить необходимый для выдачи 15–20-летней системной гарантии уровень эксплуатационной надежности в сочетании с трудно достижимой в полевых условиях предельной минимизации габаритов ее корпуса. В случае реализации пользовательского интерфейса кассеты на основе ОР группы SFF (LC, MT-RJ, E-2000 и аналогичных им) удается без проблем вписать их розетки в габарит передней панели. Иная картина наблюдается при применении остающегося пока чрезвычайно популярным разъема SC предыдущего поколения с его крупногабаритными розетками. В этой ситуации разработчик вынужден до предела сближать розетки друг с другом и использовать схему их двухрядного (система Platinum компании Red Hawk/CDT), вертикального (система EasyLan 5" американской компании Fiberc) или наклонного (система Instapatch фирмы CommScope) расположения на абонентской стороне изделия. Следствием сохранения дуплексных розеток SC в составе возможных типов интерфейсов являются проблемы с нанесением пользовательской маркировки из-за недостатка места на передней панели кассеты.

Полностью закрытый корпус кассеты дает возможность при выборе конструкции стоечного кросса отказаться от традиционной полки в пользу более простой открытой панели с лицевой пластиной и задним горизонтальным отгибом в виде поддона. Обычно в такую панель кассеты устанавливаются горизонтально, что значительно упрощает их крепление в рабочем положении. Схема вертикального крепления реализуется на практике существенно реже. В данной ситуации применяется преимущественно традиционный для вертикальных модульных решений конструктив в форме корзины (система Opticom фирмы Panduit). Возможно использование также универсального конструктива. Примером практической реализации такого подхода является панель американской компании Phoenix Optix, на которой устанавливаются три (горизонтальный вариант) или 12 (вертикальное исполнение) кассет.

Не исключается возможность применения полностью закрытых установочных конструктивов. В данной ситуации целесообразно унифицировать конструкцию и элементы крепления кассеты с соответствующими элементами широко распространенных 6-портовых сборок оптических наборных панелей и использовать для их установки традиционную оптическую полку. Такой подход положен, в частности, в основу системы Platinum компании Red Hawk/CDT.

Классические оптические полки стоечного исполнения и настенные муфты многих производителей СКС в процессе выбора их конфигурации в конкретном проекте комплектуются однотипными, обычно 6-портовыми сменными вставками с ОР различных типов. Данная конструктивная особенность коммутационного оборудования позволяет без проблем распространить принцип формирования оптического кросса на основе кассеты также на настенные муфты. Такая возможность предусмотрена, в частности, в системах Momentum компании Ortronics и 3PLink фирмы Opticonx. В этом случае кассета устанавливается по внутренней схеме на место стандартной 6-портовой вставки с розетками оптических разъемов.



Рис. 141. Различные варианты конструктивного исполнения пользовательской стороны кассет

Применение унифицированных закрытых монтажных конструктивов в форме стоечной полки и настенной муфты несколько более предпочтительно при использовании в качестве основы сборки жесткого кабеля с улучшенной механической защитой. В этом случае он надежно фиксируется в штатных крепежных элементах кросса, то есть механические усилия, вызываемые большой погонной массой изделия и силами упругости, не передаются на розетку группового разъема.

Производитель может разработать для кассеты съемную монтажную скобу, которая является отдельной каталожной позицией с собственным номером для заказа. При наличии в составе стандартного предложения такой детали кассета при возникновении подобной необходимости открыто устанавливается на стену и в зависимости от конкретных местных условий может достаточно эффективно выполнять функции точки консолидации или многопортовой абонентской розетки MUTO (система ModLink фирмы Molex).

В некоторых ситуациях линейный интерфейс кассеты вместо более распространенной розетки формируется на основе короткого отрезка кабеля длиной не свыше 2–3 м. Один конец этого кабеля входит в боковую часть корпуса модуля и наглухо заделан в нем, на втором конце установлена вилка группового разъема. Данная схема использована в продукте FiberExpress Bag из состава СКС IBDN компании NORDX/CDT [19] и в системе Gator Patch американской компании Fiberc. Такое исполнение позволяет без привлечения дополнительных компонентов организовать межшкафные соединения при тра-

диционной рядной установке закрытых монтажных конструктивов в пределах одного технического помещения. В случае необходимости продукты данной группы могут быть использованы для реализации классических магистральных линий и отличаются от обычных модульно-кассетных решений только переносом розетки группового ОР с корпуса кассеты в линейную часть тракта.

В процессе конструирования корпуса разработчик предпринимает ряд мер, направленных на увеличение эксплуатационной надежности решения в целом. Для уменьшения радиуса изгиба кабеля сборки в месте его ввода в кассету розетка группового ОР может устанавливаться под углом к продольной оси корпуса на его скосе. Розетки группового разъема типов МРО и МТР в своей исходной форме изготавливаются из пластмассы и обладают недостаточно высокой механической прочностью. С учетом этого обстоятельства место размещения розетки иногда выносят на дополнительный выступ корпуса в защищенное от механических повреждений место. Некоторое увеличение сложности конструкции корпуса в данной ситуации полностью компенсируется заметным уменьшением риска разрушения розетки в процессе эксплуатации системы.

8.3.3. Конструктивные особенности претерминированных сборок

Абсолютно идентичные массогабаритные параметры современных световодов дают возможность без проблем применять в конструкции претерминированных сборок, входящих в состав модульно-кассетных решений, все известные типы волокон, то есть многомодовые волокна категорий OM1—OM3 и одномодовые световоды категории OS1. Выбор конкретного из них осуществляется системным интегратором в зависимости от местных условий реализации проекта.

Применение в процессе производства сборки ключевых вариантов разъемов позволяет выполнить их установку с использованием схем А и В. Это снижает с пользователей проблему обеспечения правильной полярности вилок.

Использование претерминированных сборок с групповыми разъемами открывает перспективы широкого применения в качестве их основы ленточных кабелей, имеющих потенциально более высокую плотность конструкции. Это облегчает выполнение монтажных работ по построению линейной части проводки в случае высокой степени заполнения канала, что достаточно часто встречается на практике. Технические выгоды от перехода на ленточные конструкции проиллюстрируем следующим примером. Типовое значение внешнего диаметра 12-волоконного распределительного кабеля внутренней прокладки традиционной конструкции, часто используемого в качестве основы сборки, составляет 6,5 мм. Переход на ленточное исполнение без изменения емкости позволяет сократить высоту поперечного сечения кабеля до 2,1—2,3 мм при

ширине 4,6—5,1 мм, то есть по площади примерно в три раза (система ModLink СКС фирмы Molex) ценой некоторого уменьшения допустимого усилия тяжения. Для изделий внутренней прокладки из-за особенностей области эксплуатации подобное ухудшение параметров не является критичным.

Преимущества ленточных кабелей по массогабаритным показателям проявляются в еще большей степени при дальнейшем увеличении их емкости. Однако основная масса групповых ОР рассчитана на оконцевание не более 12 волокон (см. параграф 5.5.3). Для практического использования достоинств ленточных конструкций возможны два пути. Первый из них заключается в увеличении «волоконности» разъемов и не получил широкого распространения на практике из-за невысокой эксплуатационной гибкости. Более перспективным представляется применение многоволоконных ленточных кабелей с оконцеванием отдельных лент вилками обычных групповых разъемов (рис. 142). Внедрение этого принципа позволяет сохранить в неизменности номенклатуру коммутационного оборудования.

В области выбора длин кабелей сборки производители придерживаются двух различных, но примерно равных по популярности подходов. Согласно первому из них установлен ряд номинальных значений, которые меняются в определенных пределах с заранее заданным шагом (от 50 до 100 м у фирмы Molex, 1,5 м (5 футов) у фирмы Corning и т. д.). Второй подход основан на заказной длине кабеля под требования конкретного проекта, причем длина ОК для облегчения заказа изделия на производящем предприятии в явном виде отражается в его каталожном индексе (компания CommScope). Известные модульно-кассетные решения активно продвигаются пока только американскими компаниями, см. табл. 62. С учетом региональных особенностей рынка США длина кабеля сборки может задаваться как метрах, так и в футах, причем оба подхода используются на практике примерно одинаковой популярностью. Компания Red Hawk/CDT допускает заказ сборки с указанием длины ее кабеля в футах или в метрах в зависимости от внутрифирменных стандартов конкретного потребителя.

Претерминированная сборка модульно-кассетного решения представляет собой отдельное функционально законченное изделие и на основании этого имеет самостоятельное практическое значение. Для более эффективного



Рис. 142. Сборка с несколькими групповыми разъемами



Рис. 143. Панель tina DM-2MPO (система Instapatch)

использования этой возможности в состав штатной элементной базы может быть введена панель с проходными розетками, см. рис. 143. По посадочным местам панель взаимозаменяема с кассетой и предназначена преимущественно для реализации транзитных соединений между магистраль-

Таблица 62. Технические характеристики модульно-кассетных решений некоторых производителей

Фирма-производитель	Торговая марка	Тип волокна	Тип разъема		Габариты модуля, мм
			групповой	пользовательский	
CommScope, США	Instapatch	50/125	MPO	LC, SC, ST	29 × 130 × 128
Corning, США	Plug & Play	50/125, 62,5/125, 9/125	MTP	MT-RJ, SC, ST, LC, FC	—
Fiber Connections, США	EasyLAN	50/125, 50/125 OM3, 62,5/125, 9/125	MTP	MT-RJ, SC, LC	30 × 139 × 114
Molex, США	ModLink	62,5/125	MTP	SC, ST	—
Opticonx, США	3PLink	50/125, 62,5/125, 9/125	MTP	MT-RJ, SC, ST, LC	—
Ortronics, США	Momentum	50/125, 62,5/125, 9/125	MPO	LC, SC, MT-RJ	28 × 130 × 110
Panduit, США	Opticom	62,5/125, 9/125	MPO	SC, ST, FJ	—
Red Hawk, США	Platinum	50/125, 62,5/125, 9/125	MPO	MT-RJ, SC, ST, LC, FC, MU	—
Superior Modular Products, США	Plug-N-Play	50/125, 62,5/125, 9/125	MTP	MT-RJ, SC, ST, LC	—
Tyco Electronics (AMP), США	SANs and Data Center System	50/125, 62,5/125	MPO	MT-RJ, SC, ST	—

ными линиями по обычной в технике СКС схеме кросс-коннекта. Не исключена возможность применения также схемы interconnect. Необходимым условием для этого является наличие в составе штатной элементной базы разветвительного оконечного шнура.

Естественным слабым местом сборки с точки зрения ее эксплуатационной надежности является область ввода ОК в вилку группового ОР. В случае механического повреждения кабеля в этом месте сборка может быть отремонтирована непосредственно на объекте монтажа. Для этого компанией Corning предлагается вилка разъема MTP иммерсионного типа с механизмом UniCam. Нормативное время установки изделия на ленточный кабель не превышает 5 мин.

8.3.4. Области и особенности применения

Анализ основных характеристик и функциональных возможностей техники модульно-кассетных решений показывает, что наибольшие преимущества данный комплекс технических средств обеспечивает в тех областях, где на одном направлении должно быть реализовано несколько параллельных трактов передачи информации. Такой случай является типичным на уровне магистральной проводки СКС классического типа с топологией многоуровневой звезды. Данная особенность в некоторых случаях даже подчеркивается терминологически. Так, в технической документации системы Momentum компании Ortronics претерминированная сборка обозначается магистральным кабелем (backbone cable). При этом с учетом относительно невысокой механической прочности пластмассовых корпусов розеток групповых ОР более предпочтительным видится применение рассматриваемой техники на уровне подсистемы внутренних магистралей, ОК которой имеют существенно меньшую жесткость и погонную массу.

Хорошие потребительские качества и ряд уникальных технических достоинств модульно-кассетных решений позволяют существенно расширить область их применения за пределы классических магистральных линий СКС офисного типа. Компания AMP ориентирует свой продукт SANs and Data Center System на создание кабельной проводки в центрах обработки данных и поддержку функционирования сетей массовой памяти, что непосредственно следует даже из его торговой марки. С прицелом именно на эту область компанией был предложен вариант разъема MPO, рассчитанный на одновременное оконцевание 72 волокон ленточного ОК. Центры обработки данных и аналогичные им объекты рассматриваются в качестве одной из целевых областей применения также в системах Momentum компании Ortronics и Plug & Play Systems компании Corning.

На уровне горизонтальной подсистемы решения модульно-кассетного типа по комплексу своих технико-экономических параметров оказываются до-

статочны перспективными в тех ситуациях, когда проводка реализуется с использованием многопользовательских ИР и точек консолидации.

Кроме создания стационарных линий классической СКС, с помощью элементной базы модульно-кассетного типа может быть эффективно решен ряд задач, в которых одним из ключевых параметров является высокая скорость развертывания линий. Наиболее часто в данном качестве они привлекаются для создания временных связей и формирования обходных трактов передачи при ликвидации последствий аварий. Определенные перспективы в этой связи видятся также в открытых офисах, для которых характерно относительно частое изменение конфигурации линейной части проводки. В данной области используется преимущественно то, что ОК сборки из-за его высокой гибкости в случае выбора соответствующего конструктивного исполнения может быть использован для прокладки по каналам несколько раз без ухудшения его передаточных и эксплуатационных параметров. Иногда информация, необходимая для реализации данной возможности, в явном виде приводится в технических характеристиках изделия. Так, ОК системы ModLink компании Molex при максимально допустимом усилии тяжения 331 Н имеют гарантированную стойкость к изгибам на уровне 300 циклов.

В некоторых ситуациях решения модульно-кассетного типа могут быть использованы как средство активизации продвижения перспективных типов ОР и ОВ. В рамках реализации такого подхода в продукте InstaPATCH из состава СКС Systimax компании Commscope применяются сборки, кабели которых армированы вилками групповых разъемов типа MPO и содержат только широкополосные многомодовые световоды типа LazrSPEED. Это гарантированно обеспечивает поддержку передачи информационных потоков со скоростями до 10 Гбит/с на расстояние вплоть до 300 м. Компания NORDX/CDT в рамках своего решения FiberExpress Manager предлагает модули с ключевым вариантом исполнения разъемов LC пользовательской стороны. Компания Superior Modular Products использует в модулях своей системы Plug-N-Play счетверенные розетки LC, позволяющие увеличить плотность портов коммутационного поля.

Для более успешного продвижения на рынке всему комплексу технических средств модульно-кассетного типа в соответствии с традицией, сформировавшейся в отрасли к концу 90-х гг. прошлого века, во всех известных случаях присваивается собственная торговая марка. При выборе наименования часто подчеркиваются две характерные черты продуктов данной группы: высокая скорость создания линии и минимальный объем монтажных работ. В качестве примеров практической реализации этого подхода сошлемся на такие продукты, как Plug & Play фирмы Corning, FiberExpress компании NORDX/CDT, Momentum компании Ortronics, ModLink фирмы Molex и т. д., см. табл. 62.

Общим недостатком способа организации стационарной линии кабельной проводки СКС с помощью претерминированных изделий являются повышен-

ные требования к тщательности выполнения проекта в части точности определения протяженности трассы прокладки. В тех ситуациях, когда у производителя работ или проектировщика имеются сомнения в точности измерения этого параметра, целесообразно использовать претерминированные изделия с односторонним оконцеванием и ОК увеличенной длины. Для решения модульно-кассетного типа в этой ситуации в качестве средства страховки от проектных ошибок и форс-мажорных обстоятельств можно рекомендовать только введение дополнительных запасов по длине линейного кабеля.

8.4. Оборудование и элементы для восстановления защитных покрытий кабелей и оптических волокон

Как уже отмечалось в разделе 3.4, кварцевое стекло, из которого изготавливается ОВ, является достаточно хрупким материалом и чрезвычайно чувствительно к воздействию влаги. Для защиты от этих воздействий собственно волокно и сам кабель снабжаются рядом защитных оболочек. Любые монтажные работы на ОК сопряжены с необходимостью удаления этих покрытий. Поэтому после их завершения возникает необходимость в восстановлении удаляемого участка защитных покрытий. Для выполнения этих операций применяются специализированные технические средства, см. табл. 63.

Таблица 63. Элементы для восстановления защитных покрытий волокон и оболочек кабелей

Тип защитного покрытия и оболочки	Элемент для восстановления целостности
Поясная изоляция	Оптическая муфта
Вторичное защитное покрытие	Фуркационная трубка
Первичное защитное покрытие	Элементы защиты сварного сростка

8.4.1. Промежуточные муфты для подсистемы внешних магистралей

Промежуточная муфта представляет собой устройство для прямого соединения и ветвления двух или более отдельных строительных длин ОК. Необходимость сращивания возникает по следующим причинам:

- существуют технологические ограничения на строительную длину ОК внешней прокладки, которая составляет обычно от 1 до 4 км. Поэтому линейная часть подсистемы внешних магистралей большой протяжен-

ности собирается из нескольких отрезков кабеля, которые соединяются в промежуточных муфтах;

- согласно правилам пожарной безопасности внутри здания длина открытого незащищенного участка кабеля внешней прокладки не должна превышать 15 м. Точка перехода на пожаростойкий кабель внутренней прокладки выполняется на основе проходной муфты;
- при тяжелых условиях прокладки (наличие многочисленных поворотов, плохое состояние каналов канализации, их большая загрузка и т. д.) при длине трассы свыше 1000–1200 м экономически и технически более целесообразным может оказаться использование нескольких строительных длин вместо одной, соединяемых в промежуточной муфте (см. раздел 13.7);
- в некоторых достаточно часто встречающихся на практике ситуациях (см. параграф 13.10) при создании протяженных внешних магистралей экономически выгодным является применение схемы ветвления одного многоволоконного ОК на два или более кабеля меньшей емкости; технически данная операция реализуется с помощью разветвительной промежуточной муфты;
- при повреждении или обрыве ОК внешней прокладки возникает необходимость в защите места его сращивания при ремонте.

Промежуточная муфта, предназначенная для использования в составе линейной части подсистемы внешних магистралей, выполняется в виде герметичного корпуса, который содержит кабельные вводы, средства восстановления оболочек поясной изоляции ОК и кассеты для установки в них механических сплайсов или гильз сварных сростков, а также хранения технологического запаса ОВ. При построении подсистемы внешних магистралей СКС из соображения достижения высокой технико-экономической эффективности не применяются специализированные конструкции, а используются изделия, разработанные для сетей связи общего пользования. Такие муфты в наиболее защищенном варианте с учетом области их эксплуатации могут работать в достаточно жестких условиях, в том числе:

- в коллекторах и колодцах кабельной канализации;
- непосредственно зарытыми в грунт;
- в болотах;
- на дне водоемов при глубинах до 10 м;
- на опорах воздушных линий связи.

Уровень защиты от факторов воздействия окружающей среды облегченных муфт младших моделей может быть увеличен за счет помещения в металлический защитный кожух и заливки оставшихся пустот герметиком.

Конструкции оптических муфт, как правило, унифицированы, что позволяет в зависимости от конкретной ситуации использовать изделие в проходном или разветвительном варианте.

Таблица 64. Основные параметры некоторых типов муфт для волоконно-оптических кабелей внешней прокладки [213]

Тип муфты	Производитель	Вид муфты	Кол-во вводов	Габариты, мм	Масса, кг	Температура эксплуатации, °С
МТОК-96-01-IV	Связьстройдеталь, Россия	Туликовая	3	Ø159 × 519	2,90	–60...+70
ММЗ	Лентелефонстрой, Россия	Туликовая	2	480 × 240 × 130	6,0	±50
UCS04-6	Межгорсвязьстрой + RXS, Россия – Германия	Туликовая	4	310 × 136 × 110	2,0	–60...+50
FOSC-110	Raychem	Туликовая	5	Ø140 × 520	3,5	–40...+60
R30201	Reichle & De-Massari, Швейцария	Туликовая	3	Ø140 × 300	–	–40...+60
2500 LG/DC	Avaya, США	Туликовая	2	Ø180 × 440	2,3	–50...+60
2178-S	ЗМ, США	Проходная	4	557 × 215 × 119	5,0	–50...+60
TRP	AMP, США	Проходная	4	114 × 223 × 450	–	–60...+50
FSCO-SB	Fujikura, Япония	Проходная	4	340 × 145 × 125	–	–40...+60

Основой промежуточной муфты является корпус в форме цилиндра или параллелепипеда со скругленными кромками. Во втором случае на внешней поверхности корпуса иногда выполняются ребра жесткости, увеличивающие его механическую прочность. Значительно реже корпус выполняется в форме диска. Внутри корпуса размещается лоток с одной или несколькими кассетами для укладки защитных элементов оптических сростков и технологического запаса ОВ. Кроме того, обязательными компонентами конструкции муфты являются технические средства герметизации внутреннего объема, а также обеспечения непрерывности броневых и упрочняющих элементов кабеля.

Согласно отечественным Нормам РД 45.120-2000 [214], пункт 12.1.12 муфты для соединения отдельных строительных длин по возможности должны быть сборно-разборных конструкций, обеспечивать многократное вскрытие и последующую герметизацию без утраты характеристик. Конструкция изделия должна гарантировать герметичность внутреннего объема. Иногда к муфте выдвигается дополнительное требование об эстетичном внешнем виде ее корпуса [215].

Герметизация стыков деталей муфты, устанавливаемой на кабеле внешней прокладки вне пределов здания, является обязательной. Эта процедура осуществляется горячим или холодным способом. Горячий способ основан на применении заливочной массы, термоусаживаемых трубок, прокладок и манжет, а также специальных мастик и герметизирующих лент. Конструкции с холодной герметизацией за счет применения высококачественных прокладок и манжет, а также специальной формы нажимных поверхностей позволяют добиться требуемого уровня герметичности чисто механическими способами при условии дополнительной затяжки болтами, хомутами или фиксации специальными защелками. Это существенно ускоряет и упрощает процесс работы с муфтой, особенно при необходимости ее многократной сборки и разборки. Известны также изделия, герметизация которых основана на сочетании холодного и горячего процессов.

Герметичность внутреннего объема некоторых типов муфт фирмы Raychem дополнительно гарантируется его заливкой специальной нейтральной нетекучей желеобразной массой.

В конструкцию муфты может быть введен пневмоклапан. Его наличие позволяет простыми средствами проверять герметичность собранного изделия в полевых условиях. Для выполнения этой операции достаточно насосом закачать в корпус воздух и погрузить его в воду. Муфта считается герметичной, если в течение 15 мин не наблюдается выходящих пузырьков воздуха.

В зависимости от расположения кабельных вводов различают прямую (вводы с разных сторон корпуса) и тупиковую или стаканчиковую (вводы с одной стороны корпуса) муфты. Прямая муфта, используемая для сращивания концов ранее проложенной строительной длины при ее повреждении, носит специальное наименование дополнительной. По количеству вводов муфты



Рис. 144. Проходная прямая промежуточная муфта

делят на проходные (два ввода) и разветвительные (три или более ввода), см. рис. 144. Из-за особенностей расположения прямых и тупиковых муфт относительно сращиваемых кабелей некоторые западные производители называют их горизонтальными и вертикальными соответственно.

При построении СКС необходимость в сращивании отдельных строительных длин кабелей возникает крайне редко из-за относительно небольшой протяженности кабельных трасс. Поэтому в состав официального каталога своей СКС промежуточные муфты включают только некоторые производители, например CommScope и HellermannTyton.

8.4.2. Элементы восстановления вторичного защитного покрытия

При разделке ОК внешней прокладки в промежуточных муфтах и оконечных коммутационных устройствах в процессе установки вилок ОР и сращивания отдельных ОВ возникает задача восстановления вторичного защитного покрытия. Считается, что это является необходимым условием достижения уровня эксплуатационной надежности, требуемого для нормальной работы кабельной системы. На практике данная задача решается за счет того, что каждый световод в первичном покрытии помещается в так называемую фуркационную трубку (Furcation tubing), которая представляет собой тонкостенный кембрик с внешним диаметром 0,9 мм¹. Материал трубки и ее физико-химические свойства подбираются таким образом, чтобы не оказывать влияния на технологию установки вилок ОР, ориентированную на ОК внутренней прокладки.

В процессе создания элементной базы рассматриваемой разновидности разработчик решает ряд задач. Наряду с подбором материала трубки и обеспечением совместимости с существующей технологией установки вилок ОР и сращивания отдельных волокон осуществляется выбор технических средств крепления защитной трубки к трубке модуля ОК внешней прокладки. На практике известны два способа решения этой проблемы. Компания Mohawk выпускает так называемый Field Breakout Kit. Это устройство представляет собой металлическую трубку с концевой заглушкой на одном из концов, содержащей шесть (M90272) или двенадцать (M90273) кембриков внешним диаметром 0,9 мм. Трубка устанавливается на модуль ОК внешней прокладки с помощью обжимного инструмента, а отдельные ОВ при этом вводятся в кембрики. Функционально аналогичные

¹ Крайне ограниченное распространение получили фуркационные трубки с внешним диаметром 2—3 мм, предназначенные для укладки в них ОВ во вторичном защитном покрытии. Их применение позволяет реализовать полноценный отвод небольшой длины от распределительного кабеля (изделие класса distribution).

комплекты серии 91.B0610—91.B0640 компании Molex состоят из основания, крышки и терминирующего элемента (terminal assembly) и рассчитаны на 4, 6, 8 и 12 волокон. Они выгодно отличаются от устройств фирмы Mohawk возможностью фиксации корпуса на трубке модуля без использования кримпирующего инструмента, однако уступают им по массогабаритным показателям.

Необходимость восстановления вторичного защитного покрытия отдельных ОВ возникает также при работе с ленточными ОК. Данная операция может быть выполнена с помощью так называемого Ribbon Fanout Kit компании Corning, см. рис. 145. Это устройство конструктивно очень похоже на изделия серии 91.BXX и отличается от них только формой вводного отверстия линейного кабеля, согласованного с лентой волокон.

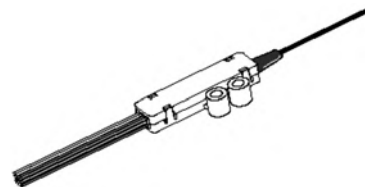


Рис. 145. Изделие Ribbon Fanout Kit фирмы Corning

На корпусах изделий Ribbon Fanout Kit предусмотрены крепежные кольца, наличие которых позволяет выполнить их фиксацию на штатном рабочем месте на защелке, с помощью крепежного винта или других аналогичных средств.

Задача обеспечения цветовой идентификации отдельных ОВ в процессе восстановления защитных покрытий решается выполнением трубки из прозрачного полимера или использованием для изготовления трубок пластмассы стандартной цветовой гаммы в соответствии, например, с табл. 40.

8.4.3. Элементы защиты сварного сростка

Применение технологии сварки позволяет получить наилучшие параметры сростка по критериям вносимых потерь и уровня обратных отражений. Реализация этой технологии принципиально требует удаления всех защитных покрытий с соединяемых волокон на достаточно большой длине и последующего восстановления после завершения процесса сварки первичного защитного покрытия. Данная операция может быть реализована в полевых условиях различными способами. Наиболее качественно она осуществляется с помощью специального устройства (rescoater). Этот прибор обеспечивает высокую скорость работы (полный технологический цикл составляет примерно 30 с), а восстановленное с его помощью покрытие не отличается по диаметру от исходного. Однако его высокая стоимость и неудовлетворительные массогабаритные показатели (устройство типа FUR-S541 фирмы Furukawa Electric при массе 7 кг имеет габариты 256 × 170 × 182 мм) приводят к тому, что он не получил какого-либо широкого распространения на практике. Функции восстановления первичного защитного покрытия выполняют элементы защиты сварного сростка, которые дополнительно предохраняют сросток от изгибающих воздействий. В зависимости от конструктивного исполнения они делятся на термоусаживаемые и механические.

Элементы термоусадочного типа часто называются гильзами КДЗС (комплект деталей защиты сростка; другие варианты названия звучат как комплект для защиты сварки и комплект деталей защиты сварного сростка), или просто защитными гильзами (protection sleeve или heat-shrink sleeve). Данное изделие состоит из трех частей. Функции корпуса выполняет изготовленная из полиолефина термоусаживаемая трубка определенной длины (наибольшей популярностью в нашей стране пользуются КДЗС длиной 60 мм, гильзы длиной 40 мм и особенно 20 мм распространены существенно меньше). Обычно эта трубка выполняется бесцветной, возможна поставка на заказ цветных защитных гильз. Внутри внешней гильзы расположена трубка из сополимерного термопластичного материала с высокой текучестью (сэвилен) и упрочняющий стержень со скругленными концами диаметром около 1 мм (рис. 146а). Внутренний диаметр этой трубки подобран таким образом, чтобы ее можно было использовать с ОВ в защитном покрытии с номинальным диаметром вплоть до 900 мкм. Длина стержня подбирается таким образом, чтобы после усадки внешней трубки его концы заходили на защитное покрытие соединяемых ОВ по меньшей мере на 10 мм [216]. Для изготовления стержня применяется преимущественно полированная нержавеющая сталь, керамика и стекло распространены существенно меньше.



Рис. 146. Элементы защиты сварного сростка: а) термоусадочного типа; б) механический

Наряду с одиночными ОВ термоусаживающиеся защитные гильзы широко используются в процессе работы с ленточными ОК. В этом случае их внутренняя структура принципиально не меняется, однако в определенных пределах адаптируется к особенностям конструкции ленточного волокна, см. рис. 147.

Первые образцы термоусаживающихся защитных гильз, которые использовались в процессе сварки ОВ еще в начале 80-х гг. прошлого века, не имели упрочняющего элемента. По мере накопления опыта было принято решение о его введении. Это было обусловлено тем фактом, что в процессе сварки за счет резкого увеличения температуры в момент сплавления (эффект термического удара) прочность ОВ снижается примерно на 20—30% [217], что со-



Рис. 147. Поперечное сечение элементов защиты сварного сростка термоусадочного типа:
а) для ленточного волокна; б) для одиночного волокна

проводжадается существенным увеличением вероятности облома волокна при его изгибе.

Перед началом процесса формирования сростка гильзу КДЗС надевают на конец одного из соединяемых ОВ. После сваривания ее надвигают на место стыка и помещают в печку сварочного аппарата, где нагревают до температуры несколько выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ на протяжении 1–1,5 мин. Под действием высокой температуры сэвilen расплавляется, заливает место стыка волокон и плотно сцепляется со стеклом и буферными покрытиями. Усадка внешней трубки начинается с небольшим запаздыванием относительно расправления сэвилена, для чего температуру усаживания внешней трубки выбирают, например, в $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температуру плавления внутренней трубки — $100\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. После усадки внешней трубки она плотно прижимает упрочняющий стержень к сращенным ОВ, надежно защищая область соединения от изгибающих воздействий. Внешний диаметр гильзы, обработанной в печке, составляет примерно 2,5–3,0 мм. Для оптимизации процессов разогрева некоторые типы сварочных аппаратов позволяют выбрать одну из нескольких возможных программ управления работой печки. После выполнения усадки гильзу укладывают в организатор сплайсов коммутационно-разделочного устройства.

Механические элементы защиты стыка (Mechanical Fusion Splice Cover) представляют собой полимерный или металлический корпус V-образной формы из двух алюминиевых пластинок, соединенных друг с другом с одной стороны тонкими перемычками, см. рис. 146б. На внутренней поверхности пластинок наклеены полоски из бутилсодержащего материала, сохраняющего эластичность в течение длительного времени¹. Корпус надвигается на место

¹ Из-за этой особенности конструкции данное изделие в некоторых публикациях называют элементом типа сэндвич.

сварки или место сростка, ОВ вводится в корпус, после чего пластинки сдвигаются вместе и фиксируются в этом положении замком или защелкой. Данное решение пользуется достаточно большой популярностью главным образом в европейских странах. Рассматриваемый элемент, как это следует из его конструкции, превосходит защитную гильзу термоусадочного типа в первую очередь по скорости установки¹, массогабаритным и ценовым показателям. При работе в полевых условиях применение механического элемента позволяет существенно уменьшить расход энергии аккумуляторной батареи на выполнение одной сварки. Его основным недостатком может считаться меньший уровень защиты от воздействий окружающей среды.

8.5. Компоненты для организации кабельных изделий оптической подсистемы СКС

8.5.1. Организаторы шнуров

Под полкой или перед ней обычно устанавливается горизонтальный организатор. В этот элемент, имеющий чаще всего форму разрезных колец или поддона, укладывается запас длины коммутационных шнуров. Организатор в форме разрезных колец несколько неудобен в процессе работы с оптическими шнурами, которые являются более требовательными в отношении соблюдения допустимого радиуса изгиба по сравнению с электрическими. Для устранения этого недостатка компания Brand Rex использовала в своих изделиях откидные полукольца, которые закрываются после укладки кабеля шнура.

Некоторые типы полок имеют организатор, который является составной частью их конструкции. Данный элемент размещается перед лицевой панелью корпуса с розетками ОР или же даже в его боковой части. Недостатком последнего решения является уменьшение внутреннего объема полки и необходимость обеспечения свободного доступа к ней сверху для укладки кабелей шнуров.

8.5.2. Системы кабельных каналов для прокладки волоконно-оптических кабелей и шнуров

Специальные кабельные каналы (короба) для прокладки ОК появились только в конце 90-х гг. прошлого столетия в связи с быстрым ростом объемов применения волоконно-оптической техники в составе СКС. Основным назначением этих изделий является поддержка создания локальной разводки в тех-

¹ Нормативное время установки элемента типа CSP-1 компании Corning составляет 5 с.

нических помещениях. Изделия данной разновидности эксплуатируются преимущественно в подвесном исполнении и используются для организации спусков к коммутационным панелям и активному сетевому оборудованию, смонтированному в открытых стойках. В эти короба укладываются соединительные и коммутационные шнуры, а также кабели типа riser для вертикальной прокладки. В некоторых случаях изготовитель запрещает использовать эти короба для прокладки других видов кабелей, кроме волоконно-оптических.

Основным назначением кабельных каналов рассматриваемой разновидности являются [218]:

- пространственное отделение ОК от кабелей других типов;
- обеспечение минимально допустимого радиуса изгиба;
- ограничение растягивающих и сдавливающих усилий, действующих на кабель;
- упрощение процесса прокладки кабелей и работы с оптическими коммутационными шнурами.

В отличие от традиционных кабельных каналов короба для ОК имеют следующие особенности:

- наличие только прямоугольных поперечных сечений и существенно меньшее количество типоразмеров;
- применение специальных технических средств и конструктивных решений для обеспечения минимально допустимого радиуса изгиба ОК величиной 30 мм;
- наличие развитой номенклатуры вертикальных спусков с соответствующими аксессуарами для укладки в них междустоечных соединительных шнуров;
- использование для изготовления коробов материалов с окраской в яркие цвета (оранжевый или желтый).

Согласно фирменным рекомендациям изготовителей коробов и некоторых производителей СКС окраска коробов должна контрастировать с цветом оболочки укладываемых в них кабелей.

Основными материалами для изготовления коробов являются ПВХ и поликарбонат [219].

Для облегчения процесса сборки и установки коробов в рабочем помещении сращивание отдельных секций, а также установка аксессуаров выполняются с помощью замков. Подвеска коробов к потолочным и другим аналогичным конструкциям осуществляется на предназначенных для этого кронштейнах различной формы и размера.

Номенклатура аксессуаров для коробов рассматриваемого вида в основном повторяет номенклатуру аксессуаров для обычных коробов и включает в себя углы, тройники и основные разновидности адаптеров, а также торцевые

крышки. Для облегчения обхода различных вертикальных стоек (на практике необходимость в этой операции возникает достаточно часто из-за особенностей области использования коробов) применяется так называемый центрирующий адаптер (centering adapter) змеевидной формы. Контроль правильности укладки ОК обеспечивается изготовлением углов и адаптеров из прозрачной пластмассы (Panduit).

ОК по сравнению с кабелями из витых пар являются более критичными к соблюдению минимального радиуса изгиба и величине раздавливающих усилий. Поэтому короба для таких кабелей значительно чаще снабжаются разделительными стенками в поворотах, отводах и других аналогичных аксессуарах.

Короба для прокладки ОК предлагаются как изготовителями оборудования СКС, так и производителями различных аксессуаров для ОК. На рынке они распространяются в виде комплексного решения (собственно короб, аксессуары, крепежные элементы и инструмент для монтажа) под собственными торговыми марками (Lightway фирмы Siemon, Panduct компании Panduit, Lightguide fiber optic protection system фирмы Hellermann Tyton, LISA Ducting System компании Huber+ Suhner и т. д.).

8.6. Выводы

Применение в составе СКС дополнительного оборудования дает возможность более эффективно по различным критериям по сравнению со стандартными техническими средствами решать определенные нишевые задачи и целые классы таких задач, возникающие в процессе построения, эксплуатации и расширения структурированной кабельной проводки.

Дополнительное оборудование внедряется в конкретный проект реализации СКС как элемент, расширяющий функциональные возможности штатных технических средств, или в виде отдельного комплекса. Часто для этого используется метод наложения на классическую структуру кабельной проводки. При этом оно не нарушает принципов ее организации и позволяет в случае необходимости эксплуатировать и совершенствовать СКС традиционными методами и способами.

Разработка комплексов технических средств для решения нишевых задач построения и эксплуатации СКС и ее волоконно-оптической подсистемы является самостоятельным техническим направлением и выполняется как производителями кабельных систем, так и конструкторскими отделами производителей элементной базы с учетом возможностей их использования в составе СКС. В тех ситуациях, когда новая разработка является нецелесообразной по экономическим причинам, заимствуется оборудование, применяемое на сетях связи общего пользования.

Дополнительное оборудование образует функционально законченные комплексы, которые органически вписываются в структуру основного продукта и могут быть использованы в его составе на общем основании. Для увеличения эффективности продвижения этим комплексам, как правило, присваивается собственная торговая марка. Кроме того, широко разработчик часто стимулирует продвижение своего продукта за счет его включения в состав СКС других производителей на основе лицензионных соглашений и OEM-контрактов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ СВЕТОВОДОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ СКС

Возрастание уровня автоматизации различных областей деятельности человека, появление новых информационных сервисов и модернизация традиционных оказывает мощное стимулирующее воздействие на рост объемов передачи информации самого разнообразного назначения. В данной ситуации существует объективная необходимость в поиске и внедрении в широкую инженерную практику новых технических средств, позволяющих добиться более эффективного решения различных проблем построения сетей и распределения информационных потоков. Одним из таких средств являются системы передачи информационных сигналов, линейный тракт которых построен на основе полимерных ОВ (ПОВ).

Исследования, цель которых заключалась в создании ПОВ, пригодных по комплексу своих характеристик для использования в составе систем оптической связи, начали активно проводиться с конца 80-х гг. прошлого столетия в лабораториях нескольких ведущих телекоммуникационных компаний. В качестве основы были использованы результаты более ранних работ, выполненных в первую очередь в лабораториях химического концерна DuPont. Наибольшего прогресса в этом направлении на сегодняшний день добились японские фирмы Mitsubishi Rayon, Toray Industries и Asahi Glass, разработки в области материалов и технологических процессов которых широко используются промышленностью в процессе серийного выпуска продукции.

Появление нового типа среды передачи, позволяющей достаточно эффективно передавать большие объемы информации, явилось объективной предпосылкой внедрения техники ПОВ в широкую инженерную практику. Для этого был разработан комплекс технических средств, необходимых для создания полноценной линии связи: ОК различного назначения, несколько видов разъемов и технологий их установки, активного оборудования различных сетевых стандартов и тестирующих приборов.

9.1. Общие положения

9.1.1. Оптические и эксплуатационные характеристики полимерных световодов

Полимерный световод (в англоязычной технической литературе часто употребляется сокращение POF — Plastic Optical Fiber или Polymer Optical Fiber) по своей структуре аналогичен кварцевому ОВ и конструктивно представляет собой классический диэлектрический волновод с круглым поперечным сечением, который работает в оптическом диапазоне длин волн. Изделие в обязательном порядке содержит сердцевину из оптически прозрачного материала, которая для создания условий полного внутреннего отражения окружена оболочкой из материала с меньшим показателем преломления. В настоящее время нормативными документами японского института по стандартизации JIS в целях унификации рекомендовано применение ступенчатых ПОВ со следующими номинальными значениями диаметров сердцевины и оболочки: 980/1000, 735/750 и 485/500. Аналогичная классификация с точностью до обозначений принята на международном уровне и используется МЭК. Согласно стандарту IEC 60793-2-40 [220] эти ОВ носят наименование волокон классов A4a—A4c соответственно. Дополняющее этот ряд волокно типа A4d имеет номинальный размер 980/1000 и отличается от волокна A4a только уменьшенной числовой апертурой для улучшения частотных свойств. Кроме указанных, на практике изредка встречаются также ПОВ других типоразмеров.

Технология производства ПОВ по своей схеме не отличается от технологии изготовления кварцевых ОВ и в большинстве случаев реализуется в два этапа. На первом из них различными способами производится формирование стержневой заготовки. Следующим шагом является вытяжка из нее волокна, осуществляемая в вертикальном направлении в башне. Непосредственно после формирования ПОВ в рамках единого технологического цикла на него наносится защитное покрытие, в качестве которого наиболее часто используются такие традиционные для кабельной техники материалы, как ПЭ и ПВХ. В случае необходимости функции покрытия могут выполнять также безгалогенные малодымные составы. Достигнутый технический уровень позволяет в промышленных масштабах осуществлять серийный выпуск полимерных световодов длиной до 500 м.

В качестве материала сердцевины может быть использован ряд полимеров с хорошей прозрачностью, наиболее перспективными с точки зрения получения низкого уровня потерь среди которых являются полистирол, поликарбонат и полиметилметакрилат (РММА) [221]. Наилучшими характеристиками по этому критерию обладает полистирол, однако высокая хрупкость этого материала серьезно ограничивает возможности его использования для изготов-

ления ПОВ, предназначенных для ОК. Поликарбонат имеет повышенное затухание, однако сохраняет свои оптические и механические свойства при температурах вплоть до 130—140 °С. За счет этого изготовленные из него световоды обеспечивают максимальную эффективность в тех областях, где требуются линии длиной не более нескольких метров, работающие при повышенных температурах. Характерным примером такой области являются компьютерные системы управления двигателями и прочим бортовым оборудованием легковых автомобилей в основном представительского класса. Полиметилметакрилат за счет своей хорошей пластичности и умеренных значений коэффициента затухания на рабочих длинах волн является наиболее подходящим материалом для кабелей, эксплуатируемых в линейной части ИВС офисного и промышленного назначения.

В процессе серийного производства для изготовления ПОВ используется преимущественно полиметилметакрилат с типовым значением показателя преломления $n = 1,49$. Из-за большого диаметра сердцевины защитное покрытие волокна практически не оказывает влияния на параметры световода как направляющей системы электромагнитных колебаний. Поэтому толщина оболочки может быть уменьшена по сравнению с кварцевыми ОВ как абсолютно, так и относительно и выбирается равной 7—10 мкм. В качестве материала оболочки используются различные фторированные полимеры с $n = 1,42—1,46$. Минимальная рабочая температура серийных ПОВ, изготовленных из полиметилметакрилата, составляет –20 °С, максимальное значение этого параметра достигает 70—85 °С. На время не свыше 1 мин температура может повышаться даже до 100 °С без ущерба для оптических и механических характеристик изделия. Таким образом, температурный диапазон, обеспечиваемый данным материалом, вполне достаточен для областей массового использования офисной и отчасти промышленной сферы.

Аналогично кварцевым ОВ первого поколения на спектральной характеристике затухания полимерного световода за счет наличия пиков поглощения резонансного характера на связях СН можно выделить окна прозрачности, в которых его погонное затухание достигает локального минимума, см. табл. 65. По аналогии с кварцевыми ОВ окнам прозрачности видимого диапазона длин волн иногда присваиваются номера с первого по третий. Современная сетевая аппаратура массового применения использует для работы исключительно окно 650 нм. В этом случае в передатчиках устанавливаются хорошо отработанные в серийном производстве светодиодные излучатели, которые в массовом масштабе применяются в бытовых DVD-проигрывателях. Такой подход дает возможность уменьшить стоимость оптического интерфейса примерно в четыре-пять раз и довести его до значения порядка 10—15 долл. [222]. Освоение перспективных диапазонов 520 и 570 нм пока сдерживается отсутствием дешевых быстродействующих источников света с достаточно большой мощностью излучения.

Таблица 65. Центральные длины волн окон прозрачности полимерных волоконных световодов на основе РММА

Длина волны, нм	520	570	650	780
Номер окна прозрачности	1	2	3	–
Цвет оптической несущей	Зеленый	Желтый	Красный	ИК
Погонное затухание, дБ/км	100	70	150	600

Еще одной особенностью ПОВ, которая оказывает непосредственное влияние на выбор схемных решений оптоэлектронных трансиверов и которая отсутствует у кварцевых ОВ, является относительно небольшая ширина третьего окна прозрачности 650 нм. Кроме того, она соизмерима с шириной спектра излучения СД. Вызванная этим большая крутизна спектральной характеристики коэффициента затухания (примерно 7 дБ/(км · нм)) выдвигает особые требования по температурной стабильности спектральной характеристики излучения светодиодных оптических передатчиков сетевой аппаратуры.

Отметим, что существуют также некоторые типы полимерных материалов, которые за счет смещения явления поглощения в длинноволновую часть спектра достаточно эффективно работают в спектральном диапазоне 800–1300 нм, то есть на длинах волн, традиционно используемых в технике связи по кварцевым световодам. Основным преимуществом их применения является возможность получения меньших потерь и наличие хорошо отработанной оптоэлектронной элементной базы [223].

9.1.2. Разновидности полимерных световодов

Из полимера могут быть изготовлены как многомодовые, так и одномодовые ПОВ. Одномодовые волокна появились исторически первыми, однако для широкой инженерной практики сейчас интереса не представляют. Это обусловлено тем, что они заметно уступают своим кварцевым аналогам по такому критически важному параметру, как величина вносимых потерь. Кроме того, в случае перехода на одномодовую технику теряется основное достоинство полимерных конструкций, которое связано с большим диаметром сердцевины и простотой изготовления ОР.

Различают следующие основные разновидности многомодовых ПОВ:

- обычные или высокоапертурные (High NA) ступенчатые, называемые в некоторых публикациях стандартными (рис. 148а); эта разновидность световодов имеет числовую апертуру $NA \approx 0,5$ и коэффициент широкополосности обычно не выше 40 МГц × 100 м;
- низкоапертурные (Low NA) ступенчатые с числовой апертурой $NA \approx 0,25–0,3$ и коэффициентом широкополосности порядка 100 МГц × 100 м (рис. 148б);

- градиентные с $NA \approx 0,17–0,3$ и коэффициентом широкополосности вплоть до 200 МГц × км и даже более (рис. 148в).

В случае перехода на параболические профили показателя преломления (так называемые GRIN POF, от Graded refractive Index POF [224]) в сочетании с использованием новых материалов существует потенциальная возможность резкого улучшения характеристик ПОВ. В рамках реализации этого положения компанией Lucent Technologies еще в 1999 г. была продемонстрирована практическая возможность передачи по ОК с полимерными волокнами типа Lucina информационного потока со скоростью 10 Гбит/с на расстояние свыше 100 м. ПОВ, использованный в эксперименте, при диаметре сердцевины 120 мкм имел коэффициент затухания менее 20 дБ/км на рабочей длине волны 1300 нм. Для изготовления его световедущей части применялся фторированный полимер типа CYTOP (Cyclic transparent polymer [225]), разработанный компанией Asahi Glass. Фактором, препятствующим массовому внедрению этой техники в широкую инженерную практику, является ее чрезвычайно высокая стоимость.

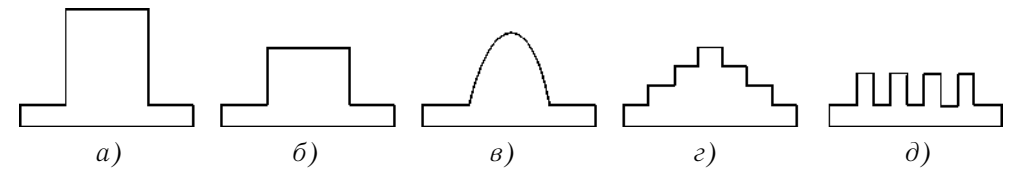


Рис. 148. Профили показателя преломления различных разновидностей полимерных оптических волокон: а) ступенчатое высокоапертурное; б) ступенчатое низкоапертурное; в) градиентное; г) многослойное; д) многоканальное

Известны также опытные образцы многослойных и многоканальных ПОВ. Цель этих разработок заключалась в увеличении коэффициента широкополосности за счет снижения числовой апертуры без уменьшения площади поперечного сечения сердцевины и прямо связанной с ней эффективности ввода излучения. Многослойное ПОВ (рис. 148г), которое имеет ступенчатый профиль лестничного типа, сформированный за счет соответствующего подбора показателей преломления одной или нескольких внутренних и одной внешней оболочки (multi step index – MS POF и, как частный случай двух оболочек, double step index или dual step index, DSI-POF), позволяет получить числовую апертуру $NA \approx 0,3$ и коэффициент широкополосности 100 МГц × 100 м. Волокно данной структуры было разработано в 1999 г. компанией Mitsubishi Rayon и по своей сути представляет изделие переходного типа, объединяющее в себе многие основные черты и свойства ступенчатых и градиентных ОВ. Многоканальное ПОВ (multi core step index – MCSI-POF, см. рис. 148д) вы-

полнено по схеме регулярного оптического жгута с сердечником, который представляет собой монолитную сборку из нескольких круглых двухслойных светопроводящих элементов с диаметром сердцевины порядка 100 мкм. Такая конструкция при аналогичных с предыдущими изделиями параметрах по числовой апертуре и широкополосности позволяет практически на порядок снизить минимально допустимый радиус изгиба волокна и довести его примерно до 3 мм.

Для улучшения частотных свойств ПОВ может быть в принципе использована также технология микроструктурирования, основанная на формировании в сердцевине периодической или иной структуры полых трубок и разработанная изначально для кварцевых световодов. Перспективность применения данной технологии в этой области обусловлена сравнительно невысокой температурой плавления полимера, облегчающей создание полых трубок микронного размера [226].

Дополнительным преимуществом применения ПОВ в качестве среды передачи информации является то, что излучение работающих по ним оптических передатчиков лежит в области видимого спектра. В случае выбора соответствующего дизайна рабочей части ОР это свойство позволяет осуществлять индикацию активности порта без привлечения дополнительных технических средств.

9.2. Элементная база техники связи по полимерным волокнам

9.2.1. Системные решения и коммутационное оборудование

ПОВ достаточно широко используются для передачи информации с начала 90-х гг. прошлого века главным образом на промышленных предприятиях при построении систем автоматизации технологических процессов. Применение этой техники в СКС не противоречит принципам построения структурированной проводки и позволяет увеличить ее функциональные возможности, что дает возможность заметно расширить перечень поддерживаемых сервисов. До последнего времени использование ПОВ в СКС ограничивалось отдельными предложениями по организации коротких соединительных линий между шкафами в пределах одного технического помещения при отсутствии высоких требований в отношении скорости передачи.

Первым шагом в области полноценного внедрения данной разновидности технических средств непосредственно в область СКС стало созданное в 2003 г. решение R&M RCC45² компании Reichle & De-Massari. Предложенный этим производителем комплекс затрагивает кабельную и коммутационную части проводки. Коммутационное оборудование нового продукта реализовано на

основе стандартного для СКС freenet модульного разъема connection modul RJ45, в котором обеспечена полная преемственность с уже существующими решениями и достигнуто свойство электрической и оптической обратной совместимости. Конструктивно розетка модульного разъема отличается от прототипа только тем, что в нижней части ее корпуса выполнено два закрытых съемной крышкой установочных гнезда, которые заканчиваются на лицевой поверхности круглыми отверстиями диаметром около 2 мм, см. рис. 149. В каждое гнездо может быть вставлено проводное изделие, являющееся дополнительным к витым парам горизонтального кабеля.

Для подключения к установочным отверстиям розетки системы RCC45² предназначен ПОВ типа 980/1000, конец которого матодом накрутки армируется центрирующей гильзой. В случае применения полимерных волокон в качестве среды передачи информации на гнездо розетки connection module RJ45 необходимо предварительно надеть переходной адаптер, который образует гнездовую часть ОР типа F07. При этом проводники витой пары могут быть использованы для подачи напряжения дистанционного питания на активное оконечное устройство (преобразователь среды, управляющий контроллер и т. д.). Для этого в верхней части корпуса адаптера предусмотрена гнездовая часть разъема mini-RJ, вилка которого подключается к контактам модульного разъема [227].

Разработчики фирмы Reichle & De-Massari предполагают использовать розетку нового типа в качестве полноценного компонента так называемой расширенной офисной кабельной системы (Extended Office Cabling), реализованной на базе СКС rdm freenet.

9.2.2. Кабельные изделия

В настоящее время промышленность серийно выпускает достаточно большое количество различных конструкций ОК, содержащих ПОВ (рис. 150). Номенклатура этих изделий имеет две характерные особенности, которые вызваны относительно высоким погонным затуханием ПОВ как среды передачи информации. Во-первых, основную долю в объеме производства занимают конструкции, рассчитанные на прокладку внутри здания. Во-вторых, заметно большую популярность по сравнению с классическими ОК, основой которого являются кварцевые ОВ, имеют комбинированные конструкции (рис. 150в).

ОК внутренней прокладки с ПОВ не имеют существенных особенностей по сравнению с их аналогами, содержащими кварцевые ОВ. Этому в немалой степени способствует близость массогабаритных показателей ПОВ и кварцевого световода во вторичном буферном покрытии диаметром 0,9 мм, а также



Рис. 149.
Розеточный модуль системы RCC45²

идентичность допустимых радиусов изгиба (примерно 25–30 мм). В этой ситуации далеко не последнюю роль при выборе конструкции начинает играть такой фактор, как стремление производителей к унификации технологии изготовления.

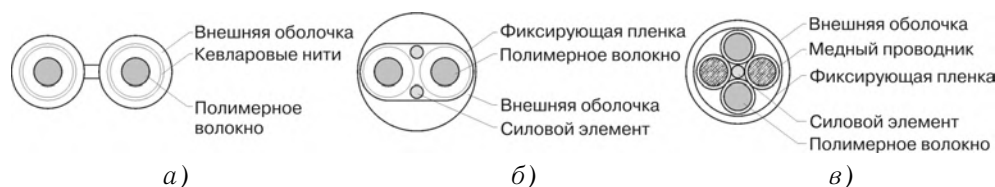


Рис. 150. Примеры конструкций оптических кабелей с полимерными волокнами:

- а) гибкий кабель для шнуров (схема zip-cord);
- б) линейный двухволоконный кабель;
- в) композитная конструкция

Серийные ОК внутренней прокладки обычного исполнения не отличаются большой емкостью и наиболее часто выпускаются в симплексном варианте или в виде zip-cord-конструкции. В случае применения многоволоконных изделий с общей оболочкой для облегчения идентификации может использоваться окраска внешних покрытий отдельных ПОВ в стандартные цвета.

Для упомянутой выше системы RCC45² предназначен кабель, который выполнен по дуплексной комбинированной схеме. Изделие реализовано в виде кабеля-восьмерки, одна из частей которого представляет собой обычный четырехпарный элемент категории 5е или 6, а вторая является тонкостенной трубкой внешним диаметром около 8 мм. Трубка предназначена для прокладки в ней проводов питания, ПОВ и оптических кабелей с кварцевыми ОВ. Для прокладки может быть использована протяжная нить, закладываемая в трубку в процессе ее изготовления, в случае необходимости данная операция может быть осуществлена обычным устройством заготовки каналов офисного назначения.

Более тесная интеграция дополнительных элементов расширенных кабельных систем с существующей конструкцией достигнута в изделиях компании Draka Comteq, в которых ПОВ введены под защитный шланг 4-парного кабеля. За счет этого обеспечена осесимметричная форма изделия, что заметно упрощает процедуру его прокладки по кабельным каналам внутри здания. Визуальное отличие продукта от обычного проявляется только в несколько большем внешнем диаметре.

На вид исполнения сердечника комбинированного ОК заметное влияние может оказать также область его применения. Для иллюстрации этого положения сошлемся на немецкую компанию Leoni, которая выпускает кабели, предназначенные для эксплуатации в условиях промышленного предприятия.

Наряду с двумя ПОВ некоторые варианты этих изделий могут содержать два медных проводника с сечением 1 мм², предназначенных для подачи силового питания на управляющие элементы различных промышленных механизмов.

9.2.3. Оптические разъемы

ОР для ПОВ по принципу своего построения не отличаются от изделий аналогичного функционального назначения для кварцевых ОВ. Потенциально они могут быть реализованы по симметричной и несимметричной схеме, причем в отличие от «кварцевой» ветви волоконной оптики последняя из них получила заметно более широкое распространение в серийной продукции.

В процессе разработки конкретных конструкций ОР, предназначенных для применения в кабельных трактах на основе ПОВ, на практике находят использование три различных подхода.

Первый из этих подходов заключается в том, что в качестве основы конструкции соединителя применяют серийное изделие, хорошо зарекомендовавшее себя в процессе эксплуатации в традиционных линиях ЛВС и сетей связи общего пользования и адаптированное для новой области применения. В рамках реализации данной концепции известны многочисленные предложения серийных симплексных ОР типов ST, F-SMA и FC, то есть изделий с металлическим корпусом, который придает им необходимую механическую прочность и обеспечивает тем самым высокую эксплуатационную надежность. Реже встречаются дуплексные разъемы с пластмассовым корпусом, например SC-RJ. От прототипа данные разработки визуально отличаются только увеличенным диаметром канала центрирующего наконечника. Для изготовления последнего используется преимущественно нержавеющая сталь. Применение этого материала при условии выполнения полировки торцевой поверхности ПОВ заметно удешевляет конструкцию и позволяет уменьшить потери в соединителе до значений даже менее 0,5 дБ.

Во втором случае разработчик пользуется отсутствием высоких требований, предъявляемых к механической точности изготовления отдельных компонентов. С учетом этого обстоятельства для ускорения и удешевления разработки, а также для унификации процедуры интеграции в существующие конструктивы в качестве базового элемента может быть выбран серийный электрический разъем массового применения. В рамках реализации такой концепции известно, например, применение в конструкции разъема отдельных деталей корпуса широко распространенного 9-контактного разъема D-Sub (DB09).

Третьим вариантом является специализированная разработка ОР с новым дизайном, в максимально полной степени учитывающим оптические характеристики ПОВ. Разработки этой группы имеют исключительно пластмассовые корпуса и юстирующие элементы. Здесь известны, например, ОР типов F05,

F06 и F07. Симлексный разъем типа F05 основан на цилиндрическом наконечнике диаметром 2,5 мм, принципе подключения линейным движением (push-pull) и ориентирован на применение в разнообразной видео- и аудиоаппаратуре [228]. Изделие типа F07 нормировано на международном уровне стандартом IEC 61754-16. Кроме того, этот разъем является стандартизованным соединителем для сетевого интерфейса ATM. Еще одним приложением, где на правах стандартного соединителя под наименованием PN используется ОР типа F07 (рис. 151), является интерфейс IEEE 1394b Fire Wire, который

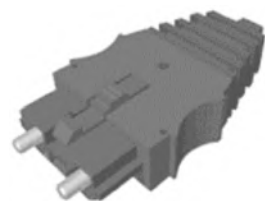


Рис. 151. Вилка дуплексного оптического разъема типа F07

начал быстро набирать популярность в период после 2000 г. Достаточно широкое распространение получил также разработанный фирмой Hewlett-Packard разъем типа Versatile Link.

Компоненты второй и третьей групп могут иметь наряду с симплексным вариантом также дуплексное исполнение, что делает их более удобными в эксплуатации. Кроме того, эти изделия в отличие от ОР первой группы в подавляющем большинстве случаев реализуются по несимметричной схеме.

В области ОР для построения оптических трактов передачи на основе ПОВ начали внедряться оригинальные изделия, в конструкции которых заложены основные идеи современных соединителей для классических кварцевых световодов. В 2004 г. компания Molex объявила о разработке дуплексного разъема SMI (Small Multimedia Interface), розетка которого имеет форм-фактор модульного разъема для кабелей из витых пар, а подключение вилки осуществляется линейным движением по образцу разъема SC (рис. 152). Изделие нормировано на международном уровне стандартом IEC 61754-21.



Рис. 152. Оптический разъем типа SMI

Характерной особенностью техники разъемных соединителей для ПОВ является то, что в перечень требований к ОР не вводится положение об обязательном достижении физического контакта соединяемых световодов. Считается, что дополнительные френелевские потери из-за возможных воздушных зазоров являются пренебрежимо малыми на фоне остальных составляющих. В случае необходимости подавления этой составляющей рекомендуется применение иммерсионных гелей.

Установка ОР может быть выполнена несколькими различными способами, каждый из которых включает в себя две основные операции: фиксацию центрирующего наконечника на ПОВ и обработку торцевой поверхности световода для достижения минимума потерь. Фиксация на практике выполняется исключительно механическими способами. При этом наряду с кримпировани-

ем и фиксацией с помощью зажимов различных видов может использоваться установка наконечника непосредственно на защитное покрытие методом накручивания. Для этого внутренняя поверхность центрирующей гильзы на части длины снабжается самонарезающей резьбой. Очень популярные в области кварцевых ОБ методы установки с использованием различных видов клеев практически не применяются из-за крайне плохой адгезии эпоксидных клеевых составов общего назначения к полимерным материалам.

Большинство способов обработки торцевой поверхности могут рассматриваться как прямые аналогии технологических процессов, которые были разработаны для классических кварцевых ОБ. Первый из них заключается в получении торцевой поверхности необходимого качества чисто механическим методом. Из-за существенно более высокой пластичности полимера по сравнению с кварцевым стеклом облом в скалывателе под действием изгиба или осевого растягивающего усилия невозможен (см. раздел 10.2). Поэтому данная операция заменяется обрезкой, которая может осуществляться обычными бокорезами, перочинным ножом или бритвенным лезвием¹. Наилучшее качество достигается в случае применения профессионального обрезного инструмента, который наряду с чистотой плоскости реза обеспечивает ее перпендикулярность оси волокна. Один из возможных вариантов практической реализации такого инструмента изображен на рис. 153. В тех ситуациях, когда технология установки центрирующего наконечника требует также удаления на части длины защитного покрытия, данная операция совмещается с обрезкой и выполняется за один цикл. Для этого используется ручное технологическое приспособление, конструктивно оформленное в виде клещей. Для дополнительного улучшения качества соединителя в некоторых моделях инструментов находит применение нагрев рабочей поверхности резака. Мощность нагревателя составляет 20–30 Вт, питание осуществляется от сети напряжением 220 В/50 Гц.



Рис. 153. Инструмент для обрезки полимерных волокон

Следующие две технологии реализуют двухшаговые схемы и предполагают соответственно выполнение двух основных операций: фиксацию ПОВ в центрирующем наконечнике и последующую дополнительную обработку его торцевой поверхности для достижения минимального уровня вносимых оптических потерь.

Согласно первому варианту, который не имеет аналогов в технике стеклянных ОБ, разработчик использует тот факт, что температура плавления полимера существенно ниже температуры плавления кварца, а ее достижение не вызывает технических проблем не только в лабораторных или промышленных

¹ Лезвие безопасной бритвы при условии установки его в специальном обрезном инструменте обеспечивает высококачественную обрезку примерно 50 полимерных волокон калибра 980/1000.

условиях, но и непосредственно на объекте монтажа кабельной проводки. При переходе любого материала в жидкое состояние за счет действия сил поверхностного натяжения происходит исчезновение шероховатостей. Для практической реализации этой схемы торцевую часть ПОВ на короткое время прижимают к пластинке, нагретой до температуры примерно 160 °С. Выбор именно такого значения температуры обусловлен тем, что полимер при ней быстро переходит в жидкое состояние, но не вскипает с образованием пузырьков, которые заметно увеличивают потери. В англоязычной технической литературе данную процедуру иногда называют Hot plate termination method. Для дополнительного увеличения качественных показателей разъема концевой участок центрирующего отверстия наконечника может выполняться с V-образным расширением в форме воронки, которая заполняется расплавленным полимером.

Следующий вариант двухшаговой схемы является на сегодняшний день наиболее эффективным по критерию достижения уровня вносимых оптических потерь и наряду с обрезкой предполагает дополнительную обработку торцевой поверхности ПОВ на шлифовальной бумаге с различной зернистостью для уменьшения шероховатости оптически активной части. Эффективность применения процессов шлифовки и полировки обусловлена относительно высокой твердостью полиметилметакрилата. Процедура обработки волокна на объекте монтажа осуществляется с помощью традиционной шлифовальной шайбы. В отличие от аналогичных изделий для кварцевых ОВ шайбы для ПОВ очень часто имеют два отверстия, что заметно увеличивает удобство работы с дуплексными вариантами разъемов. В той ситуации, когда центрирующий наконечник разъема выполнен из пластмассы, на шайбе может быть предусмотрено даже две пары отверстий разной глубины. В данном случае первая пара отверстий используется для шлифовки ПОВ, вторая — с большей глубиной — предназначена для финишной полировки.

Для получения минимальной величины воздушного зазора между торцевыми поверхностями в собранном ОР в процессе реализации любого метода дополнительно обеспечивается перпендикулярность плоскости торцевой поверхности и оси световода. Это достигается с помощью направляющих различных конструкций, вводимых в состав технологических приспособлений.

Сравнение способов обработки по критерию вносимых потерь приведено в табл. 66. Отметим, что в независимости от применяемой технологии процедура установки отдельных компонентов ОР на ПОВ не требует применения прецизионных инструментов. Время выполнения процесса оконцевания согласно технологическим нормам различных производителей составляет не более 2–3 мин.

Операции по армированию ПОВ вилками ОР могут быть выполнены специалистом с минимальным уровнем подготовки в данной области. Кроме того, за счет существенно большего диаметра сердцевины разрешенный диапазон до-

пусков на геометрические параметры отдельных деталей увеличивается более чем на порядок. Совокупность этих факторов приводит к тому, что полная стоимость изготовления одного ОР по оценкам некоторых зарубежных аналитиков составляет не более $1/_{50}$ от стоимости разъема для классических кварцевых ОВ.

Таблица 66. Типовые значения потерь в оптических разъемах полимерных волокон 980/1000 при различных способах обработки торцевой поверхности

Технология обработки	Величина потерь, дБ
Обрезка бокорезами	4–5
Обрезка ножом	2,5–3
Обрезка лезвием	1,2–1,5
Термический способ	0,8–1,2
Шлифовка	0,7–0,9
Полировка	0,5–0,7

9.3. Сетевое оборудование различных стандартов и тестирующие приборы

9.3.1. Дальность связи и скорость передачи информации

Дальность связи и скорость информационного обмена представляют собой взаимосвязанные параметры и зависят преимущественно от энергетических характеристик оптических приемопередатчиков, уровня потерь в отдельных компонентах тракта передачи и его дисперсионных свойств.

Максимальная дальность ℓ связи, определяемая энергетическими характеристиками элементной базы оптических приемопередатчиков интерфейсов физического уровня, находится как решение следующего уравнения:

$$E = \alpha_{\lambda} \ell + 2A,$$

где E — энергетический потенциал сетевого интерфейса (разность между минимально вводимой в волокно мощностью оптического сигнала и минимально допустимой мощностью сигнала на окне фотоприемника, при которых обеспечивается заданная вероятность ошибки цифрового сигнала и отношение сигнала к шуму для аналогового сообщения);
 α_{λ} — коэффициент затухания ОК на длине волны λ ;
 A — потери в ОР.

Результаты расчетов при типичной для оптоэлектронной элементной базы видимого диапазона длин волн величине энергетического потенциала $E = 12$ дБ и условии применения высококачественных ОР с потерями $A = 1,5$ дБ приведены на рис. 154.

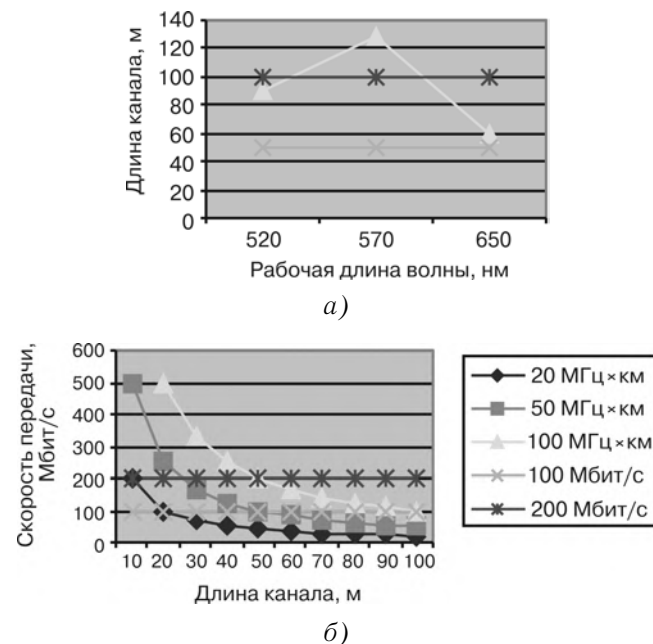


Рис. 154. Максимальная длина тракта передачи сигнала на основе оптического кабеля с полимерными ступенчатыми волокнами на различных длинах волн:

а) ограничение по энергетическому потенциалу;

б) ограничение по полосе пропускания

Расчетное уравнение по определению дальности связи с учетом ограничений по полосе пропускания в данном случае записывается как

$$V = \Delta F k_F k_B \ell,$$

где V — скорость передачи информации;

ΔF — коэффициент широкополосности полимерного волокна;

k_F — коэффициент изменения тактовой частоты, характеризующий увеличение скорости линейного сигнала в случае применения кодов, отличных от NRZ;

k_B — коэффициент, характеризующий возможность уменьшения полосы пропускания фотоприемного устройства по сравнению с тактовой частотой линейного сигнала.

Для блочных кодов с небольшой избыточностью в случае применения современных быстродействующих фотоприемных модулей можно в первом приближении принять $k_F k_B = 1$. Результаты расчетов при типовых величинах ΔF приведены на рис. 154б.

9.3.2. Активное оборудование и тестирующие приборы

Упоминание о возможности использования ПОВ в качестве среды передачи различных сетевых интерфейсов начали появляться в технической литературе

еще в середине 90-х гг. прошлого столетия. Так, в частности, ATM Forum в 1997–1998 гг. утвердил стандарты на передачу сигналов со скоростью 25,6, 51,2 и 155 Мбит/с на расстояние до 50 м по пластиковым световодам с параметрами, которые соответствуют спецификации RHY 0079 этой организации.

При этом естественным образом предполагалось использование принципа прямой модуляции излучателя и одноканальной схемы передачи. Не исключается применение схем спектрального разделения и даже пространственного мультиплексирования [229], хотя оборудование, реализующее такие принципы передачи, не вышло за пределы лабораторных макетов.

В настоящее время ряд компаний выпускают активное сетевое оборудование ЛВС, предназначенное для работы с ПОВ. Так, в частности, в широкой коммерческой продаже предлагаются серийные сетевые адаптеры, преобразователи среды в бескорпусном и настольном вариантах и даже коммутаторы уровня рабочей группы, имеющие соответствующие оптические порты. С прицелом на применение в первую очередь в области построения домашних сетей на рынке достаточно широко представлено также оборудование видеокамер систем наблюдения, оптических датчиков различных физических величин, видеотелефонов, DVD-проигрывателей и других аналогичных устройств, оборудованных оптическим интерфейсом под ПОВ.

Характерной особенностью некоторых типов активного оборудования является отказ от применения классического ОР, построенного по симметричной или несимметричной схеме с использованием наконечников и центрирующих гильз (принцип connector-less). В этом случае обрезанное волокно просто вдвигается в соответствующее гнездо на корпусе прибора. При выборе такого решения конструкторы устройства пользуются характерным для ПОВ свойством слабой зависимости потерь от величины поперечного смещения. Фиксация волокна в рабочем положении осуществляется зажимом цангового типа, фиксируемым накидной гайкой, или обычным подпружиненным движковым зажимом. Для иллюстрации решений первой группы сошлемся на приборные ОР серии SFH, широко применяемые в устройствах промышленной автоматики концерна Siemens. Фиксатор движкового типа использован в конверторах 100 Base-Tx/Fx немецкой компании Ratioplast, в которых для подключения волокон предусмотрен зажимной разъем типа RP-Optoklemme. Все эти компоненты просто фиксируют ПОВ со срезанным концом в гнезде модулей оптического приемника и передатчика и позволяют в некоторых случаях обойтись вообще без удаления защитных покрытий ПОВ.

Немаловажным следствием применения ПОВ является то, что этот тип среды передачи в случае его внедрения в широкую инженерную практику может радикальным образом изменить структуру построения домашних сетей. В настоящее время центральным пунктом сети является ПК, который выполняет функции сервера. В случае использования оптического варианта стандарта высокоскоростного последовательного интерфейса IEEE 1394b у про-

ектировщика сразу же появляется возможность выбора. Под этим понимается, что можно строить как одноранговые сети и соединять устройства по принципу каждый с каждым, так и применять шинную топологию (до 16 устройств в одной шине). С прицелом именно на построение шинных структур фирмой HouseCom разработан инсталляционный преобразователь среды с двумя оптическими линейными портами [230]. Возможность применения подобного решения обусловлена чрезвычайно низкой стоимостью оптоэлектронной элементной базы для передачи сигналов по ПОВ.

В процессе тестирования отдельных компонентов и кабельных трактов на основе ПОВ потенциально могут быть использованы обе разновидности оптических измерительных приборов: оптические тестеры и рефлектометры. Из-за небольшой протяженности кабельных трактов и малой распространенности ПОВ на практике рефлектометры, работающие в области видимого диапазона длин волн, требуют формирования очень коротких зондирующих импульсов и известны только в форме лабораторных макетов. Поэтому в практике построения сетей тестирование осуществляется исключительно тестерами с кремниевым ФД в приемной части. На рынке достаточно широко представлены серийные образцы оборудования этой разновидности, выпускаемые, например, фирмами SENKO и Tempo.

9.4. Выводы

Достигнутый на сегодняшний день уровень техники волоконно-оптической связи по полимерным волокнам открывает широкие перспективы ее использования для построения кабельной проводки различного назначения.

Наиболее привлекательной стороной техники оптической связи по полимерным волокнам является предельная простота монтажа оптических разъемов в сочетании с обеспечением гальванической развязки соединяемой аппаратуры и нечувствительности к электромагнитным помехам.

Применительно к технике СКС основными областями использования полимерных световодов являются короткие соединительные линии магистральных подсистем классических СКС и кабельная проводка домашних сетей, предназначенных для обеспечения функционирования аппаратуры стандарта IEEE 1394b.

Типичные параметры современных кабелей с полимерными волокнами дают возможность их эффективного применения для построения полноценной горизонтальной проводки СКС офисного назначения только в случае работы на длине волны 570 нм.

Серийные низкоапертурные волокна типа 980/1000 позволяют передавать информационные потоки со скоростью 100 Мбит/с по трактам протяженностью до 100 м. По эффективности они примерно эквивалентны витой паре категории 5 и обеспечивают поддержку функционирования таких широко распространенных интерфейсов, как Fast Ethernet и IEEE 1394b в варианте S100.

В случае уменьшения длины тракта передачи до 50 м и 25 м скорость передачи информации возрастает до 200 и 400 Мбит/с соответственно, что позволяет применять аппаратуру IEEE 1394b, соответствующую спецификациям S200 и S400. В данной ситуации в области домашних сетей полимерное волокно может рассматриваться как дополнение кабелей из витых пар категории 8, обсуждаемых сейчас в комитетах по стандартизации.

Внедрение полимерных волокон в классические офисные СКС возможно при условии работы в окнах прозрачности 850 и 1300 нм, перехода на градиентные профили показателя преломления и уменьшения диаметра сердцевины до 100–150 мкм. В этом случае они являются эффективной заменой витых пар категорий 6 и 7 на уровне горизонтальной проводки и традиционных стеклянных световодов на коротких магистральных линиях при передаче информационных потоков со скоростями вплоть до 10 Гбит/с.

ГЛАВА 10**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ СРАЩИВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ
ВОЛОКОН****10.1. Общие положения**

Основные нормативные документы СКС допускают выполнение соединения отдельных световодов с помощью ОР и в виде неразъемных соединителей (сростков). Оптические разъемы рассмотрены в главе 5. Необходимость выполнения соединения по неразъемной схеме возникает:

- при сращивании ОВ отдельных строительных длин ОК, используемых преимущественно при создании протяженных линий внешних магистралей;
- при установке ремонтных вставок в процессе устранения последствий аварий на трассах подсистемы внешних магистралей;
- в случае применения в магистральной подсистеме разветвительных муфт;
- для оконцевания ОК разъемами с помощью монтажных шнуров.

В независимости от способа сращивания и типа соединяемых волокон величина потерь в изготавливаемом неразъемном элементе согласно стандартам СКС не должна превышать 0,3 дБ. На сросток распространяются также требования по величине обратного рассеяния. Небольшие геометрические размеры волоконных световодов требуют использования для формирования неразъемного соединения специализированного прецизионного технологического оборудования.

В процессе изготовления сростка в обязательном порядке производится следующий комплекс технологических операций:

- с конца кабеля снимается поясная изоляция и удаляются все упрочняющие элементы;
- концевые участки соединяемых ОВ освобождаются от всех первичных и вторичных защитных покрытий;
- торцевые поверхности скалываются под углом 90° к оси;
- световоды выравниваются относительно друг друга и различными способами соединяются встык для минимизации потерь и обратных отражений;
- после завершения процесса юстировки ОВ фиксируются в рабочем положении;

- восстанавливаются защитные покрытия.

Наиболее существенные отличия технологий определяются исключительно способами фиксации отъюстированных ОВ. Принципиально данную операцию можно выполнить сваркой, механическим способом и с помощью клея. В силу ряда причин, в том числе малой технологичности и невысокой временной стабильности характеристик, последний способ является исключительно лабораторным и не находит применения в практике построения как сетей связи общего пользования, так и оптической подсистемы СКС.

10.2. Устройства скола волокна

Необходимым условием достижения малой величины потерь в ОР и неразъемных соединителях является наличие у сращиваемых ОВ ровной и перпендикулярной оси торцевой поверхности с минимальной шероховатостью. При сборке элементов оптических разъемов данная задача в подавляющем большинстве случаев решается посредством полировки и шлифовки. При изготовлении неразъемных соединителей в любой форме такой подход совершенно неприемлем с точки зрения затрат времени. В этой области предварительную обработку сращиваемых световодов выполняют с помощью устройств скола волокна, или скалывателей¹. Эти приспособления позволяют получить качество торцевой поверхности, достаточное для выполнения неразъемного соединения, за существенно более короткое время и всего за одну технологическую операцию.

Известны электронные, ультразвуковые и механические устройства скола ОВ, причем существуют варианты для обработки как одиночного световода, так и группы волокон ленточного кабеля сразу. В практике построения оптических подсистем СКС в связи с отсутствием особо высоких требований к параметрам соединений и практически полным отсутствием ленточных конструкций ОК повсеместное распространение получили механические устройства. Эти приборы, которые традиционно называют механическими скалывателями, обрабатывают один световод и позволяют получить угол отклонения плоскости торцевой поверхности волокна от его оси не более 0,5—1,5°.

10.2.1. Принцип действия механического скалывателя

Принцип действия механического скалывателя основан на нанесении на поверхность ОВ, предварительно очищенного от всех защитных оболочек, неглубокой насечки с последующим приложением к этой области растягивающего или изгибающего усилия. Под воздействием создаваемой нагрузки в месте насечки начинается рост трещины, который приводит к облому (сколу)

¹ В некоторых отечественных публикациях для обозначения этой разновидности технологического оборудования иногда используется термин «устройство подготовки торцев волокон».

световода. Необходимым условием получения ровного перпендикулярного оси скола является выполнение следующего неравенства [231]:

$$d_m < \frac{K}{\sigma_B^2}, \quad (37)$$

где d_m — внешний диаметр скалываемого ОВ;

$K \approx 5,4 \times 10^2 \text{ МПа}^2\text{м}$ — эмпирический коэффициент пропорциональности;

$\sigma_B = 245 \text{ МПа}$ — прочность на разрыв кварцевого стекла.

Подстановка численных значений в формуле 37 дает $d_m = 90 \text{ мкм}$, то есть реально не во всех ситуациях гарантируется требуемое качество скола. Для получения высококачественных поверхностей применяют следующий прием: ОВ изгибают под продольной нагрузкой так, чтобы все сечение находилось под продольным напряжением. В этом случае удастся увеличить внешний диаметр скалываемого световода примерно в 3,5 раза. На принципе приложения к обрабатываемому ОВ изгибающего воздействия построены скалыватели первого поколения. В последних моделях этих приборов часто используют скол под воздействием осевого растягивающего усилия величиной около 2 Н [232], которое обеспечивает более высокое качество торцевой поверхности.

10.2.2. Кинематические схемы механических скалывателей

Механические прецизионные скалыватели реализуются по двум основным кинематическим схемам: с поворотным и продольно-скользящим резак.

Скалыватели с поворотным резак обычно обеспечивают угол отклонения плоскости торцевой поверхности ОВ от его оси не хуже $1,5^\circ$ и ориентированы в первую очередь на работу с многомодовыми световодами. Эти изделия известны в двух основных конструктивных разновидностях.

В первой из них (например, модель СТ-02 фирмы Fujikura, см. рис. 155) использованы гибкое пластинчатое основание и скрепленная с ним на оси подпружиненная крышка с резак. Работа с таким устройством осуществляется следующим образом: ОВ, предварительно очищенное от защитных покрытий на длину 20–30 мм, укладывают на основание в V-образную направляющую канавку, опускают крышку, делая при этом насечку на оболочке. Затем отпускают крышку, которая поднимается вверх под действием пружины, прижимают волокно к пластинке основания и изгибают ее для получения скола. Для улучшения потребительских качеств таких скалывателей нож резака может выполняться сменным (ресурс ножа скалывателя типа FC-3 японской корпорации Sumitomo составляет примерно 2000 сколов). Параметры изделий данной разновидности приведены в табл. 67. Из-за небольших габаритов этих приборов



Рис. 155.
Скалыватель
изгибного типа

в некоторых публикациях их называют компактными, или карманными, скалывателями.

Таблица 67. Малогабаритные скалыватели с поворотным резак

Фирма-изготовитель	Модель	Отклонение от перпендикуляра, °	Габаритные размеры, мм	Масса, г
Sumitomo	FC-3	0,7	20 × 100 × 50	80
Fujikura	СТ-02	–	20 × 100 × 35	75

Во втором варианте скалывателей с поворотным резак ОВ фиксируют зажимами в двух точках. Второй зажим выполнен подвижным и в исходном состоянии прижат к корпусу пружинной. После надсечения волокна этот зажим тянут в осевом направлении для получения скола. Необходимая для нормальной работы прибора ориентация световода задается трубчатой направляющей.

Прецизионные настольные скалыватели, которые обеспечивают отклонение от перпендикуляра не более $0,5–0,7^\circ$, выполняются по схеме с продольно скользящим резак, который для увеличения плавности хода и качества скола устанавливается на подшипниках. Такие конструкции, в свою очередь, также имеют две разновидности, примерно равные по популярности. В первой из них разделанное ОВ сначала укладывают в V-образную направляющую канавку с двумя концевыми опорами, фиксируют на этих опорах и в V-образной канавке вспомогательной и основной опускающейся крышками надсекают снизу между опорами резак, который закреплен на подвижных салазках, а затем обламывают верхним подвижным прижимом, см. рис. 156б. Во втором варианте скол ОВ осуществляется за счет тянущего усилия, ориентированного в осевом направлении и создаваемого также подвижным прижимом или подающими вальками.

В основной массе скалывателей с продольно скользящим резак подача обрабатываемого волокна в рабочую зону осуществляется сбоку слева направо (рис. 156а). Такая конструкция ориентирована на работу с прибором правой рукой. Торцевой ввод волокна (рис. 156б), характерный для скалывателей изгибного типа, в прецизионных настольных устройствах встречается существенно реже.

Резак наиболее часто изготавливается из твердосплавного материала, функции которого в большинстве современных конструкций выполняет карбид вольфрама [233]. Этот элемент выполняют в форме сменного диска, который может быть зафиксирован в одном из 12–6 угловых положений. Кроме того, возможно применение механического регулятора высоты установки диска в одном из трех положений. В результате общий ресурс резака до его замены у лучших моделей этих приборов при работе с кварцевым ОВ может быть доведен до приблизительно 50 000 сколов.



Рис. 156. Скальватели с продольно-скользящим резаком:
а) с боковым вводом волокна (модель CT-20 компании Fujikura);
б) с торцевым вводом волокна (модель FC-7S компании Sumitomo)

В тех ситуациях, когда разработчик в силу каких-либо причин использует ножевидный резак, для увеличения ресурса он изготавливается из алмаза. В этом случае резак устанавливают как в крышке прибора (скальватель типа D6 фирмы Corning), так и в основании (устройство Алмаз российского производства).

10.2.3. Дополнительные сервисные возможности

Определенное улучшение качества получаемого скола и удобства работы с прецизионным механическим скальвателем достигается введением в состав его кинематической схемы дополнительных механизмов открывания основной крышки после обламывания ОВ. Этот механизм срабатывает при дальнейшем нажатии на кнопку прижима (скальватель типа CT-07 фирмы Fujikura) или на отдельный рычаг (устройства фирмы Fitel). В некоторых типах приборов такая сервисная функция не предусматривается, что позволяет существенно улучшить их массогабаритные показатели (см. табл. 68).

Расширение функциональных возможностей скальвателя обеспечивается наличием двух параллельных V-образных канавок, рассчитанных на укладку в них ОВ в защитном покрытии диаметром 0,25 и 0,9 мм, а также линейки для установки длины скола в пределах 6–20 мм с точностью до 0,5 мм. Кроме того, узел для укладки ОВ может быть выполнен сменным. Это позволяет в случае необходимости обрабатывать другие типы световодов, например леточные волокна, а также переносить волокно в сварочный аппарат. Наличие сменного узла фиксации позволяет также очень точно регулировать длину скола. В случае применения для подачи микрометрического винта точность установки этого параметра достигает ±0,01 мм (устройство типа DCU компании Diamond).

В скальвателях с продольно-скользящим резаком существует потенциальная опасность ошибочного многократного надсекания ОВ, что заметно

снижает качество скола. Для устранения этого недостатка в приборах FUR-S323 фирмы Furukawa и FC-6S фирмы Sumitomo после рабочего хода резака выполняется блокировка салазок в крайнем переднем положении, которая может быть снята только при открывании фиксирующей крышки.

Таблица 68. Скальватели с продольно-скользящим резаком

Фирма-изготовитель	Модель	Отклонение от перпендикуляра, °	Габаритные размеры, мм	Масса, г
Diamond, Швейцария	DCU	0,5	55 × 65 × 100	430
Fujikura, Япония	CT-20*	0,5	110 × 76 × 49	370**
Furukawa, Япония	S325A	0,5	93 × 68 × 50	330
ILSINTECH, Южная Корея	CI-03B	0,5	90 × 60 × 50	280
RXS, Германия	D6	0,5	133 × 75 × 69	540
Sumitomo, Япония	FCH-12	0,7	82 × 50 × 54	500
Sumitomo, Япония	FC-7S	0,5	98 × 58 × 47	430

* Данное устройство предлагается также компанией Ericsson как OEM-продукт под наименованием EFC-20 (Ericsson fiber cleaver)

** 460 г в комплекте со съемным контейнером для сбора обрезков сколотого волокна

Компания Sumitomo выпускает скальватель FCP-21 с продольно-скользящим дисковидным резаком и обычными для прецизионных устройств параметрами (отклонение от перпендикуляра 0,5°, возможность скола ОВ в буферном покрытии 0,25 и 0,9 мм). По специальному заказу возможна поставка его варианта FCP-21L, который предназначен для левшей и отличается от базовой модели зеркальным принципом построения кинематической схемы.

Конструкция скальвателей, разработка которых была завершена до середины 90-х гг. прошлого века, требовала от оператора выполнения нескольких отдельных операций. Для облегчения процесса работы на некоторых моделях возле соответствующих рычагов и крышек на корпус наносились цифры, обозначающие последовательность их использования. В новейших разработках

кинематическая схема устройства выбирается таким образом, что все операции выполняются одним движением под действием закрывающейся крышки (принцип One Action, One Step или One Touch Cleave). Дальнейшее развитие этого принципа использовано в устройствах FC-7S компании Sumitomo и СТ-30 компании Fujioka. В этих изделиях перемещение отдельных механических элементов осуществляется под воздействием предварительно взведенной пружины, а закрываемая оператором крышка выполняет функции спускового рычага. Такой подход минимизирует влияние субъективного фактора на качество получаемого скола.

Кроме скалывателей, которые обеспечивают перпендикулярный скол ОВ, существуют приборы, позволяющие получить угловой скол. Потребность в такой обработке световода возникает в случае необходимости достижения минимального уровня обратных отражений. Примером изделия, реализующего эту функцию, является устройство типа AFC-2008 компании Laser Components.

При срабатывании скалывателя любой конструкции принципиально обрабатывается кусок ОВ, который согласно правилам техники безопасности должен быть обязательно удален из рабочей зоны и помещен в сосуд с закручивающейся крышкой или на липкую ленту. Процедура сбора отходов автоматизируется в некоторых моделях, которые снабжены для этой цели соответствующим сборником. Данный модуль может быть выполнен как интегральная составная часть скалывателя (устройство типа S323 фирмы Furukawa) или в виде съемного контейнера (устройство типа FC-01 для скалывателя СТ-20 компании Fujioka).

10.3. Сварочные аппараты

10.3.1. Общие положения

Сварочный аппарат является одним из наиболее эффективных технологических приборов для работы с ОВ. Его применение обеспечивает наивысшую среди прочих технологических инструментов производительность труда при изготовлении неразъемных соединителей в сочетании с минимальными потерями в изготавливаемом сростке, достижение его наибольшей механической прочности и эксплуатационной надежности.

Процесс изготовления неразъемного соединения с использованием сварной технологии включает в себя следующие основные этапы:

- разделку ОК;
- подготовку ОВ, в том числе удаление всех защитных покрытий и скалывание конца с угловой ошибкой не более 1° ;
- взаимное выравнивание соединяемых световодов;
- выполнение сварочного процесса и установку защитного элемента;

- тестирование параметров сварного сростка встроенными техническими средствами аппарата (при их наличии) и оптическим рефлектометром;
- укладку технологического запаса ОВ и защитного элемента в сплайс-пластину.

К современному сварочному аппарату предъявляется следующий комплекс требований:

- высокое качество изготовления сварного сростка световодов;
- возможность работы с основными типами ОВ, применяемыми в кабелях связи;
- высокая производительность;
- обеспечение удобства работы оператора;
- хорошие массогабаритные показатели;
- по возможности наличие опции оценки потерь в созданном соединении.

10.3.2. Принцип действия

Принцип действия аппарата основан на расплавлении предварительно отъюстированных концов сращиваемых ОВ с их последующим сведением и слиянием. Положительным дополнительным эффектом от использования такой схемы является эффект самоцентрирования, то есть возникающие при сведении световодов силы поверхностного натяжения уменьшают смещение осей сращиваемых волокон и потери в области соединения.

Для нагрева сращиваемых ОВ потенциально могут быть использованы следующие способы [234]: электрическая дуга (точнее тлеющий разряд) тока высокой частоты, плазменная или кислородная горелка, а также луч CO₂-лазера. В настоящее время из-за ряда эксплуатационных и технических преимуществ практическое применение находит исключительно сварка электрической дугой, см. рис. 157.

Собственно процедура сварки в общем случае реализуется в три этапа [235].

Очистка волокна. В процессе выполнения этой операции в область торцевой части очищенных участков ОВ подается кратковременная электрическая дуга, которая выжигает оставшиеся на поверхности загрязнения. Расстояние между торцевыми поверхностями в этом режиме близко к диаметру ОВ, то есть выбирается примерно равным 100 мкм. Одновременно на этапе очистки осуществляется удаление возможных трещин на боковой поверхности световодов, что увеличивает прочность и долговременную стабильность сварного сростка. В случае необходимости процедура очистки повторяется несколько раз.

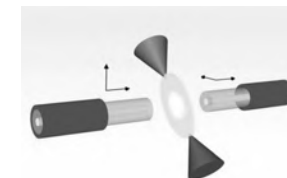


Рис. 157. Принцип сварки электрической дугой

Так называемое *оплавление*, или *предсварка* (prefusion). В процессе выполнения данной процедуры ОВ сближаются на расстояние 10–15 мкм, ток дуги и продолжительность ее подачи увеличиваются. В результате выполнения предсварки торцы волокон оплавляются и приобретают немного выпуклую форму.

Основная сварка. Эта процедура начинается сразу же после завершения этапа предсварки без перерыва. Ток дуги и время ее подачи возрастают еще больше и регулируются по специальному алгоритму. При расплавлении стекла ОВ сводятся вплотную, начинаются процесс их слияния и формирование неразъемного соединения.

10.3.3. Разновидности сварочных аппаратов

По принципу выравнивания ОВ перед выполнением сварки аппараты в общем случае делятся на ручные, полуавтоматические и автоматические. Юстировка и последующая подача свариваемых ОВ в аппаратах с ручным выравниванием осуществляются оператором с помощью микрометрических винтов. Аппараты этой разновидности практически вытеснены из эксплуатации еще в середине 90-х гг. Это объясняется нестабильностью характеристик изготавливаемых на них сростков, высокой трудоемкостью, невозможностью сращивания одномодовых ОВ с гарантированно малым затуханием в соединении и таким немаловажным фактором, как быстрое падение стоимости автоматики. Небольшая величина потерь, а также стабильность и хорошая повторяемость параметров сростков, изготовленных на полуавтоматическом и автоматическом сварочных аппаратах, достигнуты за счет применения в их конструкции встроенного блока микропроцессорного управления. Последний осуществляет регулирование тока оплавления и сварки, а также задает время и момент подачи электрической дуги в различных режимах, скорость и величину сближения ОВ и другие параметры. В перечень дополнительных функций контроллера автоматических моделей входит выполнение диагностических проверок и поддержание диалога с оператором, который проводится с помощью многоуровневого структурированного меню. Ввод команд выполняется с помощью пленочных или сенсорных клавиш на панели управления.

Более простой по конструкции полуавтомат не производит пространственного выравнивания свариваемых ОВ, которые центрируются только по оболочке за счет укладки в прецизионную V-образную канавку из циркониевой керамики (так называемая пассивная юстировка). Для усиления эффекта выравнивания ОВ за счет сил поверхностного натяжения в аппаратах этого класса практикуется увеличенное время подачи дугового разряда для удержания стекла в расплавленном состоянии [236]. Дополнительные функции полуавто-

матики ограничены подачей волокон в зону сварки с установкой заданной величины зазора, контролем качества скола и расчетом в некоторых случаях ожидаемой величины потерь.

Полуавтоматический сварочный аппарат часто представляет собой весьма малогабаритный прибор. Например, достаточно популярное на российском рынке в середине 90-х гг. прошлого века устройство FSM-05 японской компании Fujikura при габаритах 178 × 127 × 125 мм имеет массу всего 2,5 кг и позволяет сваривать как одномодовые, так и многомодовые ОВ с потерями не более 0,1 дБ.

В отличие от полуавтоматов автоматические сварочные аппараты минимизируют потери в точке стыка ОВ за счет их дополнительного выравнивания перед сваркой по двум координатам независимыми электромеханическими подвижками с точностью подачи до 0,05–0,1 мкм и последующим сведением после подачи электрической дуги. Для упрощения кинематической схемы одна из подвижек используется для линейного перемещения вдоль оси Z в процессе юстировки и сварки, тогда как вторая выполняет юстировочные перемещения по осям X и Y. Для увеличения скорости работы контроллер сохраняет конечное положение подвижек предыдущего сварочного процесса и начинает цикл юстировки от них.

В очень ограниченных количествах на рынке встречаются устройства, по своему функционалу занимающие промежуточное положение между классическими автоматическими и полуавтоматическими аппаратами. В качестве примера сошлемся на прибор типа FSM-16 фирмы Fujikura, в котором использована двухкоординатная система выравнивания. Считается, что юстировка по третьей координате не требуется, так как обеспечивается жесткими допусками на геометрические параметры современных ОВ.

Параметры полуавтоматических и автоматических сварочных аппаратов приведены в табл. 69 и табл. 70.

10.3.4. Методы юстировки световодов и оценки потерь в сростке

Выравнивание может осуществляться оператором вручную или автоматически. В процессе ручного выравнивания оператор визуально контролирует пространственное расположение соединяемых волокон. Для увеличения эффективности этого процесса часто применяется наблюдение с двух взаимно ортогональных направлений. Как средство инструментального контроля точности выравнивания может использоваться контроль общего затухания цепи распространения сигнала с помощью измерителя оптических потерь или применяться контроль потерь в соединении с помощью рефлектометра [237].

Таблица 69. Параметры автоматических аппаратов для сварки одиночных световодов

Тип аппарата	FSM-50S	X60	Тип-36	S175V2000	Fusion 3500	FSU975	FSU 15 FI
Фирма-производитель	Fujikura Япония	RXS, Германия	Sumitomo, Япония	Furukawa Япония	Aurora Instruments, США	Ericsson, Швеция	Ericsson, Швеция
Метод выравнивания	PAS	L-PAS и LID	PAS	PAS	L-PAS и LID	PAS	
Потери при сварке, дБ	SM 0,02 MM 0,01		SM 0,02 MM 0,01	SM 0,02	SM 0,016	SM 0,02	SM 0,02 MM 0,01
Время сварки, с	15	–	25	17	10–15	–	15
Количество программ сварки (заводские / пользовательские)	60/40	–	35	–	100	–	–
Сохранение параметров и результатов сварки	2000	1000	1000	400	–	150	–
Габариты, мм	150 × 150 × 150	–	190 × 190 × 175	–	225 × 150 × 263	370 × 220 × 145	180 × 235 × 165
Масса, кг	2,8	–	5,6	–	5,9	6,5	3
Тип дисплея	Цветной 5-дюймовый ЖКИ-экран	–	Цветной 5,6-дюймовый ЖКИ-экран	Цветной 5-дюймовый ЖКИ-экран	Цветной ЖКИ-экран	Цветной 5-дюймовый ЖКИ-экран	Цветной 5-дюймовый ЖКИ-экран
Коэффициент увеличения оптической системы	295 или 148	–	–	–	65	–	–

Таблица 70. Параметры полуватоматических аппаратов для сварки одиночных световодов

Тип аппарата	FSM-16S	EC-1	Fase II	S199S
Фирма-производитель	Fujikura Япония	Ericsson, Швеция	TRITEC, Великобритания	Furukawa Япония
Метод выравнивания	V-образная канавка	V-образная канавка	V-образная канавка	V-образная канавка
Потери при сварке, дБ	SM 0,05 MM 0,02	SM 0,05	SM 0,05 MM 0,05	SM 0,04 MM 0,03
Время сварки, с	25	–	–	25
Количество программ сварки (заводские / пользовательские)	–	–	10/10	9/23
Сохранение параметров и результатов сварки	300	–	–	150
Габариты, мм	150 × 150 × 150	240 × 305 × 130	178 × 127 × 125	152 × 152 × 152
Масса, кг	2,7	3,7	2,5	2,9
Тип дисплея	Цветной 5-дюймовый ЖКИ-экран	Цветной 3,2-дюймовый ЖКИ-экран	Микроскоп	Цветной 5-дюймовый ЖКИ-экран
Коэффициент увеличения оптической системы	110	–	75	–

Автоматическая юстировка производится контроллером сварочного аппарата. При этом для выравнивания привлекаются несколько различных методов [238].

Первый метод автоматической юстировки предполагает реализацию процедуры выравнивания ОВ за счет анализа телевизионного изображения их концов. Метод дает возможность уменьшить потери в сростке, возникающие за счет разницы диаметров оболочек световодов, однако не учитывает осевого смещения сердцевин. Применение метода не позволяет осуществить оценку величины потерь в соединении.

Второй метод юстировки, известный под названием метода LID (local injection and detection), был впервые применен в серийном оборудовании в 1984 г. фирмой Siemens. Этот метод основан на вводе контрольного оптического сигнала в сердцевину первого ОВ и съеме его из сердцевины второго с максимизацией выходного сигнала за счет перемещений волокон микроподвижками. Для ввода и вывода сигналов используются изгибные ответвители. Чувствительность фотоприемника устройства управления подвижками при реализации рассматриваемого метода обычно достаточна для работы с ОВ в буферном покрытии с максимальным диаметром 0,9 мм, в том числе окрашенным в стандартные цвета. Длина волны контрольного сигнала выбирается равной рабочей длине волны сетевой аппаратуры и обычно составляет 1310 нм. Недостаток такого подхода состоит в том, что метод LID допускает работу не со всеми типами одномодовых ОВ, а использование изгибного ответвителя увеличивает риск возникновения скрытых дефектов в волокне. В автоматических сварочных аппаратах серии X70 немецкой компании RXS контроль выходного сигнала выполняется также в процессе сварки и точка достижения его максимального значения используется в качестве опорной для начала операций завершения сварочного процесса.

Третий метод разработан в середине 80-х гг. прошлого века японской компанией Fujikura и получил название метода выравнивания профилей показателя преломления PAS (profile alignment system). Сущность метода состоит в том, что выравниваемые ОВ помещают в параллельный пучок света, фиксируют полученное изображение с помощью телекамеры и обрабатывают его. В первой модификации метода, которая обозначается просто PAS, оптическая система контрольного устройства фокусируется на сердцевину. За счет разности показателей преломления сердцевины и оболочки их изображение имеет различную яркость, что позволяет выполнить юстировку двух волокон. Во второй модификации метода, которая получила название метода L-PAS (Lens-PAS), используется тот факт, что сердцевина, показатель преломления которой отличается от показателя преломления оболочки, действует как линза. В ее фокальной плоскости возникает яркая линия, место расположения которой является мерой положения сердцевины в пространстве. Анализ изображения линии, выполняемый с помощью телекамеры и встроенного контроллера сварочного аппарата, по-

зволяет осуществить юстировку ОВ. Одновременно контроллер системы управления аппарата проверяет качество скола торцевой поверхности волокон и в случае выявления каких-либо дефектов прекращает процесс сварки.

Юстировка по тепловым изображениям (Warm Image Processing) запатентована фирмой Ericsson в начале 90-х гг. прошлого века. Ее практическая реализация известна как метод RTC (Real Time Control) [239]. Данный принцип применяется также в аппаратах компании Corning как метод CDS (Core Detection System). Суть метода состоит в том, что разогретые в процессе обязательной очистки электрической дугой оболочка и сердцевина излучают свет ИК диапазона, который после обработки в системе фильтров фиксируется телекамерой в виде так называемой тепловой фотографии. Отличие излучений сердцевины и оболочки обусловлено различным химическим составом их материалов. Основным достоинством метода является то, что он сохраняет свою работоспособность в процессе воздействия на соединяемые волокна электрической дуги сварочного аппарата.

Старшие модели сварочных аппаратов после завершения операций по соединению ОВ выполняют определение величины потерь в сростке. Определенное ими значение следует рассматривать как предварительную оценку качества выполнения сварочного процесса. Точное значение потерь в сварном сростке может быть получено лишь по результатам измерения рефлектометром.

Оценка потерь выполняется по-разному в зависимости от используемой схемы выравнивания волокон.

В аппаратах, реализующих метод LID, в качестве меры оценки потерь в соединении используется величина

$$A = p_1 - p_2 - 0,34 \text{ дБ},$$

где p_1 и p_2 — уровни испытательного сигнала, регистрируемые фотоприемником после сплавления и перед началом процесса сварки.

Поправка 0,34 дБ учитывает исчезновение френелевских потерь после слияния ОВ.

При использовании методов группы PAS применяется расчетный метод оценки потерь. В качестве их величины принимается решение геометрической задачи перекрытия двух поверхностей с учетом неоднородности поля и изгиба сердцевины. Все необходимые вычисления осуществляются управляющим контроллером.

Недостатком первого подхода является наличие отличий условий распространения контрольного и информационного сигналов, второго — его косвенный характер.

10.3.5. Конструктивные особенности

Процесс установки, начального сведения ОВ и контроль качества изготовленного сростка осуществляют под визуальным контролем оператора. В качестве устройства визуального контроля может быть использован обычный или про-

екционный микроскоп, а также встроенная телевизионная система с размером ЖК экрана монитора по диагонали до 6 дюймов. Коэффициент увеличения в обоих случаях может достигать 280 раз. Подсветка рабочей области в системах с микроскопом производится галогенной лампочкой накаливания, в случае применения телевизионного монитора используется СД красного цвета свечения. Для получения более высокой точности юстировки может быть использовано угловое зеркало или две телекамеры, позволяющие одновременно или поочередно наблюдать свариваемые ОВ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Первое из этих решений имеет несколько меньшую стоимость, однако не позволяет наблюдать световоды с двух направлений одновременно и из-за наличия подвижных деталей обладает пониженной эксплуатационной надежностью.

Экран может монтироваться в корпусе или выполняться в виде откидной вперед или вверх панели. Преимуществом первого варианта является хорошая защита от различных механических воздействий, второе решение позволяет несколько снизить внешние габариты устройства во внерабочем состоянии. Кроме того, некоторые модели аппаратов позволяют снять экран монитора и установить его в удобном для работы месте.

На экран монитора дополнительно возлагаются функции вывода различных сообщений и запросов управляющего контроллера, а также результатов тестирования, величины задаваемых параметров и т. д. Язык, на котором индицируются эти сообщения, задан жестко или же выбирается оператором из имеющегося перечня в процессе настройки прибора.

В случае наличия штатного монитора в сварочном аппарате, как правило, предусматривается стандартный телевизионный выход для подключения к внешнему видеоконтрольному устройству.

Ввод управляющих команд осуществляется со встроенной клавиатуры. Для улучшения эксплуатационной надежности аппарата практически во всех случаях применяется пленочный вариант этого устройства. В современных моделях часто используется принцип управления через сенсорный экран. К ряду сварочных аппаратов может быть подключена стандартная компьютерная клавиатура. В устройстве FSM-50 фирмы Fujioka предусмотрен второй комплект клавиш управления термоусадочной печкой, который смонтирован на противоположной стороне корпуса, что дает возможность одновременной работы двух специалистов.

Для улучшения качества сварки в полевых условиях аппараты снабжаются защитной крышкой, которая в рабочем положении закрывает рабочую область и гарантирует обеспечение заданных параметров сварочного процесса при ветре силой до 15 м/с.

Оператор имеет возможность выбора одной из нескольких программ сварки (от 8 до 30 у разных типов приборов), постоянно записанных во внутренней памяти управляющего контроллера. Каждая такая программа рассчитана на

сращивание волокон конкретного типа. На основе этих программ могут быть созданы собственные пользовательские программы, учитывающие нюансы конкретных волокон, условия выполнения сварочных работ и т. д. В случае необходимости установка параметров сварочного процесса возлагается на автоматику аппарата. Вычислительные мощности контроллеров достаточны для того, чтобы по изображению сердцевины определить тип ОВ (многомодовое, одномодовое стандартное, со смещением дисперсии и т. д.) и выбрать соответствующую программу сварки без вмешательства оператора.

При выборе параметров сварки автоматические приборы, как правило, осуществляют коррекцию стандартных значений за счет учета температуры, атмосферного давления¹ и влажности, фактические величины которых измеряются встроенными датчиками. Режимы выполнения сварок и величины рассчитанных потерь заносятся во внутреннюю память прибора. Хранящиеся там параметры могут быть считаны на экран встроенного дисплея или на внешнее устройство. Для выполнения последней операции используется интерфейс RS-232C. В современных моделях все большее распространение получает более скоростной интерфейс USB.

После завершения процесса сварки полуавтоматический и автоматический сварочные аппараты проверяют механическую прочность срубка, что является хорошим средством оценки качества его выполнения. Для этого волокна растягиваются с усилием 200–250 г (так называемый стандартный тест) или 400–500 г (усиленный тест).

Большинство моделей сварочных аппаратов имеют интегрированную в корпус печку для усадки защитных гильз (см. параграф 8.4.3). В некоторых конструкциях применяется исполнение этого модуля в виде внешнего прибора с отдельным питанием. Печки основной массы сварочных аппаратов построены на основе нагревательной пластинки, на которую укладывается гильза КДЗС. Для получения правильной усадки алгоритм функционирования ее нагревателей выбирается таким образом, чтобы получить градиент температур от центра к краям. В печке системы RapidoShrink использован стержневой нагреватель, а гильза укладывается на проволочные поддерживающие элементы. Внутренняя часть рабочей зоны покрыта материалом, хорошо отражающим тепловые лучи, и имеет в поперечном сечении эллипсовидную форму. Нагреватель и гильза располагаются в фокусах эллипса, см. рис. 158. За счет этого не происходит непроизводительного нагрева воздуха и тепло передается на гильзу непосредственно, что резко увеличивает быстродействие устройства (время усадки сокращается до 15 с) и его КПД.

Питание устройства осуществляется от сети 220 В через соответствующий силовой адаптер. Предусматривается также возможность подключения к 12-вольтовой автомобильной электросети (непосредственно к клеммам аккумуля-

¹ Согласно паспортным данным, большинство приборов обеспечивают нормальное качество выполнения сварочного процесса на высотах до 3,5–4 км.

лятора или через гнездо прикуривателя). Для обеспечения возможности работы в полевых условиях предназначены штатный аккумулятор. Батарея может пристегиваться к нижней части корпуса аппарата или выполняться в бескорпусном варианте с установкой в посадочное гнездо. Емкости штатного аккумулятора достаточно для выполнения от 40 до 120 сварок и усадки соответствующего количества защитных гильз.

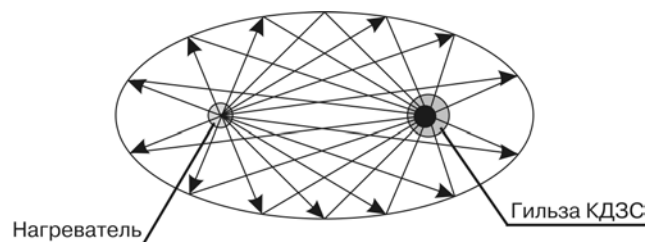


Рис. 158. Принцип действия печки системы RapidoShrink

Из-за значительной массы батареи, которая соизмерима с массой самого сварочного аппарата, в некоторых моделях аппаратов, разработанных после 2000 г., применяется несколько (до трех) более легких аккумуляторов меньшей емкости. Выбор количества батарей, устанавливаемых в аппарат, осуществляется оператором перед выездом на объект в зависимости от решаемой задачи.

Оборудование рассматриваемой разновидности очень часто используется в полевых условиях. Поэтому с целью уменьшения энергопотребления программа управляющего контроллера строится таким образом, чтобы в конкретный момент времени были включены только те функциональные блоки, которые необходимы для выполнения определенных технологических операций.

К числу дополнительных функций, реализуемых контроллером автоматического сварочного аппарата, относится также подсчет количества выполненных сварок и выдача оператору предупреждающего сигнала о необходимости очистки или замены электродов после исчерпания их ресурса.

Из-за большого тока электрической дуги, создаваемой в процессе сращивания ОВ, происходят сравнительно быстрое загрязнение и износ электродов (их долговечность обычно составляет примерно 1000 сварок). Замена электродов является достаточно трудоемкой операцией, и для ее облегчения в некоторых моделях сварочных аппаратов узел электродов может быть реализован в форме быстросменного неразборного модуля.

Основная масса сварочных аппаратов рассчитана на сращивание одиночных ОВ. Известно также оборудование, которое позволяет сваривать одновременно несколько световодов ленточных ОК.

Для транспортировки на место работ сварочный аппарат упаковывается в чемодан типа дипломат из жесткого ударопрочного материала или в футляр,

форма которого близка к кубической. Чемодан несколько более удобен для переноски и снабжается съемной крышкой, позволяющей выполнять сварочные работы, не вынимая из него аппарата. Футляр, кроме ручки, комплектуется штатным наплечным ремнем и на объекте монтажа иногда используется вместо табуретки.

Во многих моделях автоматических сварочных аппаратов, разработанных в конце 90-х гг. прошлого века, реализована функция дистанционного управления. За счет наличия встроенного Web-агента имеется возможность диагностики неисправностей, модификации программного обеспечения, выполнения различных сервисных проверок и т. д. Этот принцип поддерживается, например, аппаратами компаний Ericsson и Sumitomo.

10.3.6. Малогабаритные сварочные аппараты

В практике построения оптических подсистем СКС применяются в основном сварочные аппараты, предназначенные для сетей связи общего пользования. Специальные разработки, ориентированные на использование преимущественно в области построения оптических кабельных трактов сетей доступа, ЛВС и СКС (сегмент FTTx), появились в открытой продаже в 2003 г. Характерными основными признаками изделий этой группы являются:

- предельно минимизированные массогабаритные показатели (масса не свыше 1,5 кг);
- возможность выполнения процедур сращивания ОВ не только на стационарной поверхности типа стола, но и на весу «с руки», см. рис. 159; для облегчения выполнения этой операции известные модели сварочных аппаратов данной разновидности обязательно снабжаются нашей-ным ремнем;
- возможность работы с одномодовыми и многомодовыми волокнами;
- достаточно умеренные характеристики с точки зрения обеспечиваемых потерь в точке сращивания в сочетании с практически полным объемом



Рис. 159. Малогабаритные сварочные аппараты:
а) типа S121A компании Furukawa; б) типа Type-25 компании Sumitomo;
в) типа SpliceMate (FSM-11S) компании Fujikura

сервиса, предоставляемым современными полуавтоматическими сварочными приборами;

- наличие встроенного аккумулятора, емкости которого достаточно для выполнения примерно 30 сварок.

Основные параметры приборов рассматриваемой разновидности приведены в табл. 71.

Таблица 71. *Параметры малогабаритных аппаратов для сварки одиночных световодов*

Тип аппарата	Type-25 TomCat	S121A	SpliceMate
Фирма-производитель	Sumitomo, Япония	Furukawa, Япония	Fujikura, Япония
Потери при сварке, дБ	SM 0,05 – 0,1 MM 0,03 – 0,04	0,1	SM 0,05 MM 0,02
Время сварки, с	13	13	60
Количество программ сварки	15	–	40
Габариты, мм	120 × 145 × 160	140 × 190 × 95	110 × 100 × 80
Масса, кг	1,5	1,15	0,81
Тип дисплея	Цветной 2,5-дюймовый ЖКИ-экран	Цветной 2,5-дюймовый ЖКИ-экран	Цветной 3,5-дюймовый ЖКИ-экран

Тенденция к микроминиатюризации начинает отчетливо проявляться не только в полуавтоматах, но и в автоматических приборах. Сварочный аппарат Altima X фирмы Aurora Instruments обеспечивает стандартный сервис нормального настольного прибора при массе 2,25 кг. Его интересной особенностью является возможность разборки на два блока (модуль управления и сварочный модуль).

10.4. Механические неразъемные соединители

10.4.1. Назначение, параметры и области применения

Механический неразъемный соединитель, или механический сплайс (splice), представляет собой механическое средство соединения одномодовых и многомодовых ОВ контактным методом.

По сравнению со сварными сращениями механические сплайсы монтируются несколько быстрее, а их установка требует применения технологического

оборудования с меньшей стоимостью. Работа со сплайсами осуществляется без использования источника электропитания любого вида и за счет этого может быть выполнена во взрывоопасной среде. Сварным соединениям они уступают по величине вносимых потерь, допустимому разрывному усилию (в случае отсутствия элементов дополнительной фиксации) и стабильности параметров. Требования к профессиональной квалификации монтажников в обоих случаях являются примерно одинаковыми.

Механический сплайс осуществляет выравнивание ОВ по оболочке и обеспечивает потери в соединении не более 0,2 дБ при типовом коэффициенте обратного отражения не выше –50 дБ, что не всегда достаточно для сетей связи общего пользования, однако вполне приемлемо для кабельных трактов СКС. В этой области технология механических сплайсов по совокупности обеспечиваемых технико-экономических характеристик является вполне конкурентоспособной альтернативой сварным соединениям.

Важной особенностью механического сплайса является возможность его многократного использования (максимум десять раз в известных конструкциях). Количество циклов сборки-разборки ограничивается практически только объемом иммерсионного геля в центрирующем элементе.

Технология сращивания ОВ с использованием механических сплайсов получила наибольшее распространение в США, в Европе она пользуется несколько меньшей популярностью [240].

10.4.2. Конструктивные особенности

Сплайс конструктивно выполнен чаще всего в форме пластинки-основания с концевыми направляющими капиллярами и прецизионным юстирующим элементом между ними. Для минимизации френелевских потерь и подавления обратных отражений юстирующий элемент в обязательном порядке заполняют иммерсионным гелем, показатель преломления которого согласован с аналогичным показателем сердцевины соединяемых ОВ. В юстирующий элемент с двух сторон вводят концы сращиваемых волокон, предварительно обработанных скалывателем для получения перпендикулярных торцевых поверхностей. После касания торцов световоды механически фиксируют в рабочем положении, причем элемент фиксации должен обеспечивать усилие удержания не менее 250–500 г. Фиксирующий элемент представляет собой нажимную пружину различной конструкции, удерживаемую в рабочем положении защелкой, цангой, стяжным кольцом и другими аналогичными компонентами.

Юстирующий элемент механического сплайса центрирует сращиваемые ОВ за счет их выравнивания по оболочке. Наиболее популярной формой исполнения этого компонента является V-образная канавка, реже применяется его реализация в виде двух соприкасающихся тонких цилиндрических стерж-

ней, в промежутке между которыми укладываются волокна, см. рис. 160. В качестве юстирующего элемента может использоваться также стеклянный капилляр. Такое решение несколько упрощает конструкцию соединителя и процесс его установки, однако, в принципе, дает более высокое значение потерь.



Рис. 160. Конструкция механического сплайса Unicam

Корпус многих современных механических сплайсов изготавливается из прозрачного пластика, причем область установки юстирующего элемента может быть дополнительно сформирована в виде фокусирующей линзы. За счет этого оператор имеет возможность более эффективно осуществлять визуальный контроль процесса сращивания ОВ.

Установку механического сплайса наиболее удобно выполнять на специализированном монтажном приспособлении. Основными функциональными элементами этого инструмента являются: гнездо для укладки сплайса и два технологических боковых фиксатора световодов, расположенных на расстоянии 5–7 см от направляющих капилляров сплайсов соосно с ними. Наличие фиксаторов позволяет при формировании небольшого изгиба за счет наличия упругости ОВ получить определенное усилие прижатия торцов световодов, введенных в сплайс, что заметно уменьшает вносимое затухание. Фиксаторы могут быть выполнены по «мягкой» схеме в виде двух установленных с небольшим зазором подушек из эластичного материала или в форме двух подпружиненных подающих металлических валиков с накатанной верхней поверхностью и трещоткой для блокировки проворачивания в обратном направлении.

По величине допустимого растягивающего усилия механические сплайсы несколько уступают сварным сросткам. В случае необходимости увеличения этого параметра используется дополнительная фиксация корпуса непосредственно на ОВ. Так, например, в сплайсе типа CamSplice фирмы Corning после обжима кримпирующей трубки на вторичное защитное покрытие величина этого параметра возрастает с 250 до 1500 г [241].

Фиксация корпуса механического сплайса может осуществляться на буферные оболочки первичного и вторичного защитных покрытий. Для реализации этой операции на практике применяются:

- пружинный зажим;
- одноразовый пластиковый фиксатор, выполненный в виде составной части корпуса и срабатывающий под действием специального технологического инструмента (CSL фирмы Avaya);
- кримпирующая трубка (Camsplice фирмы Corning);
- заливка клеем технологических гнезд на корпусе; для уменьшения времени монтажа может применяться клей, отвердевающий под действием УФ излучения;
- механический фиксатор на основе клина, поджимаемого накидной гайкой.

В зависимости от конструкции элемента фиксации буферной оболочки ОВ механические сплайсы иногда дополнительно классифицируют на постоянные (одноразовый фиксатор) или полупостоянные (многократный фиксатор) [242].

Время установки механического сплайса подготовленным оператором обычно не превышает 2–3 мин и включает в себя следующие основные технологические операции:

- установка сплайса в технологическое приспособление (рабочую станцию);
- очистка сращиваемых ОВ от защитных покрытий и обработку их концов в скалывателе;
- ввод ОВ в корпус сплайса;
- получение прижимающего усилия за счет изгиба ОВ;
- фиксация ОВ в рабочем положении в корпусе сплайса.

Масса корпуса сплайса существенно превышает массу отрезка волокна такой же длины. Поэтому собранный сплайс в обязательном порядке фиксируется в организаторе.

Основные технические характеристики некоторых моделей механических сплайсов приведены в табл. 72. Дополнительно отметим, что гарантированный производителями срок службы этого элемента составляет 40 лет и более.

Большинство моделей механических сплайсов предназначены для сращивания одиночных ОВ. Известны также групповые устройства, которые ориентированы для работы в первую очередь с ленточными ОК. Они отличаются от своих аналогов, рассчитанных для соединения пары световодов, только наличием нескольких направляющих элементов. В качестве примера группового механического сплайса укажем на изделие типа FMS-4T компании Fujikura, который обеспечивает одновременное соединение четырех ленточных ОВ. Сплайс Multi-Fibrlock компании 3М позволяет сращивать до 12 волокон обычного или ленточного кабеля.

Таблица 72. Технические характеристики механических сплайсов

Фирма-производитель	Модель	Типовая величина потерь, дБ	Возвратные потери, дБ	Габаритные размеры, мм	Масса, г	Рабочая температура, °С
3М, США	Fibrlok	MM 0,1 SM 0,1	-60	38,1 × 6,4 × 3,8	1,25	-40...+80
ACA, США	ULTRASplice	MM 0,2	-	Ø 4,0 × 57	-	-40...+80
AMP, США	Corelink	MM 0,1 SM 0,1	-55	51 × 7,6 × 3,3	1,5	-40...+80
Commscope, США	CSL SM 0,15	MM 0,15	-50	37,8 × 5 × 5,7	1,0	-40...+85
Corning, США	Campsplice	MM 0,05 SM 0,1	-45	Ø 4,2 × 44	1,5	-40...+80
Fujikura, Япония	FMS-09 FMS-025	SM 0,1	-40	40 × 4 × 4	-	-

Поставка механических сплайсов потребителю осуществляется в упаковках по 6—8 штук в каждой. Такая упаковка имеет несколько разновидностей, но наибольшее распространение получило исполнение в виде пенала из тонкого жесткого пластика с индивидуальными укладочными гнездами. В комплект поставки обычно включается инструкция по монтажу, часто печатаемая непосредственно на корпусе упаковки, а также (при необходимости) дополнительные элементы. Так, например, к упаковке сплайсов Corelink компании Tuso Electronics прилагаются два ключа фиксатора, которые используются в процессе установки.

В тех ситуациях, когда производящая компания выпускает механические сплайсы и иммерсионные разъемы, часто используется принцип частичной унификации как элементной базы, так и технологического оборудования. В качестве примера укажем на одинаковые типы фиксирующих элементов компании 3М, а также на одинаковые запирающие ключи компании AMP.

10.5. Выводы

В процессе строительства волоконно-оптической подсистемы СКС может быть широко использовано технологическое оборудование различных видов, позволяющее выполнить сращивание отдельных строительных длин многомодовых и одномодовых линейных кабелей, а также установку вилок оптических разъемов на их волокна с помощью монтажных шнуров.

Полный цикл работ по сращиванию волокон линейного кабеля между собой, а также с монтажным шнуром при выполнении их квалифицированным персоналом занимает не свыше двух минут. Дальнейшее радикальное уменьшение значения данного параметра в рамках достигнутого уровня техники не представляется возможным, так как указанная величина лимитируется в основном вспомогательными операциями по подготовке световодов к процессу соединения.

Потери в точке сращивания, обеспечиваемые сварочными аппаратами и механическими сылайсами, оказываются существенно ниже величин, задаваемых стандартами СКС на этот параметр. На практике полученный выигрыш обычно используется на увеличение количества промежуточных кроссов или служит просто для увеличения помехоустойчивости передаваемого сигнала.

Решение о выборе сварной или механической технологии сращивания волокон при выполнении инсталляционных процедур должно приниматься системным интегратором преимущественно по критерию годовых объемов монтажных работ в области волоконно-оптической подсистемы.

ГЛАВА 11

ИЗМЕРЕНИЯ В ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЕ СКС

11.1. Общие положения

11.1.1. Назначение и виды измерений

Основной целью измерений является определение состояния комплексных объектов структурированной проводки и отдельных ее компонентов, а также проверка соответствия их параметров требованиям стандартов. Измерения предназначены также для выявления мест повреждений, контроля качества выполнения инсталляционных и ремонтных работ, накопления статистических данных, используемых при разработке мероприятий по повышению надежности как существующих, так и проектируемых СКС.

Измерения проводятся на всех этапах строительства, в процессе сдачи готового объекта заказчику, а также во время эксплуатации проводки, см. табл. 73.

Таблица 73. Разновидности измерений, выполняемых на различных этапах жизненного цикла структурированной проводки

Строительство	Сдача готового объекта	Эксплуатация
Входной контроль Инсталляционные	Приемо-сдаточные Сертификационные	Профилактические Аварийные Контрольные

Входной контроль выполняется перед началом строительных и монтажных работ, связанных с прокладкой и заменой линейного кабеля. В некоторых случаях его проводят в отношении шнуровых изделий различного назначения и оптических разъемов. Комплекс измерений, выполняемых во время монтажа, относится к так называемым инсталляционным измерениям. Основным их назначением является внутренний контроль качества выполнения монтажных работ.

При сдаче структурированной проводки в эксплуатацию осуществляются приемо-сдаточные измерения, объем которых определяется договором между подрядчиком и заказчиком. Очень близкими к ним по сути являются сертификационные измерения, часто выступающие необходимым условием получе-

ния гарантий различных уровней. В последнем случае объем измерений задается производителем СКС исходя из требований стандартов и своих фирменных норм.

Измерения, выполняемые в процессе эксплуатации, предназначены для определения технического состояния кабельной системы, предупреждения повреждений и их устранения. Они делятся на профилактические, аварийные и контрольные.

Основной целью профилактических измерений является проверка технического состояния оптических линий и трактов СКС. Измерения данной разновидности осуществляются по заранее разработанному плану. Достаточно часто они совмещаются с аналогичными измерениями параметров оптических интерфейсов сетевой аппаратуры. Ведущие производители СКС, основываясь на качестве предлагаемой ими продукции и уровне профессиональной квалификации сертифицированных партнеров, не предусматривают в своих фирменных руководствах проведение измерений данной разновидности.

Аварийные измерения являются типичным примером внеплановых измерений. Они выполняются с целью быстрой локализации места и определения характера повреждения элементов оптического тракта.

Контрольные измерения, которые осуществляются после устранения последствий отказов элементной базы и аварий, предназначены для определения качества выполнения ремонтно-восстановительных работ.

В зарубежных нормативных документах принята иная классификация разновидностей измерений. В соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002 в процессе строительства и эксплуатации используется приемо-сдаточное (acceptance testing) и диагностическое (compliance testing) тестирования стационарных линий и трактов на их основе. Разница между этими разновидностями испытаний состоит в том, что приемо-сдаточное тестирование применяется в отношении линий различных видов, собранных на основе элементной базы с известными параметрами. Диагностическое тестирование используется в отношении линий, в состав которых входят элементы с неизвестными параметрами. В лабораторных условиях в отношении модельных конфигураций различных объектов может производиться тестирование на соответствие (reference testing) [243].

11.1.2. Контролируемые параметры

Основные принципы выполнения и объем измерений, осуществляемых на этапах строительства и сертификации структурированной проводки, регламентируются международным стандартом ISO/IEC TR 14763-3 [244]. Согласно этому документу на уровне оптической подсистемы СКС контролируются следующие параметры:

- непрерывность (целостность) ОВ в ОК и стационарных линиях;

- задержка распространения (propagation delay) сигнала в ОК и смонтированных линиях;
- длина ОК функционально законченных элементов оптического тракта (таких как стационарные линии различных видов и шнуровые изделия) между установленными на них элементами разъемов;
- величина затухания сигнала на опорных длинах волн в отдельных компонентах тракта и в смонтированных из них линиях;
- коэффициент обратного отражения.

Стандарт ISO/IEC 11801:2002 вводит разбиение номенклатуры контролируемых параметров на нормативные (N — normative), вычисляемые (C — computed) и информационные (I — informative). В зависимости от вида тестирования некоторые параметры могут относиться к различным группам, см. табл. 74. Из приведенных там данных следует, что единственным вычисляемым параметром является длина. Она определяется на основании измеренного значения задержки распространения и информации о величине показателя преломления сердцевины ОВ, которая предоставляется производителем кабельных изделий.

Таблица 74. Распределение по группам контролируемых параметров оптической подсистемы СКС по ISO/IEC 11801:2002

Контролируемый параметр	Тип тестирования		
	Приемо-сдаточное	Диагностическое	На соответствие
Затухание	N	N	N
Коэффициент широкополосности	—	—	N
Задержка распространения	I	N	N
Длина	C	C	C
Непрерывность и соблюдение полярности	N	N	N

Заданное качество передачи информации по оптическому тракту может быть обеспечено только в случае одновременного выполнения норм по ряду параметров. Наиболее существенными из них являются ограничения по величине затухания и обеспечиваемой полосе пропускания (дисперсии). В случае применения правил монтажа и применения сертифицированной производителем СКС элементной базы величины задержки распространения и длины ОК

связаны с обеими этими характеристиками статистически с очень высокой степенью корреляции.

К чисто механическим характеристикам относятся непрерывность волокон и полярность отдельных компонентов и смонтированных из них линий. Непрерывность гарантируется применением высококачественной элементной базы, соблюдением правил хранения, транспортировки и монтажа шнуровых и кабельных изделий, а в отдельных случаях их входным контролем. Поддержание правильной полярности обеспечивается производителем и системным интегратором за счет реализации ряда мероприятий, рассмотренных в параграфе 1.4.2.

Забота о выполнении нормы по коэффициенту обратного отражения ложится в первую очередь на производителя СКС, который выбирает элементную базу и технологию монтажа, а также обучает партнеров правилам их применения. Кроме того, практика эксплуатации кабельных трактов СКС показывает крайне малую вероятность их использования для поддержки функционирования сетевого оборудования, для которого обратные отражения являются критически важным параметром.

На величину потерь мощности сигнала в тракте передачи, кроме характеристик элементной базы, используемой в процессе построения линейной и коммутационной частей различных подсистем, существенное влияние оказывает субъективный фактор качества выполнения монтажа. С учетом данной особенности инсталляционные и сертификационные измерения в обязательном порядке предусматривают процедуру определения фактической величины затухания смонтированных стационарных линий. Измерения осуществляются на опорных длинах волн, совпадающих с рабочими длинами волн сетевой аппаратуры. В одномодовых линиях тестирование на длине волны 1550 нм, на которой ОК является существенно более критичным к изгибу с недопустимо малым радиусом, дополнительно позволяет проконтролировать качество прокладки кабеля.

В отличие от затухания, частотные (дисперсионные) свойства стационарных линий и трактов СКС практически не зависят от качества выполнения монтажа. Более того, сравнительно небольшие длины этих объектов существенно усложняют процедуру измерения ширины полосы пропускания и величины дисперсии. С учетом этих двух факторов в области обеспечения требуемых параметров в стандартах СКС принята следующая стратегия:

- соблюдение норм по частотным свойствам трактов возлагается на производителя кабельной системы, который гарантирует их параметрами применяемой элементной базы;
- на системного интегратора, который проектирует и реализует кабельную систему, ложится только обязанность выполнения ограничений стандартов по предельным длинам, а также применения только сертифици-

фицированной элементной базы и технологии монтажа, рекомендованной производителем.

Величина затухания, длина ОВ смонтированных линейных ОК и задержка распространения нормируются стандартами в количественной форме и поэтому контролируются инструментально с помощью соответствующего измерительного оборудования. Непрерывность линий и отдельных волокон кабельных изделий часто проверяется обычной просветкой, длина шнуров заимствуется из спецификаций производителя СКС или отдельных компонентов. Кроме того, сама возможность выполнения измерения таких параметров, как затухание и задержка распространения, однозначно свидетельствует о непрерывности волокон.

11.1.3. Объекты тестирования

Основные стандарты СКС содержат в своей нормативной части предельно допустимые численные значения некоторых параметров как отдельных компонентов оптического тракта, так и собранных из них комплексных объектов. В процессе проведения измерений выполняется проверка соответствия фактических значений нормируемых характеристик требованиям нормативных документов.

11.1.3.1. Комплексные объекты

Стационарная линия (permanent link) включает в себя линейный кабель и всю непосредственно взаимодействующую с ним арматуру (муфты, ОР, неразъемные оптические соединители и т. д.), кроме оконечных и промежуточных коммутационных шнуров. Она представляет собой технический объект, конфигурация которого не меняется в процессе эксплуатации. Тестирование оптических характеристик стационарных линий осуществляется на этапе приемо-сдаточных испытаний кабельной системы, а также в случае проблем со связью в процессе эксплуатации.

В первом из перечисленных выше случаев осуществляется 100%-ное тестирование отдельных волокон или их пар всех инсталлированных кабелей.

Тракт, или канал (channel), волоконно-оптической подсистемы СКС образуется на основе одной или нескольких стационарных волоконно-оптических линий с оконечными соединительными и, в случае составных трактов в смысле определения параграфа 1.2.3, промежуточными коммутационными шнурами. Оптические параметры этого комплексного объекта характеризуют его качество от разъема до разъема сетевого оборудования. Тестирование тракта проводится в случае проблем со связью на этапе эксплуатации.

Для комплексных объектов в процессе приемо-сдаточного тестирования должен быть выполнен комплекс измерений параметров, перечисленных в табл. 74.

Тракт образуется на основе одной или нескольких стационарных линий, содержит соответствующее количество коммутационных шнуров и в обязательном порядке включает в себя два оконечных шнура. Простой тракт не содержит промежуточных коммутационных шнуров. Линейные ОК различных подсистем, а также ОР и неразъемные соединители различных видов организационно относятся к стационарной линии. Длина оконечных шнуров на практике в подавляющем большинстве случаев составляет 3—5 м. С учетом ограничений, введенных в параграфе 1.3.1, затухание в кабелях шнуров в данном случае может считаться пренебрежимо малым по сравнению с затуханием в линейной части тракта. Таким образом, как объект тестирования стационарная линия и простой тракт, реализованный на ее основе, являются эквивалентными. В отличие от простого и составного трактов стационарная линия не меняет своей конфигурации в процессе эксплуатации кабельной системы. С учетом этих двух соображений в качестве основного комплексного объекта измерений на уровне оптической подсистемы СКС в процессе выполнения приемо-сдаточных и сертификационных испытаний целесообразно принять стационарную линию.

Необходимость тестирования составных трактов на уровне измерения затухания возможна только в процессе эксплуатации структурированной проводки в тех случаях, когда расчетное затухание превышает допустимое значение для интерфейса конкретного приложения. В данном случае играет свою роль то, что фактические величины затухания в отдельных компонентах оптического тракта являются заметно меньшими по сравнению с требованиями стандартов. Получаемый за счет этого выигрыш расходуется на увеличение количества промежуточных кроссов, на введение дополнительных неразъемных соединителей в пределах стационарных линий и т. д. Некоторые производители СКС применяют в кабельной продукции ОВ с улучшенными частотными свойствами. В данной ситуации имеющиеся запасы по затуханию могут быть направлены на увеличение протяженности тракта сверх значений, установленных стандартами.

11.1.3.2. Компоненты оптической подсистемы

На уровне отдельных компонентов оптической подсистемы объектами тестирования являются кабели и различные соединители ОВ.

Требования стандартов СКС к оптическим характеристикам световодов **кабелей** содержатся в параграфе 4.1.2. Тестирование ОК выполняется непосредственно на катушках или барабанах на этапе входного контроля перед началом прокладки. При этом в соответствии с табл. 74 проверяются непрерывность ОВ и величина затухания. В зависимости от трудоемкости выполнения инсталляционных работ тестирование может быть выборочным или полным. Для ОК, прокладываемых внутри зданий, можно применять выборочный контроль, для кабелей внешней прокладки стандартом ISO/IEC TR 14763-3 нормируется 100%-ный входной контроль всех волокон.

Требования стандартов к затуханию **оптических разъемов** приведены в разделе 5.2. Контроль уровня затухания установленного ОР на практике осуществляется преимущественно в процессе поиска причин появления повышенных потерь в тракте передачи.

Необходимость контроля параметров **неразъемных соединителей** возникает в случае формирования линейной части тракта из нескольких строительных длин, а также при применении технологии оконцевания ОВ линейного кабеля, основанной на использовании монтажных шнуров. Внутри зданий необязательно контролировать уровень затухания, создаваемого каждым установленным соединителем волокон. Считается, что выполнение норм стандартов обеспечивается соблюдением технологии монтажа. Затухание соединителей, устанавливаемых во внешних проходных и разветвительных муфтах, необходимо контролировать сразу после их монтажа перед герметизацией муфт. В независимости от способа получения неразъемного соединения и типа волокна величина потерь в нем не должна превышать 0,3 дБ.

Действующие редакции нормативно-технических документов предусматривают контроль только общей величины потерь, который осуществляется в процессе приемо-сдаточных и сертификационных испытаний. Более того, технические возможности тестирующего оборудования, имеющегося в распоряжении основной массы системных интеграторов, позволяют осуществить лишь достаточно приближенную оценку потерь в таких точечных компонентах тракта (ОР и неразъемный соединитель). Поэтому необходимость в определении затухания отдельных компонентов оптического тракта возникает на практике только в процессе поиска неисправностей.

11.1.4. Оптические измерительные приборы и области их применения в СКС

В процессе строительства, сертификации и эксплуатации оптической подсистемы структурированной проводки, а также при проведении ремонтно-восстановительных работ применяется обширная номенклатура самого разнообразного измерительного и тестирующего оборудования. Полную совокупность этих устройств можно разбить на три основные группы: измерители оптических потерь, рефлектометры и устройства визуального контроля, см. рис. 161. Кроме этого, на практике находит применение достаточно большое количество измерительных и контрольных устройств других разновидностей, которые в большем или меньшем объеме выполняют отдельные функции перечисленных выше приборов.

К оптическим измерительным приборам, которые используются при определении фактических параметров отдельных компонентов и смонтированных из них линий различных видов, предъявляется комплекс следующих требований:

- доступность широкому кругу пользователей по простоте и удобству эксплуатации, а также по цене;
- наличие достаточно яркого и высококонтрастного дисплея, позволяющего работать как в нормальных условиях, так и при недостаточной освещенности;
- высокий динамический диапазон;
- возможность сохранения результатов измерений во внутренней памяти прибора и простота их считывания оттуда (например, через интерфейсы V.24 или USB) для формирования отчета стандартизированной формы;
- возможность измерений на опорных длинах волн одномодовых и многомодовых ОК.

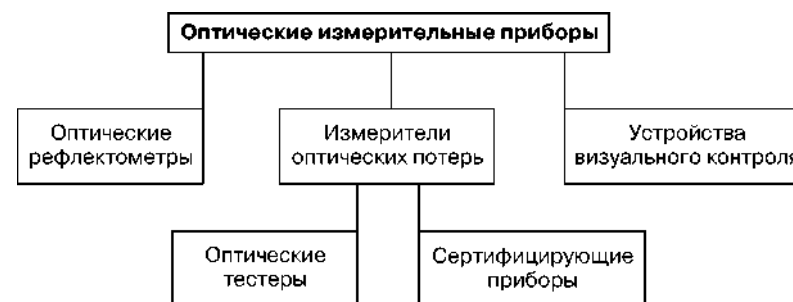


Рис. 161. Основные оптические измерительные приборы для применения в процессе строительства, сертификации и эксплуатации СКС

Основными разновидностями измерительного оборудования, применяемого в процессе строительства, сертификации и эксплуатации оптических подсистем СКС, являются различные варианты измерителей оптических потерь и рефлектометров. Оба вида приборов интегрально или поэлементно контролируют целостность цепей распространения сигнала, величину затухания на рабочих длинах волн сетевой аппаратуры и некоторые другие параметры. Из результатов измерений при наличии соответствующих аппаратных и программных средств могут быть получены такие характеристики, как общая длина тракта, величина задержки сигнала, значение удельных потерь на рабочих длинах волн сетевой аппаратуры и т. д. Рефлектометр чаще используется в процессе строительства и во время проведения аварийных измерений для поиска обрывов и выявления внутренних дефектов отдельных ОВ. С учетом в первую очередь значительной стоимости данного вида измерительного оборудования на современном этапе развития техники действующие редакции нормативных документов и известные рекомендации рассматривают его применение как опцию [245]. Изме-

ритель оптических потерь привлекается для тестирования преимущественно после завершения строительства и выполнения контрольных замеров рефлектометром, а также в процессе производства регламентных работ. Полученные с его помощью результаты являются достаточными для сертификации, так как показывают фактические значения затухания «от разъема до разъема».

В параграфе 11.1.2 было обосновано, что основным контролируемым параметром отдельных компонентов оптического тракта СКС и собранных из них линий различных видов является затухание. В правильно спроектированной кабельной системе, для монтажа которой использованы сертифицированные производителем СКС компоненты и применены рекомендованные им технологии, выполнение ограничений стандартов на этот параметр представляет собой необходимое условие обеспечения функционирования сетевой аппаратуры. В качестве достаточного условия можно считать выполнение ограничений и требований стандартов по остальным параметрам, приведенным в табл. 74. В соответствии с этим измерители оптических потерь, ориентированные на работу со структурированной проводкой, можно дополнительно разделить на приборы для верификации и сертификации. Приборы для верификации, часто обозначаемые в зарубежной технической литературе как оптические тестеры (в англ. транскрипции OLST — Optical Loss Test Set), работают с сокращенным перечнем параметров, в список которых, однако, в обязательном порядке входит затухание. Оборудование второй группы, известное как Advanced OLST или CTS (Certifying Test Set), измеряет и рассчитывает всю совокупность параметров из табл. 74.

Основным назначением устройств визуального контроля является проверка непрерывности волокон и состояния отдельных элементов ОР. Определения непрерывности ОВ согласно стандарту ISO/IEC TR 14763-3 допускается осуществлять методом просветки подходящим для этого источником света, функции которого может выполнять специализированный визуализатор дефектов. Дополнительно эти приборы позволяют убедиться в правильности подключения отдельных ОВ линейных кабелей к розеткам ОР коммутационного устройства, а также правильность разводки световодов в дуплексных шнурах. Приборы визуального контроля состояния ОР в явном виде не упоминаются в действующих редакциях основных нормативных документов СКС. Тем не менее необходимость их применения следует не только из принципов работы с оптической элементной базой, но и из содержащегося в стандарте ISO/IEC TR 14763-3 требования об очистке элементов ОР.

Все тестирующее оборудование подсоединяется к контролируемому тракту, стационарной линии, отдельному оконцованному изделию или к кабелю в соответствии с инструкциями производителя. При этом допускается

подключение как с помощью адаптеров быстрого оконцевания или устройств оперативного подключения без конкретизации их формы, так и с помощью тестового шнура опять же без жестко установленного метода соединения. Измерения численных значений параметров осуществляются на опорных длинах волн. Длина кабеля, стационарных линий и трактов, собранных на их основе, определяется расчетным путем по величине задержки распространения с использованием в качестве параметра величины показателя преломления сердцевины, заимствованной из спецификации изготовителя ОК или ОВ.

СКС в подавляющем большинстве случаев непосредственно не подключается к сети связи общего пользования, а формируемые на основе структурированной проводки тракты передачи информационного сигнала не используются владельцем системы для оказания услуг оператора связи. С учетом этого обстоятельства измерительные приборы, перечисленные выше, не подлежат обязательной поверке с выдачей соответствующего сертификата Госстандарта России и внесения в Госреестр. Периодичность фирменной поверки устанавливается производителем тестирующего оборудования и в большинстве случаев составляет 12 месяцев [246].

11.1.5. Принципы выполнения измерений затухания оптических линий и компонентов СКС

В соответствии с отечественным ГОСТ 26814-86 и международным стандартом IEC 60793-1-40 [247] на практике находят применение следующие разновидности методов измерения затухания: вносимых потерь, обрыва и обратного рассеяния.

Стандарт ISO/IEC TR 14763-3 предусматривает определение затухания с помощью измерителя оптических потерь, который позволяет реализовать методы вносимого затухания и обрыва. Этот нормативный документ не исключает возможности использования для выполнения данной операции оптического рефлектометра, хотя из-за высокой стоимости этого тестирующего оборудования широкого распространения в практике построения СКС рефлектометрический метод пока не получил. В тех ситуациях, когда указанные варианты методов измерений дают различные результаты, стандарт TIA-526-7 [248] рекомендует руководствоваться значениями, полученными с помощью измерителя оптических потерь. Таким образом, в терминологии технического бюллетеня TSB-140 [249] результаты измерений затухания рефлектометром не должны заменять результатов, полученных с помощью оптического тестера.

Основные принципы измерения затухания в отдельных компонентах и в смонтированных из них линиях передачи оптического сигнала в области

сетей связи общего пользования и СКС совпадают. Имеющиеся отличия обусловлены двумя основными особенностями области использования:

- небольшой длиной линий, протяженность которых в основной своей массе не превышает нескольких сотен метров, а в пределе ограничивается стандартами величиной 2000 м;
- значительными объемами применения многомодовой техники.

В процессе выбора метода измерений всегда учитывается определение границ контролируемого объекта с точки зрения стандартов СКС. Так, в частности, оконечные вилки шнуров, с помощью которых осуществляется подключение к трактам СКС активного сетевого оборудования, не являются частью структурированной проводки. Поэтому при работе с оптическими трактами любая схема измерения строится таким образом, чтобы исключить влияние вносимого ими затухания на получаемые результаты. Напротив, оконечные разъемы стационарной линии являются ее неотъемлемой составной частью и обязательно должны учитываться в процессе построения схемы измерений.

Американский стандарт TIA/EIA-568-B.1 определяет, что измерение затухания на уровне горизонтальной и магистральных подсистем, а также централизованных оптических архитектур производится только в одном направлении. При этом измерения на уровне горизонтальной подсистемы осуществляются на одной из рабочих длин волн сетевого оборудования (на выбор 850 или 1300 нм для многомодовых трактов).

Международный стандарт ISO/IEC TR 14763-3 предъявляет к процессу измерений несколько более жесткие требования. Для так называемых простых линий, то есть когда в состав тестируемого тракта, кроме волокон линейного кабеля и шнуров, входит не более чем по одному ОР на каждом конце, допускается выполнять измерение затухания только в одном направлении. В тех ситуациях, когда тестируемый объект включает в себя более двух ОР или содержит хотя бы один механический сплайс или сварной сращок, рекомендуется производить измерения затухания в обоих направлениях. Такой подход позволяет эффективно выявить некоторые часто встречающиеся на практике систематические погрешности. К ним относятся ошибки монтажа (например, когда к многомодовому ОВ по тем или иным причинам подключается одномодовый монтажный шнур), а также разность чувствительности фотоприемников измерителей оптической мощности, расположенных с разных сторон линии.

В процессе измерения затухания многомодовых трактов передачи сигнала и отдельных их компонентов необходимо применять специальные технические решения по созданию заранее заданного модового состава излучения. Основной целью этих мер, рассмотренных в параграфе 11.2.7, является достижение стабильности и воспроизводимости получаемых результатов.

Перед проведением измерений рабочие элементы ОР (боковая и особенно торцевая поверхность наконечника вилки) шнуров тестирующего оборудования, а также, по возможности, входная часть центратора розетки должны быть очищены безворсовой салфеткой, смоченной 99%-ным изопропиловым спиртом [250], и тщательно высушены. Для ускорения процесса сушки рекомендуется применять обдув вилок сжатым газом. Качество очистки контролируется визуально с помощью микроскопа.

Очистка элементов ОР, являющихся составной частью объекта измерений, в соответствии со стандартом ISO/IEC TR 14763-3 осуществляется согласно рекомендациям их производителя. Этот же нормативный документ не рекомендует использовать в разъемах иммерсионные жидкости или гели.

11.1.6. Документирование результатов измерений

Основным документом, фиксирующим результаты тестирования, является протокол измерений. Протокол подписывается специалистами, проводившими измерения, и в необходимых случаях утверждается заказчиком и исполнителем. Содержательная часть этого документа применительно к СКС нормируется бюллетенем TSB-140 и в определенных пределах зависит от того, каким оборудованием осуществляется тестирование.

В тех ситуациях, когда измерения производятся оптическим тестером, в протокол рекомендуется включать следующие данные:

- дату проведения измерений;
- персональные данные специалистов, выполнявших измерения;
- основные параметры оборудования, использованного для измерений, в том числе категорию CPR источника излучения при работе с многомодовыми линиями, марку и заводской номер тестера;
- дату поверки измерительного прибора;
- тип и длину тестовых шнуров;
- идентификатор тестируемого волокна (с привязкой к проектной документации);
- метод измерений, включая данные по диаметру катушки модового фильтра и количеству витков шнура на ней;
- длину трассы с ее номером и/или условным обозначением;
- величины измеренных затуханий с указанием длины волны и направления измерения.

Протокол измерений с помощью рефлектометра составляется по аналогичной форме и содержит дополнительные данные по распределению затухания по длине линии с отдельным описанием зарегистрированных событий (неоднородностей). Для каждого события обязательно указывается величина затухания и обратного отражения. Дополнительно в соответствии с требова-

ниями стандарта ISO/IEC TR 14763-3 при рефлектометрических измерениях в документе приводится величина задержки сигнала.

Протокол рекомендуется формировать и хранить в электронном виде с возможностью загрузки и чтения на РС-совместимом ПК.

11.2. Определение затухания с помощью измерителей оптических потерь

11.2.1. Общие положения

Фактическая величина затухания на длине волны λ , которое создается различными разновидностями волоконно-оптических трактов и линий передачи сигналов, а также отдельными их компонентами, в соответствии с классическим определением этого параметра находится как

$$a = 10 \lg P_0(\lambda) / P_L(\lambda) \text{ дБ}, \quad (38)$$

где $P_0(\lambda)$ — мощность оптического сигнала на входе тестируемого объекта, а $P_L(\lambda)$ — его мощность на выходе.

Таким образом, в процессе работы предполагается сравнение мощности (уровня) оптического сигнала на входе и выходе ОК или ОВ.

Измерение мощности $P_L(\lambda)$ оптического сигнала на выходе при характерных для современных ОВ величинах числовой апертуры технических сложностей не вызывает. Это обусловлено тем, что размеры светочувствительной площадки ФД фотоприемника намного превышают диаметр сердцевины как многомодового, так и тем более одномодового световода. В отличие от этого определение мощности $P_0(\lambda)$ является не столь простой процедурой. Причина такого положения дел заключается в достаточно сильной зависимости данного параметра от условий ввода излучения в волокно (качество обработки торцевой поверхности, точность юстировки излучателя и его апертурные характеристики). Свой вклад вносят также процессы изменения модового состава оптического сигнала в многомодовом ОВ и некоторые другие эффекты. Задача определения опорного или реперного (reference) значения $P_0(\lambda)$ может быть решена различными способами, каждому из которых соответствует свой метод измерения.

Любой метод, реализуемый с помощью измерителя оптических потерь в классической форме своего исполнения, осуществляется по трехшаговой схеме. На первых двух шагах инструментальными средствами определяется одна из характеристик $P_0(\lambda)$ и $P_L(\lambda)$. Затем по формуле 38 производится расчет фактической величины затухания.

Для увеличения воспроизводимости результатов и достижения приемлемого уровня точности при любом варианте реализации метода измерений:

- отключение тестового шнура от источника излучения не производится (существуют немногочисленные исключения из этого правила, относя-

щиеся к измерителям с фиксированным оптическим интерфейсом [251], не поддерживаемые основной массой производителей СКС);

- при работе с многомодовыми объектами в тестовый шнур, подключенный к источнику излучения, включается катушка смесителя мод, (рис. 162).

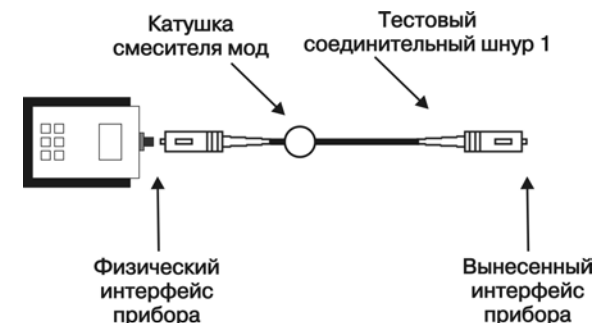


Рис. 162. Принцип вынесенного интерфейса

В сетях с многоуровневой оптической подсистемой излучатель оптического тестера в процессе выполнения тестирования по методу вносимых потерь в его канонической форме после определения опорного значения оставляется в техническом помещении более высокого уровня. Измеритель оптической мощности в этом случае играет роль «мобильного» устройства и переносится из одного технического помещения более низкого уровня в другое. Такой прием позволяет уменьшить уровень механических воздействий на соединительный шнур и ОР излучателя и минимизировать за счет этого «уход» значения $P_0(\lambda)$ [252].

11.2.2. Принцип вынесенного интерфейса

Оптический интерфейс измерительного прибора, используемого для определения затухания, может быть выполнен по фланцевой и шнуровой схеме. В силу целого ряда соображений на практике в приборах для полевого тестирования используется реализация механической части этого компонента оборудования по фланцевой схеме в виде гнезда ОР. Данная особенность дает возможность широко применять в процессе определения численного значения параметра $P_0(\lambda)$ так называемый принцип вынесенного интерфейса (эквивалентного источника). Суть этого приема состоит в том, что измерение $P_0(\lambda)$ выполняется не на разъеме источника, а в некоторой промежуточной точке цепи распространения тестового оптического сигнала, см. рис. 162.

Разнос в пространстве вынесенного интерфейса и разъема источника, который достигается при использовании рассматриваемого принципа, позволяет получить ряд эксплуатационных и технических преимуществ:

- легко решается задача устранения влияния на точность определения опорного значения $P_0(\lambda)$ таких факторов, как неопределенность апертурных характеристик излучателя, отличие модового состава испытательного сигнала, генерируемого источником, от равновесного (в случае работы с многомодовыми объектами) и т. д.;
- переход с одного типа ОР на другой достигается простой заменой одного соединительного шнура на другой;
- обеспечивается эффективная защита розеточной части разъема источника измерительного прибора от износа и эксплуатационных механических повреждений;
- процедура определения затухания становится более удобной в реализации.

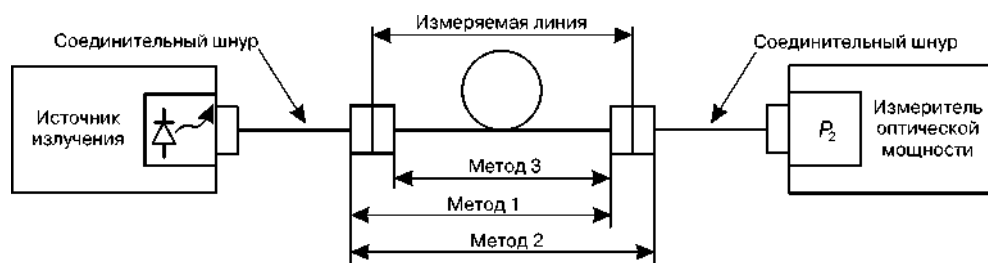


Рис. 163. Границы объекта измерений (измеряемой линии) при использовании различных вариантов метода вносимых потерь (стандарт IEC 61280-4-1, многомодовые тракты)

Сама схема измерения с использованием принципа вынесенного интерфейса на практике допускает самые разнообразные разновидности реализации. При этом естественным образом наиболее предпочтительным будет являться случай совпадения точки расположения вынесенного интерфейса прибора и физического интерфейса контролируемого объекта.

11.2.3. Метод вносимых потерь и его канонические разновидности

Метод вносимых потерь (insertion loss method) применяется преимущественно для определения затухания сигнала в оптических трактах, стационарных линиях, шнуровых и других оконцованных кабельных изделиях (cable plant). С точки зрения последовательности выполняемых процедур метод можно

охарактеризовать как прямой, то есть сначала определяется величина $P_0(\lambda)$, а затем $P_L(\lambda)$.

Нормативные документы, регламентирующие различные аспекты построения и эксплуатации линий оптической связи применительно к измерению затухания смонтированных линий и различных кабельных изделий, предусматривают три разновидности метода вносимых потерь. При этом для их обозначения используются различные наименования, см. табл. 75. Основным отличительным признаком конкретной разновидности является количество тестовых шнуров, используемых в процессе определения опорного значения $P_0(\lambda)$ оптической мощности [253].

В процессе реализации любой разновидности метода на первом шаге источник излучения соединяется одним или несколькими тестовыми шнурами (reference fiber) с измерителем оптической мощности, см. рис. 164а — в. Зафиксированная им величина после ее округления до одного знака после запятой принимается за $P_0(\lambda)$. На втором шаге созданная цепь передачи тестового сигнала разрывается в одном из разъемов и в место разрыва включается объект измерений, см. рис. 165. Показания измерителя оптической мощности, фиксируемые опять же с точностью 0,1 дБ, принимаются за $P_L(\lambda)$.

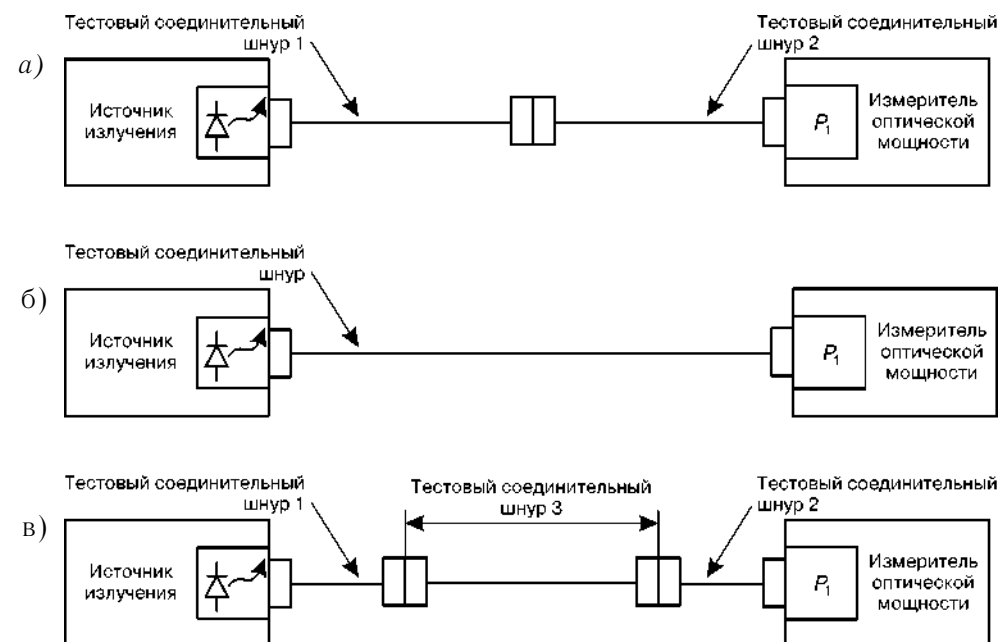


Рис. 164. Измерение величины $P_0(\lambda)$ при реализации различных вариантов метода вносимых потерь по IEC 61280-4-1: а) метод 1; б) метод 2; в) метод 3

Таблица 75. Соответствие между обозначениями различных методов измерения затухания

Стандарт	TIA/EIA-526-14A	TIA/EIA-526-7	IEC 61280-4-1	IEC 61280-4-2	Особенности метода
Тип волокна	Многомодовое	Одномодовое	Многомодовое	Одномодовое	
Метод двух тестовых шнуров	Метод А	Метод А2	Метод 1	Метод А2	Дополнительно измеряются потери в одном разъеме
Метод одного тестового шнура	Метод В	Метод А1	Метод 2	Метод А1	Дополнительно измеряются потери в двух разъемах
Метод трех тестовых шнуров только	Метод С	Метод А3	Метод 3	Метод А3	Измерение затухания в кабельном изделии



Рис. 165. Измерение величины $P_L(\lambda)$ при реализации группы методов вносимого затухания по IEC 61280-4-1

В тех ситуациях, когда приемник измерителя работает в режиме определения уровня оптического сигнала, процедура измерений несколько упрощается. В этом случае после завершения первого этапа осуществляется обнуление индикатора. За счет этого его показания на втором этапе численно непосредственно равны уровню потерь с обратным знаком¹.

Полную совокупность объектов, затухание которых определяется с помощью измерителя, можно разбить на три группы. В качестве основного критерия отнесения конкретного объекта к определенной группе может быть использовано количество концевых панелей², к которым осуществляется непосредственное подключение шнуров источника и фотоприемника измерителя [254]. Другим эквивалентным вариантом классификации объектов измерений является возможность их непосредственного подключения к источнику и приемнику измерителя без применения дополнительного шнура. При этом тип элемента, используемого для выполнения данной процедуры, не имеет значения. Его функции могут выполнять штатная вилка ОР, монтажный шнур, присоединенный к ОВ сваркой или механическим сплайсом, адаптер на обнаженное волокно и устройство оперативного подключения.

В силу целого ряда соображений интерфейсная часть источника и измерителя оптической мощности реализуется практически исключительно на основе приборного варианта розетки ОР. Поэтому в процессе работы с данной разновидностью оборудования на этапе определения опорного значения $P_0(\lambda)$ всегда используются тестовые шнуры. В зависимости от количества тестовых шнуров, применяемых для выполнения данной операции, происходит изменение границ объекта измерения, см. рис. 163. Соответственно, выбор конкретного варианта метода вносимых потерь задается конфигурацией контролируемого объекта, см. табл. 76.

¹ Именно эта особенность современных измерителей оптических потерь фактически диктует необходимость применения прямой схемы построения измерений. Использование обратной схемы (сначала определяется $P_L(1)$, а затем $P_0(1)$), нормированное ГОСТ 26814-86, вероятно, из соображений получения единообразия с описанным в этом же стандарте методом обрыва (см. параграф 11.2.5), имеет смысл только для аналоговых приборов без памяти и не отвечает современному уровню техники.

² Функции концевых панелей может выполнять любой компонент, имеющий так называемую фланцевую форму (исполнение в виде розетки разъема) реализации механической части оптического интерфейса.

В главе 1 было показано, что основным комплексным объектом оптической подсистемы СКС целесообразно считать стационарную линию. Потери в стационарной линии как объекте измерений, который имеет на концах два фланцевых элемента, должны измеряться по методу одного тестового шнура. Данное положение введено в явном виде в нормативно-технические документы. Так, стандарт ISO/IEC TR 14763-3 рекомендует использовать в процессе определения затухания в случае работы с многомодовыми линиями метод 2 по IEC 61280-4-1 [255] и метод A1 по IEC 61280-4-2 [256] при реализации стационарной линии на одномодовой элементной базе.

Таблица 76. Основные области применения различных вариантов метода вносимых потерь

Метод	Количество концевых панелей	Основные объекты измерения	Обозначение по IEC 61280-4-1
Одного тестового шнура	Две	Стационарная линия Составной тракт/ без оконечных шнуров	Метод 2
Двух тестовых шнуров	Одна	Панели отображения со шнурами в схемах cross-connect/ Односторонние претерминированные полки. Кассеты со шнуровым интерфейсом	Метод 1
Трех тестовых шнуров	Отсутствуют	Шнуровые изделия. Претерминированные сборки. Неоконцованные линейные кабели. Полный простой и составной тракт	Метод 3

Сравнение рис. 160 и рис. 01616 показывает, что для определения величины $P_L(\lambda)$ при использовании метода 2 применяется тестовый шнур, который не участвует в процессе задания опорного значения $P_0(\lambda)$. Появление в цепи передачи испытательного сигнала данного компонента не увеличивает ошибку измерения при соблюдении правила запрета отключения тестового шнура от источника излучения. Это обусловлено тем, что объект измерения при реализации метода 2 включает в себя оба оконечных ОР, а потери испытательного сигнала во втором тестовом шнуре даже максимально допустимой длины могут считаться пренебрежимо малыми. Точно такое же положение действует в отношении разъема измерителя оптической мощности.

Кроме стационарных линий, на практике производится определение величины затухания в шнуровых изделиях различного назначения, а также в простых и составных трактах. С точки зрения построения процедуры измерений характерным отличительным признаком данных объектов является штыревая форма исполнения их оптического интерфейса. С учетом этого обстоятельства для измерения величины затухания должен привлекаться метод трех тестовых шнуров. Данное положение в явном виде введено в проект европейского стандарта prEN 50346:2001 [257].

11.2.4. Метод сопряжения волокон

Метод сопряжения волокон представляет собой одну из разновидностей метода вносимых потерь и применяется для измерения затухания многоволоконных кабелей. В процессе его выполнения определение параметра $P_0(\lambda)$ и мощности излучения на выходе ОВ осуществляется обычным образом и особенностей не имеет. Однако за счет специальной организации процедуры измерений не требуется разносить источник тестового сигнала и фотоприемник измерителя по разным сторонам тестируемой линии [258].

Суть технического приема, используемого в процессе выполнения метода, состоит в передаче сигнала $P_L(\lambda)$ с дальнего конца измеряемого ОВ обратно на передающий конец по дополнительному световоду. Таким образом, в данном случае измерения осуществляются «по шлейфу», причем на втором шаге измеритель фиксирует не $P_L(\lambda)$, а некоторую величину $P'_L(\lambda) = P_L(\lambda) + A'$, где A' – затухание в обратном волокне шлейфа. Для устранения неопределенности получаемого результата, которая связана с отсутствием информации о величине параметра A' , всегда привлекаются еще два дополнительных ОВ. Таким образом, полный цикл тестирования включает в себя три измерения соединенных по шлейфу световодов (тестируемое с каждым реверсивным и реверсивные друг с другом).

Обработка полученных данных осуществляется следующим образом. Обозначим через Abc величину затухания шлейфа, образованного волокнами с номерами b и c . Необходимым условием получения точных результатов является выполнение предположений о том, что:

- измеритель мощности обладает достаточно высоким уровнем линейности амплитудной характеристики;
- потери в элементе, с помощью которого формируется шлейф из двух ОВ, пренебрежимо малы по сравнению с потерями в отдельно взятых волокнах b и c .

Математически последнее утверждение эквивалентно тому, что для указанного случая справедливо соотношение $Abc = Ab + Ac$.

Для шлейфов, образованных волокнами с номерами X , Y и Z , в результате проведенных измерений инструментальными средствами получаем три значе-

ния величин потерь AXY , AYZ и AXZ . По ним удвоенная величина фактических потерь в волокне с номером X находится в результате несложной математической выкладки следующим образом:

$$AXY - AYZ + AXZ = (AX + AY) - (AY + AZ) + (AX + AZ) = 2AX.$$

Точно таким же образом по результатам предварительных измерений вычисляются значения потерь в волокнах Y и Z .

Метод обеспечивает наибольшую эффективность при работе с линиями большой протяженности, когда из-за значительного пространственного разности возникают проблемы с установкой опорного значения на приемном блоке измерителя оптических потерь. Основной областью применения метода в СКС может считаться определение затухания линий подсистемы внешних магистралей при проведении измерений с помощью оптического тестера.

11.2.5. Метод обрыва

Суть метода обрыва (Cut back)¹ состоит в сравнении значений мощности тестового оптического сигнала, измеренного на выходе длинного и короткого отрезков ОВ. Короткий отрезок волокна отламывают от длинного после первого шага измерений. В данном случае реализуется в отличие от большинства других методов «обратная» схема построения процедуры тестирования: сначала выполняется определение мощности $P_L(\lambda)$ выходного сигнала, а только потом осуществляется измерение опорного значения $P_0(\lambda)$ [259].

Практически процесс измерения по методу обрыва обычно осуществляется следующим образом. Тестируемый кабель выдерживают в нормальных климатических условиях на протяжении не менее 3 ч. Затем его концы освобождают от защитных покрытий (входной конец на длине не менее 1 м, выходной конец на длине не менее 0,5 м. ОВ зачищают на длине примерно 30–50 мм и обрабатывают в скалывателе для получения ровной перпендикулярной оси торцевой поверхности. После этого любым подходящим способом (адаптером на обнаженное волокно, с помощью механического сплайса и т. д.) их подключают к источнику излучения и измерителю оптической мощности². Мощность, фиксируемую измерителем, принимают за $P_L(\lambda)$.

На втором шаге, не отключая тестируемое ОВ от источника излучения, его обламывают на расстоянии 1,5–2 м от точки ввода. После зачистки образовавшегося конца, обработки в скалывателе и армирования вилкой ОР, которую принимают за вынесенный интерфейс источника излучения, вновь осу-

ществляют подключение к измерителю оптической мощности. Его показания на этот раз принимают за $P_0(\lambda)$. Для уменьшения погрешности процесс измерений на втором этапе повторяют несколько раз, принимая за $P_0(\lambda)$ среднее из полученных значений. Длину скола вновь выбирают равной примерно 3–5 см.

Метод дает более точные результаты по сравнению с методом вносимого затухания, однако требует обязательного физического разрушения тестируемого ОВ и с учетом этой особенности используется преимущественно в процессе производства ОК. В полевых условиях его применяют практически исключительно во время входного контроля неоконцованных линейных кабелей [260].

11.2.6. Дополнительные требования к измерителю оптических потерь

Измерение затухания в случае использования методов обрыва и вносимых потерь основано на применении источника излучения и измерителя оптической мощности. Общие требования к оборудованию данной разновидности изложены в параграфе 11.1.4. Далее рассмотрены некоторые дополнительные требования к этим приборам, необходимость выполнения которых обусловлена особенностями реализации процедур применяемых методов.

Источник излучения, который используется в процессе работы с многомодовыми компонентами и линиями различных видов, согласно стандарту IEC 61280-4-1 должен иметь спектральные характеристики, приведенные в табл. 79. Ряд специалистов высказывают мнение о том, что в этом случае при возможности выбора светодиодный источник обеспечивает заметный выигрыш по параметру воспроизводимости получаемых результатов [261].

В сетевых интерфейсах могут применяться источники излучения, которые по-разному возбуждают ОВ (СД, VCSEL-лазеры, лазеры Фабри-Перо, см. параграф 2.1.5). Для увеличения точности определения затухания характеристики излучателей интерфейсов и измерителей должны соответствовать друг другу. В рамках реализации данного подхода стандарты IEC 61280-4-1 и TIA-526-14-A [262] предусматривают деление источников излучения по категориям CPR (coupled power ratio).

Процедура определения параметра CPR осуществляется по схеме рис. 166 следующим образом. К источнику излучения подключают многомодовый тестовый шнур длиной 1–5 м и с помощью измерителя фиксируют мощность P_m на его выходе. Затем отключают вилку многомодового шнура от измерителя оптической мощности и подключают к освободившейся розетке вилку одномодового шнура такой же длины. Свободные концы шнуров соединяют в розетке и фиксируют мощность P_s оптического сигнала. Параметр CPR рассчитывается как $CPR = 10 \lg(P_m/P_s)$ с точностью 0,1 дБ. Категория CPR источника находится по рассчитанной величине параметра с привлечением табл. 77.

¹ Иногда употребляется его обозначение как метода среза.

² Для выполнения данной операции на практике наиболее часто используют адаптеры на обнаженное волокно или устройство оперативного подключения. Точность измерений может быть повышена за счет применения шнуров, соединяемых с тестируемым ОВ сваркой или с помощью механических сплайсов.

Таблица 77. Категории CPR источников излучения измерителей оптических потерь

Тип волокна	Категория 1	Категория 2	Категория 3	Категория 4	Категория 5
			Длина волны 850 нм		
50/125	20–24	16–19,9	11–15,9	6–10,9	0–5,9
62,5/125	25–29	21–24,9	14–20,9	7–13,0	0–6,9
			Длина волны 1300 нм		
50/125	16–20	12–15,9	8–11,9	4–7,9	0–3,9
62,5/125	21–25	17–20,9	12–16,9	7–11,9	0–6,9

Считается, что источник категории 1 возбуждает волокно с переполнением, тогда как при использовании источника категории 5 волокно работает в маломодовом режиме.

Таким образом, при работе с многомодовыми трактами, предназначенными для обеспечения работоспособности низко- и среднескоростных приложений, предпочтительным является применение излучателей категории 1. В тех ситуациях, когда оптическая часть структурированной проводки поддерживает функционирование интерфейсов с гигабитными и мультигигабитными скоростями на длине волны 850 нм, в качестве излучателя целесообразно использовать VCSEL-лазер, который относится к источникам категории 4. Точность измерений при работе с одномодовыми ОК возрастает, если в измерителе используется низкоапертурный источник излучения категории 1.

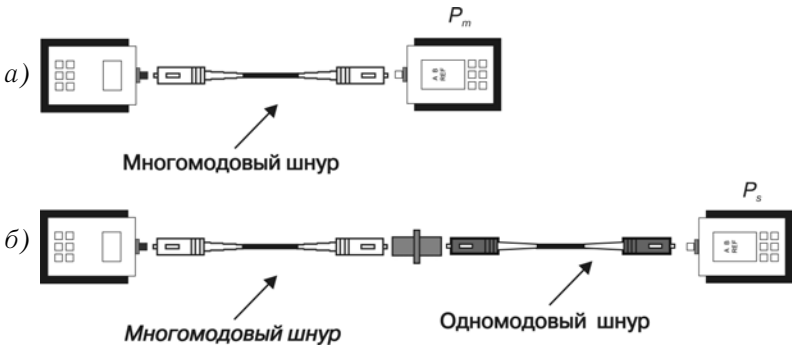


Рис. 166. Процедура определения категории CPR источника излучения: а) определение опорного значения; б) измерение мощности P_s

Волокно одномодового шнура, используемого в процессе проведения экспериментов по определению категории CPR, должно иметь диаметр модового поля $9\pm0,1$ мкм на длине волны 1300 нм и $5\pm0,1$ мкм при $\lambda = 850$ нм. Из приведенных значений следует, что в первом случае речь идет о стандартном одномодовом ОВ. Во втором случае необходимо применять специальное ОВ, сохраняющее одномодовый режим работы на длине волны 850 нм. Примерами серийной продукции данной разновидности являются волокно Puremode HI 780 с длиной волны отсечки 720 ± 50 нм (компания Corning) или волокно ES-085 с длиной волны отсечки 730 ± 50 нм и числовой апертурой 0,13 (компания Sumitomo).

Упомянутые выше стандарты выдвигают дополнительные требования в отношении ОР, вилками которых оконцовываются тестовые шнуры. Рекомендуется применять вилки одномодовых разъемов, причем этот элемент должен гарантировать потери не свыше 0,5 дБ при качестве обработки торцевой поверхности не ниже уровня РС.

Функции приемника оптического излучения может выполнять измеритель абсолютной и относительной мощности, нечувствительный к модовому составу излучения.

На используемое измерительное оборудование накладывается требование по обеспечению необходимого уровня временной и температурной стабильности характеристик, а также линейности по оптической мощности.

11.2.7. Принципы подключения измерителя к контролируемому объекту

Для подключения тестирующих приборов к объекту измерений стандарты серии IEC 61280-4 рекомендуют использовать шнуры длиной от 1 до 5 м в случае многомодовой техники и от 2 до 5 м при работе с одномодовыми трактами. Американские аналоги международных нормативных документов устанавливают длины шнуров в пределах от 1 до 5 м в независимости от разновидности измеряемой линии. Обязательным является применение такой конструкции шнуровых изделий, которая не допускает появления мод оболочки. Для решения этой задачи допускается использование внешнего устройства, функции которого выполняет обычно смеситель мод. Необходимо, чтобы ОВ шнуров для подключения измерителя по номинальным значениям диаметра сердцевины и числовой апертуры совпадали с аналогичными параметрами волокна тестируемого тракта. Дополнительно отдельно оговаривается, хотя и без конкретизации формы конструктивного исполнения, возможность обеспечения простоты подключения шнуров к источнику излучения, фотоприемнику и объекту измерений.

В случае тестирования многомодовых трактов из-за сложностей использования смесителей мод изгибного типа (см. далее) не рекомендуется использовать шнуры с ОВ ленточного типа, а также шнуры, внешний диаметр которых превышает 3,5 мм [263].

Получение воспроизводимых результатов измерения затухания многомодовых кабельных изделий и комплексных объектов на их основе сильно затрудняется наличием в их волокнах большого количества мод, каждая из которых имеет отличные условия распространения. Данная особенность приводит, в частности, к тому, что до момента стабилизации модового состава излучения, то есть на так называемом начальном участке ОК, его коэффициент затухания зависит от длины. Для подавления этого эффекта в процессе измерения и получения воспроизводимых результатов ОВ должно возбуждаться в режиме так называемого равновесного распределения мод, которое естественным образом соответствует установившемуся модовому составу волокна достаточно большой длины (EMD-распределение, Equilibrium Mode Distribution). Для гарантированного получения этого режима в независимости от характеристик источника излучения на входе измеряемого ОК включается смеситель мод. На практике известно применение трех различных конструкций такого смесителя.

Простейшим способом достижения EMD-распределения является использование удлинителя или иницирующего ОВ, которое включается между источником излучения и тестируемым объектом. В принципе, функции такого волокна может выполнять градиентный световод длиной порядка 1—2 км [264], диаметр сердцевины и числовая апертура которого соответствуют аналогичным параметрам волокон тестируемого объекта. В частности, для измерения трактов с 50-микронной сердцевиной применяется следующая комбинация отрезков ОВ:

- 1 м волокна со ступенчатым профилем и диаметром сердцевины 50 мкм;
- + 1 м волокна с градиентным профилем и диаметром сердцевины 40 мкм;
- + 1 м волокна со ступенчатым профилем и диаметром сердцевины 50 мкм;
- + 500 м волокна с градиентным профилем и диаметром сердцевины 50 мкм.

Волоконный смеситель может быть выполнен также на основе четырех состыкованных друг с другом отрезков многомодового ОВ, имеющего различные профили показателя преломления. При удовлетворительном качестве фильтрации (достигается так называемое квазиравновесное распределение мод) устройство имеет существенно меньшую длину и может быть без проблем встроено в оптическую измерительную аппаратуру [265].

Для достижения удобства выполнения процедур тестирования иницирующее волокно наматывают на бобину. Основными недостатками «волоконных» вариантов реализации смесителей мод являются необходимость применения при изготовлении комбинированного световода нестандартных по IEC 60763-2 волокон, а также наличие в смесителе заметных потерь, что ограничивает динамический диапазон измерительной системы.

Метод так называемого 70%-ного возбуждения, или метод LPS (limited phase space), рекомендован для использования ЕИА. Данное решение основано на формировании такого входного светового потока, при котором отсутствует ввод мощности в быстро затухающие моды высокого порядка. Это достигается в том случае, если на сердцевину тестируемого ОВ подают световой поток, который сосредоточен в 70% его числовой апертуры и освещает 70% площади сердцевины. Для этого могут быть использованы заказное иницирующее волокно, которое изготавливается по специальному заказу, и линзовая оптическая система. Необходимость применения специального оптического оборудования делает данный метод мало перспективным для проведения измерений на объекте и ограничивает область его использования исследовательскими лабораториями.

В основу конструкции смесителя изгибного типа, иногда называемого скремблером [266], положен тот факт, что в градиентном ОВ часть траекторий лучей мод высокого порядка проходит вблизи границы раздела сердцевина — оболочка. Поэтому при изгибе волокна с небольшим радиусом создаются условия для интенсивного высвечивания этих лучей в оболочку, где они быстро затухают (рис. 168). Кроме того, изгиб световода усиливает связь между отдельными модами и приводит к увеличению интенсивности обмена энергии



Рис. 167. Смеситель мод изгибного типа

между ними, что значительно ускоряет процесс установления модового состава. Изделие данной разновидности можно реализовать по различным конструктивным схемам, например на ранних этапах развития техники оптической связи большой популярностью пользовалась конструкция в форме системы из нескольких роликов, расположенных на определенном расстоянии друг от друга и предназначенных для намотки ОВ [267]. Наиболее удобным для практики исполнением является реализация этого фильтра в форме одиночной катушки (англ. *Mandrel*, нем. *Wickeldorn*), см. рис. 167. На ее шейку без перехлеста

с небольшим натягом наматываются пять витков того конца шнура или волокна, который подключается к источнику сигнала измерителя оптических потерь, см., например, рис. 173. Для облегчения выполнения этой процедуры рабочая поверхность шейки может снабжаться направляющей спиралевидной канавкой. Диаметр катушки нормируется стандартами, в качестве параметров, определяющих выбор этого типа изделия, используются диаметр сердцевины ОВ и тип шнурового изделия, см. табл. 78. Для упрощения процедуры эксплуатации катушка может окрашиваться в различные идентификационные цвета, в том числе по табл. 45. Простота конструкции данной разновидности смесителя в сочетании с его достаточно высокой эффективностью привела к широкому распространению этого изделия на практике.

Еще одним источником ошибки измерения, возникающим преимущественно в случае применения в источнике света СД и заметно искажающим результаты измерений при работе с короткими линиями, являются моды обо-

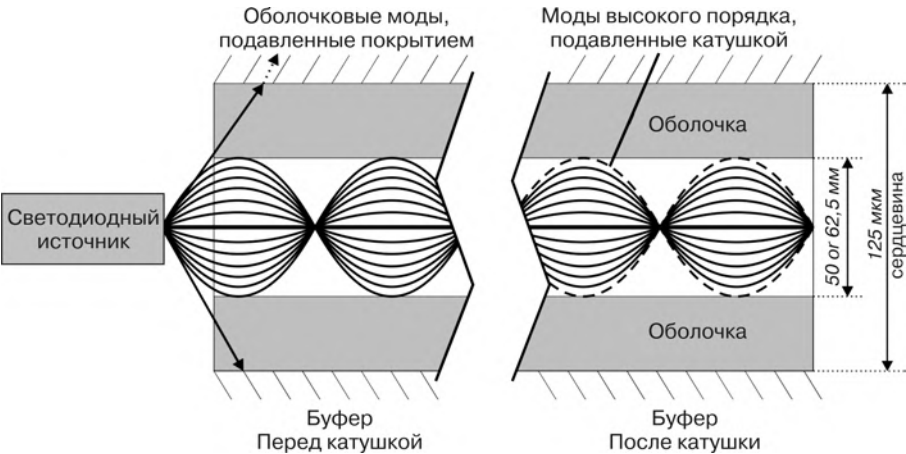


Рис. 168. Принцип действия смесителя мод изгибного типа

Таблица 78. Требования стандартов к диаметру катушки смесителя мод для многомодовых тестовых шнуров

Диаметр сердцевин, мкм	Диаметр катушки смесителя мод для различных типов многомодового волокна и кабеля, мм			
	TIA/EIA-568-B.1	ISO/IEC TR 14763-3	IEC 61280-4-1	
	Волокно в буферном покрытии диаметром 0,9 мм	Кабель в оболочке диаметром 3 мм	Волокно в буферном покрытии диаметром 0,9 мм*	Кабель в оболочке диаметром d мм
50	25	22	15	25 – d
62,5	20	17	20	20 – d

*Стандарт не конкретизирует конструкцию защитных покрытий волокна, поэтому величина его внешнего диаметра в 0,9 мм поставлена условно.

лочки. Наиболее эффективным способом подавления этой нежелательной составляющей излучения является устранение полного внутреннего отражения на внешней границе оболочки.

Таблица 79. Требования стандартов IEC 61280-4-1 и TIA-526-14-A к спектральным характеристикам источника излучения для измерения затухания многомодовых трактов

Центральная длина волн, нм	Спектральная ширина по уровню половинной мощности, нм
850±30	30–60
1300±20	100–140

Сам световод построен таким образом, чтобы подавлять моды оболочки (показатель преломления материала первичного защитного покрытия принципиально превышает аналогичный параметр оболочки ОВ). Для дополнительного увеличения эффективности этого процесса осуществляется изгиб кабеля шнура. При работе с многомодовой техникой он создается катушкой смесителя мод. При измерениях одномодовых трактов использование изгиба шнура для подключения источника света в форме одиночного кольца диаметром 30 мм рекомендовано техническим бюллетенем TSB-140. Стандарт IEC 61300-3-4 предлагает в данной ситуации применять две петли диаметром 50 мм.

В тех ситуациях, когда степень естественного подавления мод оболочки даже при использовании катушки оказывается недостаточной, практикуется применение так называемого фильтра мод оболочки (cladding modes stripper или cladding modes filter), иногда называемого фильтром вытекающих мод. Идея построения этого устройства основана на использовании материала, непосредственно граничащего с поверхностью оболочки ОВ, показатель преломления которого превышает показатель преломления кварцевого стекла. Для реализации фильтра в таком варианте ОВ полностью очищают от всех защитных покрытий на длине порядка 50 мм, изгибают или даже складывают петли и погружают оголенный участок стеклянной оболочки в кювету с иммерсионной жидкостью. В соответствии с идеей построения устройства показатель преломления иммерсионной жидкости в данном случае должен быть равен показателю преломления оболочки волокна или даже превышать его. В этих случаях моды оболочки быстро переходят в жидкость, где происходят их рассеивание и поглощение. Сложность и неудобство практической реализации способа при работе в полевых условиях ограничивает область его использования исключительно исследовательскими лабораториями.

11.3. Особенности применения метода вносимых потерь при измерениях комплексных объектов СКС и их компонентов

Рассмотренные выше нормативные документы задают только общие принципы реализации метода вносимых потерь и не принимают во внимание некоторых существенных особенностей, которые часто встречаются в практике определения затухания различных комплексных объектов СКС и шнуровых изделий. С учетом данного обстоятельства в процессе определения опорного значения и собственно измерения производятся дополнительные операции, а сами процедуры выполнения конкретных методов модифицируются с целью их адаптации к конкретным местным условиям.

Необходимость модификации канонической формы реализации метода вносимых потерь возникает в процессе решения задач следующих основных классов:

- проверка некоторых разновидностей шнуровых изделий;
- согласование типов разъемов измерительного оборудования и тестируемого объекта;
- тестирование трактов с дуплексными оптическими интерфейсами одноканальными измерительными приборами.

Отметим, что все положения, излагаемые далее в отношении ОР типа MT-RJ, без ограничений распространяются на групповые разъемы других типов.

11.3.1. Работа со шнуровыми изделиями

11.3.1.1. Увеличение достоверности результатов при реализации метода одного тестового шнура

Тестовые шнуры являются штатными компонентами измерителя оптических потерь. При выполнении процедур тестирования их кабели подвергаются значительным механическим нагрузкам, а оптически активные поверхности вилок интенсивно изнашиваются в результате многочисленных циклов включения-отключения. Это приводит к быстрой выработке ресурса данных изделий и сопровождается постепенным ухудшением их оптических характеристик, в первую очередь увеличением их затухания. Каноническая схема выполнения метода одного тестового шнура не может полностью исключить влияния деградиационных процессов на точность получаемого результата. Основная причина этого заключается в том, что процедура реализации методов 2 и А1 по IEC 61280-4 предполагает применение двух тестовых шнуров, однако на этапе определения опорного значения $P_0(\lambda)$ задействован только один из них. Второй шнур по идеологии метода предполагается идеальным, что

в силу указанных выше обстоятельств при интенсивном использовании не всегда соответствует действительности.

Для своевременного выявления дефектов второго тестового шнура и поддержания точности измерений на приемлемом уровне в практике выполнения тестирования применяется следующий прием. После определения опорного значения $P_0(\lambda)$, производимого в полном соответствии с требованиями стандарта, первый тестовый шнур отключают от измерителя оптической мощности. К освободившейся розетке прибора подключают второй тестовый шнур, а оставшиеся свободными концы шнуров соединяют в розетке по схеме рис. 169б, то есть фактически реализуется схема рис. 164а. При реализации второго шага рассмотренной процедуры за счет применения соединительной розетки в цепи передачи испытательного сигнала появляется дополнительный разъемный соединитель. С учетом данного обстоятельства второй шнур считается исправным, пригодным для дальнейшей работы и не оказывающим существенного влияния на точность получаемых результатов, если изменение затухания в цепи прохождения тестового сигнала, зарегистрированное измерителем, в соответствии с требованиями параграфа 11.2.6 не превышает 0,5 дБ [268].

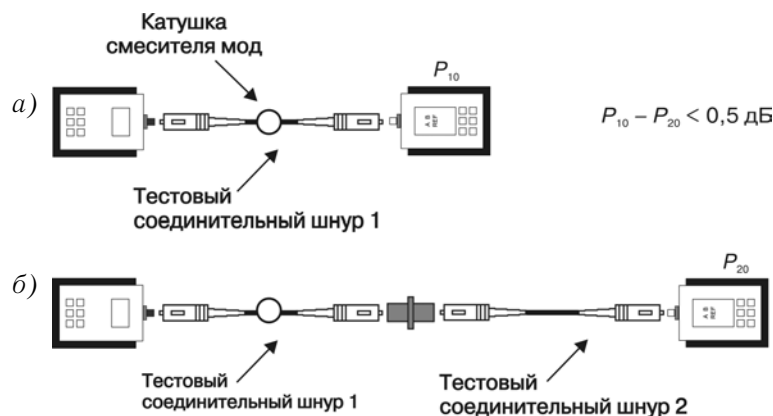


Рис. 169. Принцип верификации шнуровых изделий при реализации метода одного тестового шнура:
а) процедура определения опорного значения;
б) контроль исправности второго тестового шнура

Данная операция иногда называется процедурой верификации тестовых шнуров (Verification of the Test Jumpers). Ее выполнение требует обязательно наличия в штатном комплекте поставки тестирующего оборудования дополнительной соединительной розетки.

Кроме того, перед проведением измерений полезно убедиться в исправности первого тестового шнура. Для этого сначала с помощью микроскопа (см. параграф 11.7.1) контролируются чистота и состояние торцевых поверх-

ностей волокон, затем обычным способом фиксируется опорное значение. После этого шнур отключается от приемника и источника излучения и подключается к ним в «противоположном» направлении. Изделие считается пригодным для проведения измерений, если зафиксированное измерителем результирующее изменение уровня на его выходе не превышает 0,5 дБ. При положительном результате проверки на приемнике вновь фиксируется опорный уровень и производится контроль исправности второго тестового шнура по схеме рис. 169б [269].

11.3.1.2. Тестирование МСР-шнуров

МСР-шнуры используются для подавления эффекта дифференциальной модовой задержки при работе длинноволновых вариантов интерфейсов 1G и 10G Ethernet по многомодовым кабельным трактам СКС, которые реализованы на волокнах старых типов. Их применение настоятельно рекомендуется в тех случаях, когда передача осуществляется на длине волны 1310 нм (см. параграф 7.2.1).

Особенностью данной разновидности шнуровых изделий в наиболее распространенной форме их конструктивного исполнения является то, что одно из оптических волокон шнура выполняется в комбинированном виде и содержит одномодовый и многомодовый световоды, соединенные сваркой встык с небольшим осевым смещением. Измерение затухания многомодового ОВ осуществляется по зафиксированной в стандарте схеме трех тестовых шнуров, для тестирования комбинированной части шнура приходится привлекать специальную процедуру. Все измерения, исходя из области применения изделия, осуществляются только на длине волны 1310 нм.

Для определения потерь в части шнура с комбинированным волокном привлекается одномодовый измеритель. Собственно процедура включает в себя три отдельных этапа.

На первом этапе по схеме рис. 170а в полном соответствии с методом одного тестового шнура с помощью одномодового тестового шнура определяется опорное значение $P_0(\lambda)$.

На втором шаге реализуемой процедуры тестовый соединительный шнур отключается от приемника измерителя, а на его место включается многомодовая вилка комбинированного световода МСР-шнура. Одномодовая вилка этого волокна соединяется с тестовым шнуром в розетке. Изменение уровня $p_0(\lambda) - p_1(\lambda)$ оптического сигнала, фиксируемое приемником измерителя, не должно превышать 0,5 дБ.

На третьем шаге многомодовая вилка комбинированной части проверяемого МСР-шнура отключается от приемника измерителя оптических потерь и на ее место включается вилка многомодового тестового соединительного шнура. Оставшиеся свободными вилки этих двух шнуровых изделий соединяются в розетке. Изменение уровня $P_1 - P_2$ оптического сигнала, фиксируемое по показаниям приемника измерителя, также не должно превышать 0,5 дБ [270].

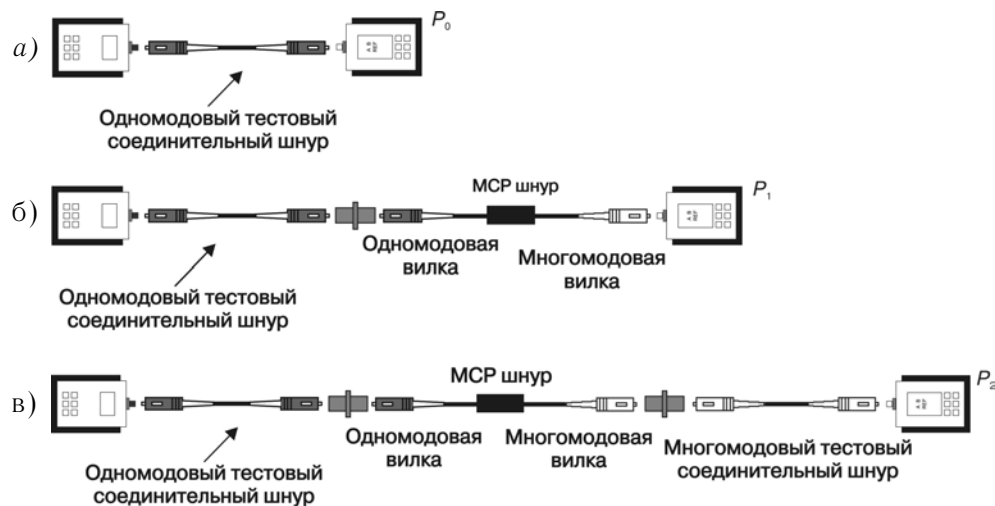


Рис. 170. Процедура тестирования комбинированного световода МСР-шнура:

а) определение опорного значения; б) определение затухания одномодовой части световода; в) определение затухания многомодовой части световода

Особенность МСР-шнура как объекта измерений позволяет по-разному интерпретировать полученные результаты. Возможность неоднозначной трактовки основана на том, что фиксируемые измерителем потери $p_0(\lambda) - p_1(\lambda)$ и $p_1(\lambda) - p_2(\lambda)$ могут быть отнесены к МСР-шнуру и тестовым соединительным шнурам. Идеология построения методов измерений, заложенная в стандарты серии ИЕС 61280-4 и их американские аналоги, предполагает отнесение измеренных потерь к МСР-шнуру. В этом случае создаваемые им потери оцениваются как $p_0(\lambda) - p_2(\lambda)$. Однако оптический интерфейс шнура имеет штыревую форму исполнения. В этой ситуации стандарты на основании принципа отнесения потерь предполагают определение затухания только в линейной части изделия. С учетом того, что:

- увеличение длины этой разновидности шнуровых изделий свыше 3–5 м не имеет смысла;
- многомодовая часть шнура тестируется по методу трех тестовых шнуров;
- изделие выполняет также функции оконечного шнура для подключения активного оборудования к кабельным трактам СКС, представляется целесообразным отнести МСР-шнур целиком к обычным шнуровым изделиям и с учетом малости его длины не определять численное значение создаваемого им дополнительного затухания в тракте передачи. В этой ситуации численные значения потерь, полученные в результате выполнения описанных выше процедур, должны рассматриваться как оценочные, а выполнение неравенств $p_0(\lambda) - p_1(\lambda) < 0,5$ дБ и $p_1(\lambda) - p_2(\lambda) < 0,5$ дБ будет являться свидетельством пригодности изделия к текущей эксплуатации.

11.3.2. Согласование типов разъемов

Анализ стандартов серии ИЕС 61280-4 показывает, что в основу реализации нормируемых ими методов 2 и А.1 положено обязательное совпадение типов ОР контролируемого объекта и тестирующего оборудования. В практике построения оптической подсистемы СКС находит использование большое количество типов разъемов. Как результат такого многообразия можем констатировать, что вероятность отсутствия возможности применения метода одного тестового шнура в его канонической форме оказывается достаточно большой. С учетом этого возникает необходимость в разработке специальной процедуры, которая позволяет обойти это препятствие.

Задача согласования типов разъемов в процессе построения и эксплуатации оптической подсистемы СКС решается с помощью адаптеров. Данные элементы имеют корпусную и шнуровую формы реализации (см. раздел 5.6), причем в силу ряда причин шнуровые варианты этих изделий получили на практике существенно большее распространение. Объективным отражением этого факта в области оптической измерительной техники является то, что далеко не все производители тестирующего оборудования снабжают свою продукцию сменными приборными адаптерами, применение которых позволяет осуществить согласование типов ОР.

Для согласования типов разъемов с помощью шнуровых вариантов адаптеров в процессе измерения затухания комплексных объектов применяется следующая процедура. Фиксация опорного значения $P_0(\lambda)$ осуществляется по схеме рис. 164б с использованием двух комбинированных тестовых шнуров, включаемых так, как это изображено на рис. 171а. Один конец кабеля каждого такого шнура армируется вилкой ОР, соответствующего оптическому интерфейсу измерителя. На втором конце устанавливается вилка ОР, тип которого совпадает с типом разъема контролируемого объекта. Затем одна из вилок отключается от дополнительной розетки¹. В освободившееся гнездо включают дополнительный стандартный шнур, оконцованный вилками разъема, которые совпадают по типу с ОР контролируемого объекта, см. рис. 171б. После этого измеритель оптических потерь готов для определения значения $P_L(\lambda)$.

Несмотря на практически полное внешнее сходство операции определения опорного значения с методом двух тестовых шнуров (см. рис. 171б и рис. 164б), описанная процедура представляет собой один из вариантов метода одного тестового шнура, то есть ее применение не выходит за рамки, определенные стандартами СКС. Это обусловлено тем, что розетка, использованная для соединения шнуров источника излучения и измерителя оптической мощности, не удаляется после определения опорного значения и является одним из элементов цепи передачи испытательного сигнала при измерениях $P_L(\lambda)$. С учетом

¹ От розетки может отключаться как вилка шнура источника оптического сигнала, так и шнура измерителя. Большинство авторов рекомендуют отключать вилку шнура измерителя.

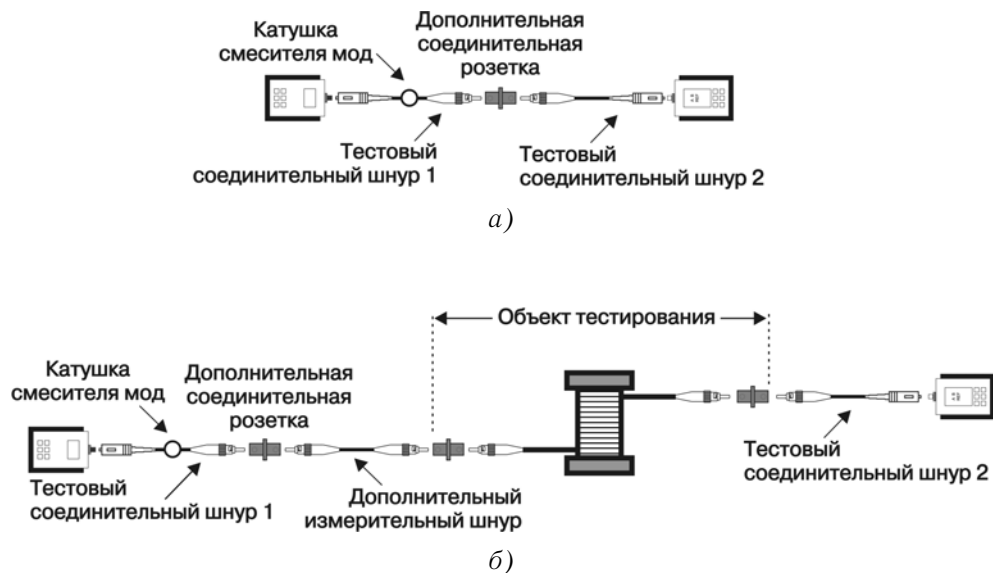


Рис. 171. Схема реализации метода одного тестового шнура при наличии типов разъемов измерителя оптических потерь и объекта тестирования:

а) процедура определения опорного значения; б) процедура измерения

данного обстоятельства описанную процедуру иногда называют модифицированным методом одного тестового шнура.

11.3.3. Особенности задания опорного значения при работе с двухканальными измерительными приборами

Под двухканальными измерительными приборами в данном контексте понимаются все разновидности оборудования для сертификации кабельных линий СКС, а также интегрированные измерители (анализаторы затухания). Отличительным признаком оборудования, относимого к этой группе, является размещение в общем корпусе источника и приемника излучения, что дает возможность производить измерение затухания одновременно в обоих волокнах тестируемого объекта.

Указанная конструктивная особенность технического исполнения оборудования рассматриваемой группы накладывает определенную специфику на реализацию процедуры задания опорного значения мощности, так как с точки зрения определения этого параметра базовый и удаленный блоки являются равноправными.

Если оптические интерфейсы тестируемого объекта и измерительного прибора реализованы на одностипных ОР, допускающих их использование в виде

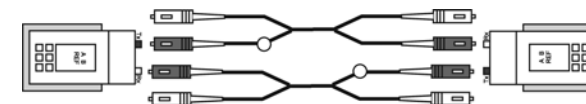


Рис. 172. Правила определения опорного значения мощности $P_0(\lambda)$ для двухканального измерительного прибора при использовании метода одного тестового шнура в случае одностипных разъемов

симплексных изделий, то для определения опорного значения привлекаются два тестовых соединительных шнура. Приборы соединяются этими шнурами так, как это изображено на рис. 172, после чего на обоих блоках фиксируются значения $P_0(\lambda)$. Несложно убедиться в том, что равноправность базового и удаленного блоков приводит к симметричности формируемой структуры.

11.3.4. Тестирование объектов с оптическим интерфейсом MT-RJ двухканальными измерительными приборами

Необходимость разработки специальной процедуры определения затухания комплексных объектов СКС, оптический интерфейс которых выполнен на основе разъема MT-RJ, обусловлена двумя факторами. Первым из них является особенность конструкции этого группового соединителя. В данном конкретном случае свою роль играет то, что розетка ОР этого типа выполняет только функции крепежной обоймы, а вставленная в нее со стороны панели вилка снабжена юстирующими штифтами. Фактически речь идет о разъеме несимметричного типа, что необходимо учитывать при построении схемы измерения.

Вторая особенность состоит в том, что с целью расширения функциональных возможностей оптический интерфейс двухканальных измерительных приборов в подавляющем большинстве случаев реализуется на основе розеточных частей симплексных разъемов.

На практике находят применение две разновидности схем тестирования объектов с интерфейсом, выполненным на основе розеточной части ОР типа MT-RJ. Первую из них можно назвать прямой схемой измерения, вторую — измерением по схеме сравнения с эталонной линией.

11.3.4.1. Прямая схема измерения

При работе с прибором, оптический интерфейс которого реализован на основе симплексных разъемов X ($X = ST, SC, FC, LC$ и т. д.), для задания опорного значения $P_0(\lambda)$ используются комбинированные шнуры 2X-MT-RJ. К базовому блоку измерителя подключают шнур 2X-MT-RJ(M), к удаленному блоку — шнур 2X-MT-RJ(F), см. рис. 173а. Вилки MT-RJ соединяют друг с другом в дополнительной розетке, после чего фиксируют опорное значение. Затем отключают от розетки вилку MT-RJ(F), а на ее место включают вилку дополнительного измерительного шнура типа MT-RJ(F). В результате выпол-

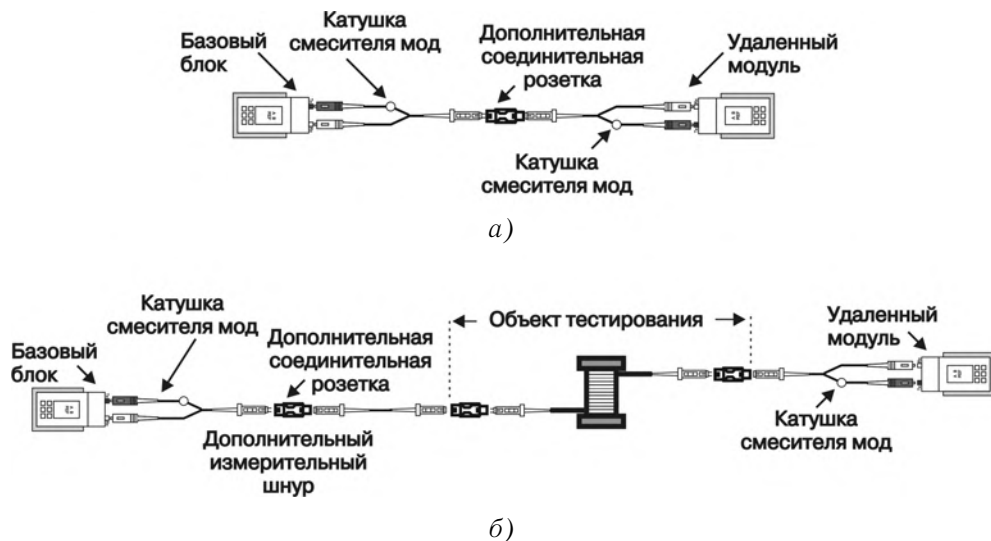


Рис. 173. Реализация метода одного тестового шнура по прямой схеме при измерениях объекта тестирования с оптическим интерфейсом MT-RJ: а) процедура определения опорного значения; б) процедура измерения

нения этих процедур в приемнике фиксируется опорное значение $P_0(\lambda)$, а базовый и удаленный блоки измерителя получают интерфейс, позволяющий осуществить их непосредственное подключение к тестируемому объекту, см. рис. 173б.

Симплексные ОР измерителя допускают неоднозначность подключения вилки дуплексного тестового шнура. Ошибка присоединения измерительного шнура выявляется сразу еще в процессе определения опорного значения по отсутствию тестового сигнала. Конструкция симплексных разъемов не предусматривает средств механической блокировки некорректного подключения, поэтому на практике правильность подключения контролируется преимущественно за счет использования цветовой или символьной маркировки отдельных симплексных вилок тестовых шнуров.

Рассмотренная процедура очень похожа на метод, используемый в процессе согласования типов ОР. Имеющиеся отличия носят непринципиальный характер и обеспечивают адаптацию группового разъема интерфейса тестируемого объекта к симплексным разъемам измерительного оборудования.

11.3.4.2. Измерение по схеме сравнения

Суть схемы состоит в том, что фиксация опорного значения $P_0(\lambda)$ в приемном блоке измерительного прибора осуществляется с помощью короткого отрезка дуплексного шнура фабричного изготовления, который оконцован с двух сторон вилками MT-RJ(M). При подключении этих вилок в соединительные

розетки формируется эталонный объект, оптический интерфейс которого совпадает с интерфейсом тестируемой линии, а потери естественным образом являются пренебрежимо малыми по сравнению с затуханием сигнала в тестируемой линии. К базовому и удаленному блокам двухканального измерительного прибора подключаются шнуры 2X-MT-RJ(F). При задании величины $P_0(\lambda)$ вилки MT-RJ(F) этих шнуров вставляются в соединительные розетки эталона, см. рис. 174а. После фиксации значений $P_0(\lambda)$ на базовом и удаленном блоках и отключения вилок MT-RJ(F) от розеток приборы готовы к измерению затухания тестируемого объекта [271] и подключаются к ним как обычные коммутационные шнуры, см. рис. 174б.

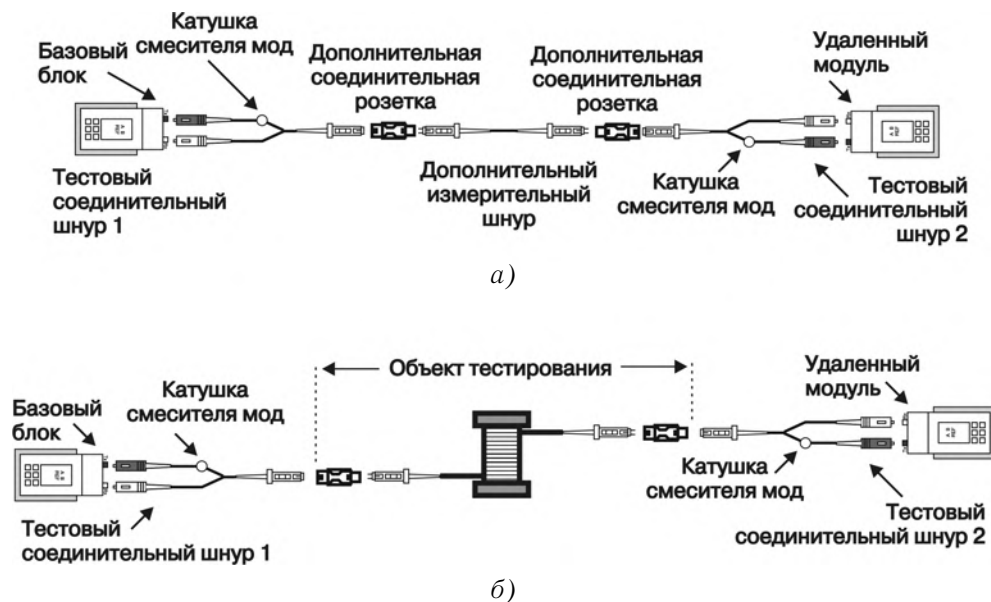


Рис. 174. Реализация метода одного тестового шнура по схеме сравнения при измерениях объекта тестирования с оптическим интерфейсом MT-RJ: а) процедура определения опорного значения; б) процедура измерения

11.3.4.3. Общая характеристика и сравнение методов

Схемы прямого измерения и измерения сравнением с эталоном являются вариантами метода одного тестового шнура, адаптированного к конкретным условиям проведения тестовых проверок и учитывающего технические особенности ОР типа MT-RJ.

Обе эти схемы требуют применения трех единиц шнуровых изделий, а также одной (в первом случае) или двух (при реализации схемы сравнения с эталоном) измерительных розеток, входящих в состав комплекта измерительного оборудования.

Прямая схема измерения является несколько более простой в технической реализации и требует на одну розетку меньшего количества вспомогательного оборудования. При использовании процедуры сравнения с эталонным объектом устраняется основной недостаток, являющийся характерным признаком метода одного тестового шнура: появление в цепи передачи испытательного сигнала вспомогательного шнурового компонента, который не участвует в процедуре определения опорного значения. Кроме того, эта схема основана на подключении к базовому и удаленному блокам измерителя одинаковых шнуров, вилки MT-RJ которых не содержат легко повреждаемых юстирующих штырьков. Механическая защита вилок MT-RJ(M) дополнительного измерительного шнура достигается за счет того, что эти вилки по возможности не отключаются от розеток.

11.3.5. Тестирование объектов с оптическим интерфейсом MT-RJ одноканальным измерительным прибором

При построении схемы тестирования в данном случае решаются задачи согласования типов разъемов и измерения двухволоконного тракта передачи одноканальным прибором.

Для определения опорного значения используются комбинированные шнуры 2X-MT-RJ(M) и 2X-MT-RJ(F), которые соединяются друг с другом в дополнительной проходной розетке по схеме рис. 175а. Особенностью в данном случае является то, что к одному из блоков измерителя в обязательном порядке подключается симплексный разъем X с маркировкой А, а к другому — с маркировкой В.

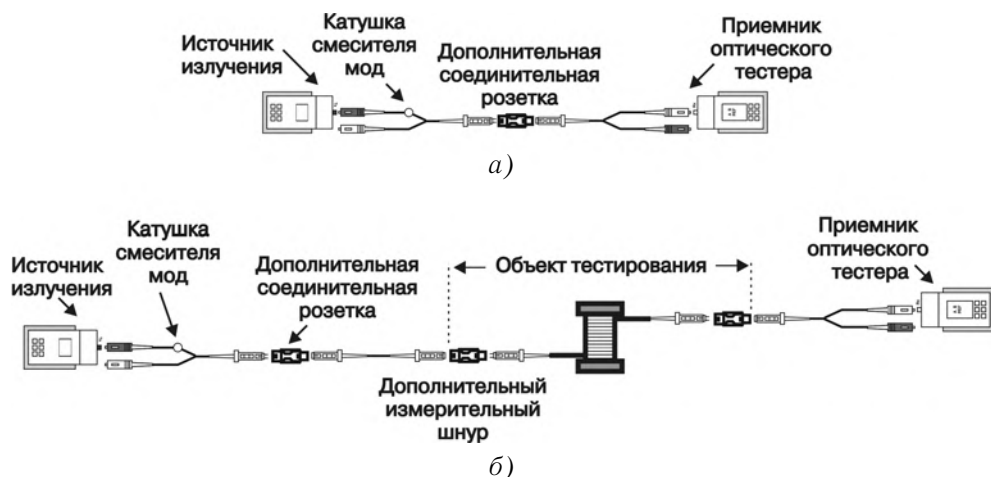


Рис. 175. Схема реализации метода одного тестового шнура при измерениях одноканальным прибором затухания объекта тестирования с разъемами MT-RJ: а) процедура определения опорного значения; б) процедура измерения

Для согласования типов разъемов после отключения вилки MT-RJ(F) от соединительной розетки в освободившееся гнездо подключают дополнительный измерительный шнур MT-RJ(F).

Недостаточные функциональные возможности оптического тестера как измерительного оборудования приводят к тому, что каждое волокно контролируемого тракта тестируется отдельно. Таким образом, процедуру задания опорного значения в данном случае необходимо повторять дважды.

11.4. Приборы для верификации линий и компонентов оптической подсистемы СКС

11.4.1. Оптические тестеры

Оптические тестеры, часто называемые измерителями оптических потерь (рис. 177)¹, предназначены для определения затухания сигнала в кабельных трактах СКС и отдельных их компонентах. Тестеры применяются во время строительства, монтажа, приемо-сдаточных испытаний и эксплуатационного обслуживания линий оптической подсистемы СКС. Приемник тестера имеет самостоятельное практическое значение, так как позволяет производить измерения среднего уровня мощности оптического излучения на рабочих длинах волн сетевой аппаратуры.

Как средство измерения оптический тестер определяет только интегральную величину затухания, поэтому в процессе тестирования структурированной проводки он может использоваться только как средство верификации кабельных линий и компонентов различных видов. Практически повсеместно эти приборы используются также для выполнения профилактических проверок и настроечных работ активного сетевого оборудования.

Тестеры могут работать как с одномодовыми, так и с многомодовыми ОВ. Это оборудование обычно комплектуется одним или несколькими сменными адаптерами приборного интерфейса, наличие которых обеспечивает возможность подключения вилок ОР различных типов.

В состав оптического тестера входят два основных блока: измеритель оптической мощности и источник излучения. В процессе работы эти блоки располагаются с разных сторон тестируемой линии.

Измерители оптической мощности (optical power meter — OPM) применяются для определения средней мощности оптического сигнала. В состав конструкции измерителя входят ФД с усилителем фототока, сигнальный процессор и цифровой дисплей, см. рис. 176.

¹ Используется также наименование данной разновидности тестирующего оборудования как разделенного измерителя оптических потерь, что позволяет отличать его от интегрированного измерителя оптических потерь (см. параграф 11.4.2).

Падающий на окно ФД световой поток преобразуется в электрический ток, который после усиления переводится в цифровую форму и обрабатывается сигнальным процессором. Результат обработки выводится на индикатор. Дополнительно на сигнальный процессор возлагаются также функции компенсации нелинейности амплитудной и неравномерности спектральной харак-



Рис. 176. Структурная схема измерителя мощности оптического сигнала

теристики ФД и выдача управляющего сигнала на индикатор. Перед началом работы в момент включения измерителя процессор выполняет комплекс проверок исправности отдельных электронных узлов. Измерители обычно калибруются на нескольких фиксированных длинах волн.

При работе с одномодовыми системами наиболее предпочтительным является применение ФД со структурой InGaAs, которая обеспечивает получение практически плоской характеристики спектральной чувствительности в диапазоне длин волн 1000–1700 нм. Германиевый ФД достаточно эффективно функционирует на длине волны 850 нм, и поэтому его целесообразно использовать в измерительной аппаратуре, предназначенной для определения характеристик многомодовых систем и устройств. В случае измерения уровня оптической мощности видимого диапазона длин волны и первого окна прозрачности используются кремниевые ФД [272].

Источники излучения служат для подачи в контролируемый объект оптического сигнала заданной мощности и длины волны. Источники делятся на светодиодные и лазерные. Лазерные многомодовые источники существенно более

удобны в работе за счет наличия только одной розетки ОР. Для подачи на нее сигналов с различных источников используется внутренний оптический разветвитель. Основным техническим недостатком этой разновидности приборов является меньшая стабильность характеристик. Для устранения этого недостатка практикуется применение в электронной схеме источника цепей стабилизации (так называемые стабилизированные источники излучения SLS, от англ. *stabilized light source*). Мощность излучения любого полупроводникового источника пропорциональна прямому току через него. Поэтому схема стабилизации форми-



Рис. 177. Оптический тестер

рует управляющее воздействие из разности сигналов, снимаемых с блока формирования опорного напряжения и фотоприемника цепи обратной связи.

До конца 90-х гг. прошлого века в оборудовании для тестирования многомодовых трактов СКС применялись исключительно светодиодные источники света, что было обусловлено в первую очередь стоимостными соображениями. Появление в штатных тестирующих приборах источников, в качестве излучателей которых использован VCSEL-лазер, вызвано необходимостью увеличения точности измерения кабельных трактов и линий с ОВ категории OM3, которые работают с лазерными высокоскоростными сетевыми интерфейсами.

Многие модули источников излучения оптических тестеров старших моделей могут работать в режиме модуляции интенсивности выходного сигнала с частотой 270 Гц, 1 и 2 кГц. Использование таких сигналов позволяет исключить влияние на точность измерений посторонних засветок в оптическом диапазоне и низкочастотных шумов в электрическом тракте. Не исключается возможность увеличения чувствительности приемника за счет применения резонансных усилителей и синхронных детекторов. Некоторые типы измерителей оптической мощности высвечивают на экране частоту модуляции принимаемого сигнала или же отмечают поступления такого сигнала акустическим извещателем. Промодулированный с определенной частотой оптический сигнал используется также при работе идентификатора активных волокон.

Из-за неравномерности характеристики спектральной чувствительности ФД рабочие длины волны измерителя и источника излучения должны быть согласованы. В современных моделях оптических тестеров и прочих приборах для измерения затухания необходимые настройки обычно выполняются автоматически (опция *auto lambda function*).

Для питания многомодовых оптических тестеров обычно используются NiCa или NiMH аккумуляторы либо гальванические элементы. Лазерные источники излучения, отличающиеся повышенным энергопотреблением, часто снабжаются адаптером сетевого питания.

11.4.2. Прочие разновидности верифицирующего измерительного оборудования

Кроме классических оптических тестеров, на практике в ограниченном количестве применяются другие разновидности верифицирующего оборудования, реализующие в процессе определения затухания метод вносимых потерь.

Некоторые типы измерителей имеют скомбинированные в одном корпусе и согласованные по оптическим характеристикам излучатель и фотоприемник. Терминологически они выделяются в отдельную подгруппу измерительного оборудования и с этой целью иногда называются интегрированными измерителями потерь оптической мощности, или анализаторами затухания ОК. Такое

исполнение позволяет уменьшить время измерения в том случае, если два оператора на разных концах кабельной линии имеют одинаковые приборы.

Оптическое измерительное оборудование отличается достаточно высокой стоимостью. Стремление к преодолению этого недостатка привело к появлению на рынке отдельных образцов измерительных приборов, отличающихся упрощенной конструкцией. Так, фирмой Wavetek выпускалась приставка типа FPC850, которая имела крутизну проходной характеристики 1 мА/мВт. Это позволяло подключать ее к обычному электрическому мультиметру, используя для измерений оптической мощности его индикатор [273]. В конце прошлого века ряд компаний из стран Юго-Восточной Азии предлагал оптические тестеры со столбчатым СД индикатором. В данном случае снижение стоимости достигалось за счет отказа от соблюдения требований стандартов по точности показаний, так как измерения проводятся с ошибкой $\pm 0,5$ дБ.

11.5. Приборы для сертификации линий оптической подсистемы СКС

11.5.1. Автоматические измерители

Автоматические измерители (рис. 178) представляют собой мощное аппаратное средство тестирования оптических линий СКС. Наряду с измерением затухания по методу вносимых потерь данное оборудование определяет также длину линии, величину задержки и некоторые другие параметры, что позволяет применять его

для сертификационных испытаний структурированной проводки. Все необходимые настройки и переключения осуществляются управляющим контроллером. Запись результатов измерений, которые выполняются на опорных длинах волн, производится во внутреннюю память прибора.

Автоматический измеритель всегда содержит базовый блок и удаленный модуль, которые в процессе работы устанавливаются с разных сторон тестируемой линии. В тех ситуациях, когда устанавливаемые с противоположных сторон тракта приборы конструктивно выполнены одинаково, один из них берет на себя функции мастера, а второй работает в режиме ведомого прибора. В этой ситуации они могут выполнить предварительную настройку и калибровку в автоматическом режиме без

их непосредственного соединения шнурами, что существенно увеличивает скорость выполнения измерений ценой незначительной потери точности¹. На-



Рис. 178.
Автоматический измеритель

¹ С учетом данного обстоятельства некоторые производители тестирующего оборудования, предназначенного для использования на сетях связи общего пользования, называют приборы данной разновидности анализаторами двухсторонних вносимых потерь.

личия внутреннего разветвителя, с помощью которого осуществляется подача испытательных сигналов, делает ненужным переключение ОР в процессе работы. Перед началом процедуры тестирования оператор должен задать количество ОР и неразъемных соединителей в проверяемой линии. Данные параметры вместе с измеренным значением длины привлекаются для расчета максимально допустимого затухания. По результатам сравнения с фактически получаемой величиной выдается общее заключение в форме «годен-негоден».

В процессе тестирования многие модели измерителей реализуют функцию Symmetry, сущность которой состоит в сравнении значений затухания ОБ тестируемой пары. В случае значительного расхождения результатов, что является косвенным свидетельством возможных дефектов, оператору выдается предупреждающее сообщение.

Накопленная информация может быть считана из памяти для анализа и распечатки стандартного протокола измерений.

По оценкам разработчиков, применение автоматических измерителей вместо оптических тестеров позволяет сэкономить до 75% времени, затрачиваемого на проведение тестирования.

От обычных кабельных сканеров с оптической приставкой автоматические измерители выгодно отличаются относительно небольшой массой. При этом они выполняют полный комплекс сертификационных измерений с выдачей стандартного протокола по каждой измеренной линии.

Автоматические измерители являются специализированными приборами, рассчитанными на работу только с кабельными трактами волоконно-оптической подсистемы СКС. За счет этого их использование экономически оправдано только в тех случаях, когда системный интегратор постоянно проводит большие объемы работ по построению оптических трактов. Данное обстоятельство определяет сравнительно малую распространенность на практике оборудования данной разновидности.

11.5.2. Приставки к кабельным сканерам

Все производители кабельных сканеров, предназначенных для сертификации медножильной части структурированной проводки, выпускают для своих приборов оптические приставки (рис. 179). Применение этих устройств позволяет выполнять полный комплекс сертификационных измерений волоконно-оптических линий СКС. При подключении приставки контроллер сканера опознает ее присутствие и автоматически изменяет настройки прибора, переводя его в режим готовности к выполнению измерений по методу вносимого затухания. Результаты измерений уровня оптического сигнала и прочих параметров



Рис. 179.
Приставка для кабельного сканера

выводятся на штатный индикатор основного прибора и могут быть при необходимости записаны в память для последующего документирования.

Работа с приставкой основана на использовании тех же самых процедур, что и в процессе измерений трактов на основе кабелей из витых пар. Это минимизирует как продолжительность обучения оператора, так и вероятность ошибочных действий во время тестирования.

По своим функциональным возможностям комбинация кабельного сканера и приставки эквивалентна автоматическому измерителю, то есть позволяет выполнять сертификационное тестирование оптических линий СКС.

Первые появившиеся в широкой коммерческой продаже варианты приставок соединялись с базовым блоком коротким отрезком медножильного кабеля. В настоящее время наибольшее распространение получили более удобные для эксплуатации решения на основе модуля, надеваемого непосредственно на многоконтактный разъем сканера и надежно механически фиксируемого на нем защелками.

Оригинальный принцип подключения оптического тестирующего модуля применила в своих кабельных сканерах серии DSP компания Fluke. Приставка типа DTX Fiber Module устанавливается в гнездо под корпусом сканера и не требует отключения головки для тестирования витопарной части проводки (принцип «fibre on board»).

В тех ситуациях, когда тестируется многомодовый кабельный тракт, предназначенный для передачи сигналов с гигабитными и мультигигабитными скоростями на длине волны $\lambda = 850$ нм, в качестве источника излучения измерителя оптических потерь необходимо использовать VCSEL-лазер. Применение этого излучателя обеспечивает получение более точных результатов. Практическая реализация данного принципа осуществлена компанией Fluke в приставке DSP-FTA-440S для кабельных сканеров серии DSP.

11.6. Рефлектометрические измерения

11.6.1. Метод обратного рассеяния

Суть метода обратного рассеяния, как это непосредственно следует из его названия, состоит в использовании упомянутого в параграфе 2.4.1 явления рэлеевского рассеяния. Рассеяние происходит во все стороны, в том числе и в обратном направлении. Та часть рассеянного излучения, которая не выходит за пределы конуса апертурного угла, начинает распространяться вдоль ОВ в обратном направлении и потенциально может быть использована в качестве испытательного сигнала. Наряду с потоком рассеяния в реальном волокне может существовать идущий в том же направлении поток, вызываемый френелевскими отражениями от локальных неоднородностей.

Для практической реализации метода проверяемое ОВ зондируют мощными оптическими импульсами небольшой длительности. После этого на том же

конце, с которого осуществляется ввод зондирующего импульса, фиксируют отклик, вызываемый потоком обратного рассеяния и различными отражениями. Из-за различного расстояния от точки ввода зондирующего излучения до мест рассеяния и отражения и соответственно различного затухания сигнала от каждого центра рассеяния отклик на зондирующий импульс имеет форму падающей кривой с локальными выбросами и падениями в местах неоднородностей, называемой рефлектограммой. Результат измерения представляется в удобной для последующего анализа графической форме распределения затухания по длине волокна, а также обеспечивает гораздо более точное определение характеристик неоднородностей и интерпретацию причин их возникновения.

Анализ рефлектограммы позволяет получить информацию о:

- общем затухании линейной части измеряемого тракта и отдельных его участков;
- расстоянии от точки ввода излучения в тестируемое волокно до так называемых событий¹;
- величине затухания и обратного отражения на каждом из зафиксированных событий.

11.6.2. Оптические рефлектометры

Импульсные оптические рефлектометры, оптические рефлектометры во временной области (Optical Time Domain Reflectometer — OTDR)², стандартные рефлектометры или просто рефлектометры являются одним из наиболее мощных аппаратных средств для комплексного тестирования оптических линий передачи информации различного назначения, в том числе линий и трактов оптической подсистемы СКС. В настоящее время эти устройства используются во время строительства, аттестации, эксплуатационного обслуживания, профилактических проверок, ремонтно-восстановительных и других работ. Это обусловлено тем, что рефлектометр как средство измерения:

- осуществляет неразрушающий контроль установленного тракта передачи оптического информационного сигнала;
- позволяет за один цикл одновременно определить целый ряд основных параметров тестируемой линии, в том числе ее длину, фактическое значение погонного затухания, наличие и местоположение мест неоднородности и повреждений, их характер, потери в ОР и неразъемных соединителях;

¹ Под событием понимается любая неоднородность цепей передачи сигнала, в которой происходит нарушение постоянства интенсивности генерации потока обратного рассеяния. Наличие события визуально отражается на рефлектограмме нарушением гладкости кривой обратного рассеяния, то есть появлением на ней ступенек и выбросов различной формы.

² Название прибора связано с тем, что существуют еще корреляционные рефлектометры и рефлектометры в частотной области, в силу ряда причин не получившие широкого распространения.

- дает возможность выявить постепенную деградацию или внезапное ухудшение характеристик ОВ установленного кабеля за счет сравнения полученной рефлектограммы с результатами более ранних измерений;
- допускает выполнение всего комплекса измерений с одного конца ОК.

Основные недостатки оптического рефлектометра как измерительного устройства, которые сдерживают его более широкое распространение, заключаются в следующем:

- принцип действия рефлектометра предполагает предъявление очень высоких требований к качеству ввода излучения в тестируемое ОВ;
- прибор не позволяет выполнить измерения в реальном масштабе времени (время получения достаточно качественной рефлектограммы на линиях длиной даже в несколько километров составляет не менее 30 с);
- устройство имеет сложную конструкцию, что связано с необходимостью регистрации оптических сигналов обратного рассеяния небольшой мощностью, и соответственно высокую стоимость. В свою очередь, это означает необходимость привлечения для работы оператора высокой квалификации.

Упрощенная структурная схема классического рефлектометра изображена на рис. 180. Управляющий процессор обеспечивает согласованную работу полупроводникового лазера и устройства визуального отображения. Процессорный блок современных рефлектометров содержит два микропроцессора. Быстродействующий RISC-процессор ориентирован на прием и первичную обработку сигнала обратного рассеяния. Второй Intel-совместимый процессор поддерживает функционирование интерфейсной части прибора, выполняет автоматический поиск событий и выводит информацию на дисплей. Его применение обеспечивает совместимость с ПК и дает возможность использования стандартного офисного ПО, а также таких элементов, как клавиатура, мышь и жесткий диск. В приборах, работающих на нескольких длинах волн, излучатель и фотоприемник интегрированы в единый оптический модуль. Для ввода оптических импульсов в волокно используется направленный ответвитель с ОР для подключения тестируемого ОК. Направленный ответвитель и мультиплексор, который используется для объединения излучения источников света, могут быть выполнены на основе полупрозрачных зеркал или в форме волоконного устройства. Поток обратного рассеяния через ответвитель поступает на фотоприемник, где преобразуется в электрическое напряжение, в классических рефлектометрах подаваемое на вход вертикальной развертки электронного осциллографа. На экране последнего происходит формирование кривой обратного рассеяния.

Для улучшения массогабаритных показателей прибора и расширения функциональных возможностей рефлектометра в смысле различных вариантов представления результатов измерений и сохранения их для дальнейшего ана-

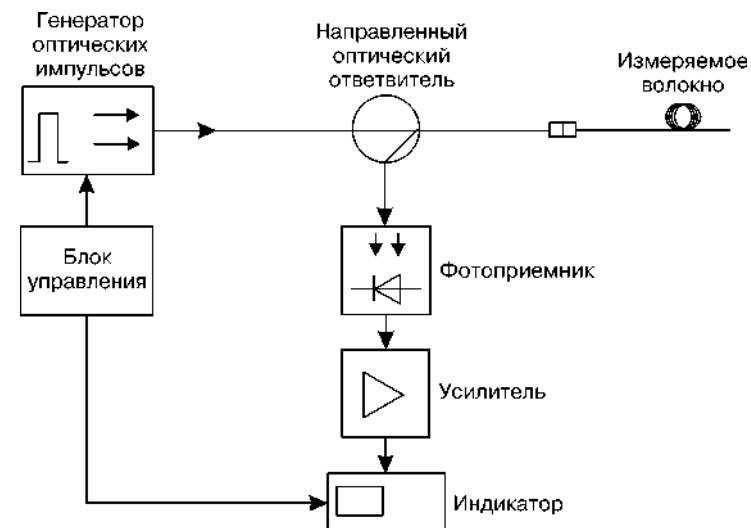


Рис. 180. Структурная схема оптического рефлектометра

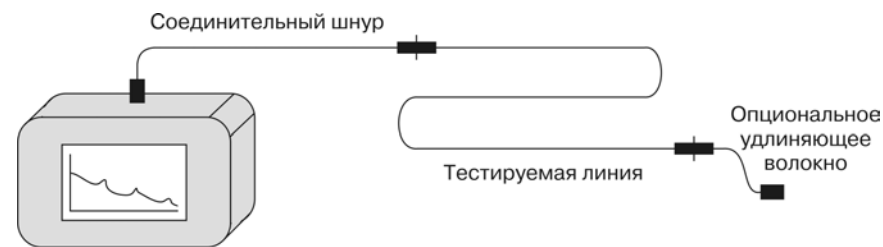


Рис. 181. Схема подключения рефлектометра к тестируемому объекту

лиза многие модели этих приборов, особенно портативных, выполняют поточечное формирование рефлектограммы из значений, записанных во внутреннюю память в цифровом виде, а в качестве индикатора используется ЖК дисплей матричного типа.

Отметим, что ограниченный динамический диапазон¹ рефлектометра по регистрируемому сигналу (не более 46 дБ у известных серийных моделей) в отличие от сетей связи общего пользования не является лимитирующим фактором в области СКС. Это обусловлено тем, что согласно табл. 4 для приложений, которые используют оптическую подсистему структурированной проводки для передачи сигналов своих интерфейсов, общее затухание контролируемых трактов не может превышать 12,0 дБ.

¹ Этот параметр определяется как разность между уровнями сигнала, введенного в волокно, и среднеквадратичным значением шума.

11.6.3. Рефлектограмма и основные принципы ее анализа

Пример рефлектограммы с основными разновидностями регистрируемых событий изображен на рис. 182. Начальный выброс сигнала обусловлен френелевским отражением в разъеме для подключения испытуемого ОК. Форма правого фронта этого импульса определяется процессами установления модового состава излучения на начальном участке. Аналогичный выброс рефлектометр регистрирует при наличии в тракте ОР в середине и в конце ОК. Амплитуда выброса является мерой коэффициента отражения, возникающего на данной локальной неоднородности.

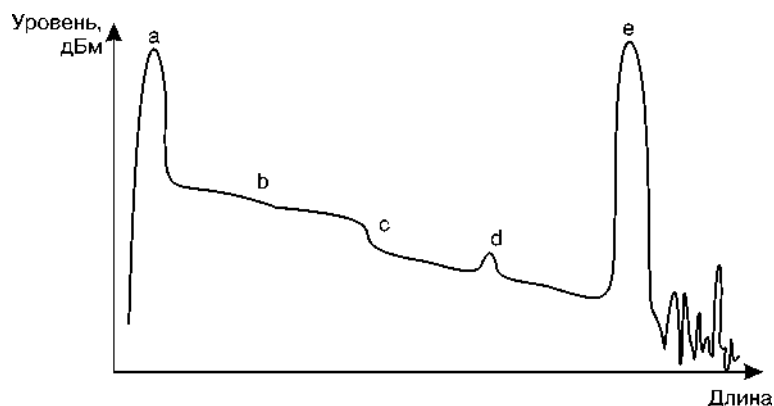


Рис. 182. Основные события, регистрируемые рефлектометром:
а — импульс френелевского отражения от входного конца; б — волокно без неоднородностей; с — сварной или механический неразъемный соединитель; d — оптический разъем; е — импульс френелевского отражения от выходного конца

Затухание сигнала между двумя любыми точками прямолинейного участка рефлектограммы равно половине разности соответствующих уровней мощности (сигнал проходит один и тот же участок два раза: в прямом направлении как зондирующий импульс, в обратном — как поток обратного рассеяния).

Точка сращивания ОВ в механическом сплайсе или сварном сростке, в которой отсутствуют отражения, отмечается на рефлектограмме ступенькой. Высота ступеньки пропорциональна величине вносимых потерь. Место обрыва или конца кабеля определяется по импульсу френелевского отражения и следующему за ним участку с резкими шумоподобными перепадами уровня регистрируемого сигнала.

В некоторых случаях конечная точка ОВ имеет неплоскую или неперпендикулярную оси торцевую поверхность, что сопровождается резким падением мощности сигнала обратного отражения. Такой случай отображается на рефлектограмме отсутствием характерного выброса френелевского отражения

в сочетании с очень небольшими или полностью отсутствующими шумоподобными перепадами уровня сигнала за точкой скола.

Расстояние до неоднородности рассчитывается по формуле

$$l = \frac{\Delta\tau}{2} \frac{c_0}{n_1}, \quad (39)$$

где $\Delta\tau$ — интервал времени между посылкой зондирующего импульса и приходом отраженного сигнала;

c_0 — скорость света в вакууме;

n_1 — эффективный показатель преломления сердцевины тестируемого волокна.

Конец исследуемого тракта также интерпретируется рефлектометром как неоднородность, поэтому схема измерения задержки между зондирующим и отраженным импульсами может быть распространена на измерение как общей протяженности тракта, так и длин отдельных его составляющих (рис. 185).

По углу наклона прямых участков рефлектограммы можно рассчитать величину коэффициента затухания, а по перепаду между начальной и конечной точками — общие потери в тракте (рис. 183).

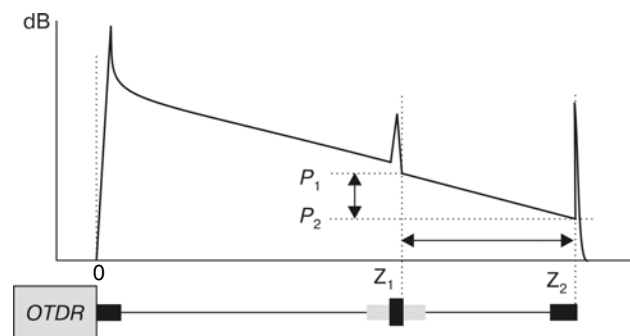


Рис. 183. Определение затухания стационарной линии и коэффициента затухания смонтированного оптического кабеля

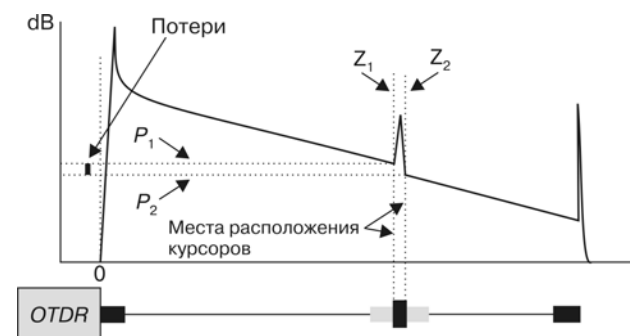


Рис. 184. Определение затухания оптического разъема по рефлектограмме

Пространственное разрешение рефлектометра и минимальное фиксируемое расстояние между двумя дефектами зависит в основном от длительности Δt зондирующего импульса и определяется в следующем виде:

$$\Delta x = \Delta t \frac{c_0}{n_1}. \quad (40)$$

Дальность действия рефлектометра зависит от чувствительности приемника и мощности излучения обратного рассеяния. Чувствительность определяется главным образом шумами ФД приемника и при достигнутом на сегодняшний день уровне техники увеличена быть не может. Мощность излучения обратного рассеяния пропорциональна длительности зондирующего импульса, то есть при исследованиях протяженных трактов (несколько десятков километров) для получения сигнала обратного рассеяния, достаточного для его регистрации фотоприемником за приемлемое время, необходимо увеличивать величину параметра Δt зондирующего импульса. Таким образом, при работе на длинных линиях при прочих равных условиях пространственное разрешение рефлектометра уменьшается.

Рефлектометры с большим динамическим диапазоном при исследованиях коротких трактов с малыми потерями достаточно часто дополнительно фиксируют фиктивные неоднородности на расстоянии, которое в кратное количество раз (два, три и иногда даже четыре) превышает истинное расстояние до них. Этот эффект (так называемые фантомы) определяется многократным отражением зондирующих импульсов от ближнего и дальнего концов ОВ.

11.6.4. Конструкция импульсных рэлеевских рефлектометров и их функциональные возможности

На практике находят применение одномодовые и многомодовые рефлектометры, которые работают во всех основных окнах прозрачности ОВ. Конструктивно эти устройства могут быть выполнены в виде стационарного прибора размером с профессиональный осциллограф (так называемый рефлектометр дальнего действия, полнопрофильный или лабораторный рефлектометр [274]) или как портативное переносное устройство (минирефлектометр).

Стационарные рефлектометры применяются обычно в лаборатории. Приборы данной разновидности имеют большую массу и габариты и отличаются более широкими функциональными возможностями по сервису [275]. В полевых условиях они используются редко при сложных измерениях.

Мини-рефлектометры обеспечивают возможность проведения основных видов измерений в процессе строительства, ремонта и эксплуатации оптических линий. Небольшие габариты и масса оборудования данной разновидности в сочетании с хорошими характеристиками при работе на трактах длиной до нескольких десятков километров привели к достаточно широкому его распро-

странению среди компаний, занимающихся построением волоконно-оптических подсистем СКС.

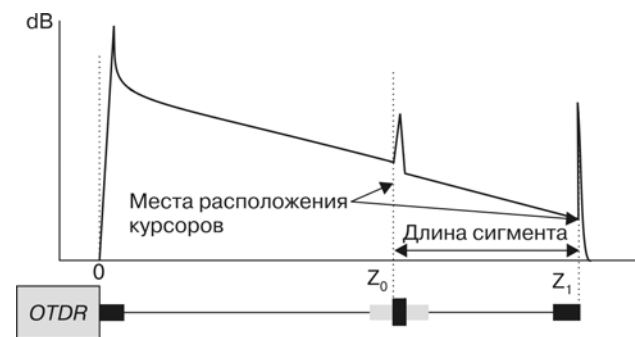


Рис. 185. Определение длины по рефлектограмме

Мини-рефлектометры реализуют основные функции метода обратного рассеяния и позволяют:

- измерять общую длину линии и расстояние до отдельных неоднородностей;
- определять затухание на линии и на отдельных ее участках, а также потери на сосредоточенных неоднородностях и уровень обратного отражения от них;
- представлять результаты измерения в графическом и табличном виде, записывать их в штатную и расширенную память.

Перед проведением измерений оператор имеет возможность установки длительности зондирующего импульса, времени накопления результатов, величины порога регистрации неоднородности и других параметров, влияющих на точность и продолжительность измерений, устойчивость представления рефлектограммы и т. д. В качестве интересной и полезной опции рефлектометра отметим возможность выбора языка, на котором выводятся маркирующие надписи, информационные и предупреждающие сообщения. Наиболее совершенные модели известных автору современных мини-рефлектометров позволяют выбирать среди семи языков, в том числе японского и китайского. Приборы, поставляемые в нашу страну, имеют русифицированное меню.

При расчете величины потерь на различных дефектах и неоднородностях, которые вычисляются как высота соответствующей ступеньки на рефлектограмме, могут быть использованы методы двух и четырех точек. Для увеличения точности расчетов общих и удельных потерь оператору предоставляется возможность ручной установки маркеров, остальные операции контроллер рефлектометра выполняет автоматически. Точность измерения расстояния, выполняемого по формуле 39, увеличивается возможностью предварительной

установки параметра показателя преломления n_1 сердцевины тестируемого ОВ вплоть до четвертого знака после запятой. Облегчение считывания показаний обеспечивается градуировкой горизонтальной оси индикатора в метрах, милях или футах, а вертикальной оси — в децибелах.

Рефлектометр может поддерживать функцию лупы времени, наличие которой позволяет осуществлять исследования определенных участков рефлектограммы с увеличенным разрешением. При этом вся рефлектограмма измеряемого тракта с указанием на ней исследуемого участка также воспроизводится на экране в уменьшенном масштабе.

Для увеличения удобства работы современные мини-рефлектометры имеют встроенную функцию автоматического выбора диапазона измеряемых длин и длительности зондирующего импульса, а также воспроизведения формируемой рефлектограммы с дискретом 2 с (режим Real time). Приборы позволяют производить высокоточный (разрешающая способность по уровню оптического сигнала 0,01 дБ и по длительности до 10 см) анализ формы рефлектограммы, представляемой как в графическом виде, так и в форме таблицы. Для облегчения первичного анализа сложных трактов может быть активизирована функция сертификации, согласно которой устройство автоматически классифицирует обнаруженные неоднородности, сравнивает их параметры с нормами и выдает результат в виде «соответствует — не соответствует».

Наглядность выполняемых измерений и информативность индикатора в современных мини рефлектометрах увеличиваются применением для его построения цветного ЖК экрана с типовым размером по диагонали 7—8 дюймов. В младших моделях из соображений минимизации стоимости прибора может применяться монохромный экран.

Современные рефлектометры предоставляют пользователям развитую систему хранения полученной информации. Результаты измерений могут быть записаны в форме файлов во внутреннем ЗУ, на магнитную карточку, внутренний жесткий диск или 3,5-дюймовую кассету. При необходимости файлы рефлектограмм могут быть считаны из внутренней памяти на внешнее устройство с помощью интерфейса RS-232, Centronics или USB.

ПО современных рефлектометров формирует рефлектограммы в формате, позволяющем осуществлять их представление, обработку и хранение в виде файлов на IBM-совместимом ПК. Сами рефлектограммы могут снабжаться текстовыми комментариями, вводимыми оператором непосредственно в процессе выполнения измерений. Ввод этой информации осуществляется с внешней или встроенной клавиатуры прибора. Последняя на практике реализуется в двух вариантах. Первым из них является обычная механическая кнопочная малогабаритная клавиатура, размещаемая за откидным щитком на корпусе (решение фирмы Nettest). Во втором случае изображение клавиш выводится на сенсорный ЖК экран рефлектометра (устройства FTV-100 и FTV-400 фирмы EXFO).

Развитие технических средств измерений и рост вычислительных ресурсов управляющих контроллеров современных оптических рефлектометров дают возможность существенно увеличить информативность формируемого ими отчета. В качестве иллюстрации этого положения упомянем тот факт, что многие приборы (например, Optifiber фирмы Fluke, MTS 8000 фирмы Acterna и CMA 5000 фирмы Nettest) наряду с рефлектограммами позволяют хранить в отчете также изображение торцевой поверхности штекера тестируемого тракта. Для этого на корпусе устройства предусматривается отдельный штатный вход для подключения щупа телевизионного микроскопа со встроенной телекамерой (см. параграф 11.7.3).

Питание рефлектометра производится от сети 127/220 В через внешний адаптер или от никель-кадмиевого аккумулятора. Емкости полностью заряженного аккумулятора достаточно для поддержания работоспособности некоторых моделей на протяжении 8 ч. Для обеспечения возможности непрерывного проведения измерений в комплект поставки прибора входят два аккумулятора и зарядное устройство. Многие модели рефлектометров имеют выведенный на экран дисплея аналоговый или цифровой индикатор уровня зарядки аккумулятора.

Мини-рефлектометры первого поколения обычно выпускались в виде моноблочных приборов. В современных конструкциях применяется преимущественно модульная схема. Устройства, реализованные в соответствии с такой концепцией, выполнены в виде шасси с одним или несколькими слотами, куда вставляются универсальные сменные блоки различного назначения. Кроме измерительных модулей, на различные длины волн в их перечень входят оптический тестер, визуализатор дефектов и оптический телефон.

11.6.5. Особенности рефлектометров для применения в области СКС и ЛВС

Рефлектометры, еще на стадии конструирования ориентированные в первую очередь на измерение параметров нижнего уровня телекоммуникационной инфраструктуры, были выпущены в широкую коммерческую продажу в 2003 г. Основной областью их использования является тестирование линейной части оптических сетей доступа, систем кабельного телевидения, ЛВС и СКС. От широко распространенных рефлектометров, применяемых в процессе построения и эксплуатации сетей связи общего пользования, приборы данной разновидности отличаются умеренным динамическим диапазоном и в основной своей массе хорошими массогабаритными показателями (устройство M100 фирмы Noyes даже названо в фирменной документации микрорефлектометром). Некоторые параметры этих устройств приведены в табл. 80.

Представленные на рынке устройства достаточно четко делятся на две группы. Приборы первой группы имеют традиционную конструкцию и отлича-

ются улучшенными параметрами по разрешающей способности. Характерной основной чертой оборудования, относящегося ко второй группе, могут считаться существенно лучшие массогабаритные показатели. Это достигнуто за счет:

- реализации аппаратной части устройств на базе хорошо отработанного в массовом серийном производстве персонального цифрового ассистента PDA [276];
- уменьшения емкости аккумуляторной батареи и увеличения продолжительности цикла ее подзарядки.

Таблица 80. Параметры рефлектометров для тестирования кабельных трактов СКС и ЛВС

Устройство	Optifiber	M100	FOD-7002	XC-850
Производитель	Fluke, США	Noyes, США	FOD, Россия	Megger, Великобритания
Рабочие длины волн, нм	MM 850, 1300	MM 850, 1300 SM 1310, 1550	MM 850, 1300 SM 1310, 1550	MM 850
Динамический диапазон, дБ	MM 21	MM 21/23 SM 26/26	–	13
Мертвая зона по событию, м	0,7	10	15	1,5
Мертвая зона по затуханию, м	4,5	20	10	4
Габариты, мм	190 × 100 × 70	106 × 75 × 25	92 × 150 × 52	135 × 240 × 245
Масса, кг	1,9	1,2	0,6	5,2
Время работы при полностью заряженном аккумуляторе, ч	6	2	8	10

Все приборы рассматриваемой разновидности предоставляют оператору нормальный сервис обычного мини-рефлектометра.

11.7. Приборы и устройства для визуального контроля

Одним из необходимых этапов построения оптической подсистемы структурированной проводки является проверка характеристик ее линий и трактов на

соответствие требованиям стандартов в процессе строительства и сертификации СКС. Практически идентичные действия выполняются при поиске различных неисправностей, возникающих в процессе текущей эксплуатации. Для решения этих задач в соответствии с рекомендациями стандартов используются измерители оптических потерь и рефлектометры. Данные устройства выполняют процедуру измерения характеристик за счет сравнения контролируемого параметра с некоторым эталоном и с последующим отображением результата на стрелочном, цифровом или графическом индикаторе.

Хорошо известно, что глаз человека является прекрасным средством контроля различных технических объектов, причем в некоторых ситуациях существенно превосходящим по обобщенному критерию эффективности обычное измерительное оборудование. Это связано в первую очередь с тем, что специалист даже со средним уровнем квалификации в процессе выполнения процедур проверки и контроля визуально оценивает картину тестируемого объекта в целом. Это дает ему возможность учесть в комплексе отдельные плохо формализуемые на алгоритмическом уровне нюансы и позволяет сделать верное заключение о причинах неисправности и способах ее устранения даже без знания точной числовой величины отдельных параметров, в том числе нормируемых стандартами.

С учетом перечисленных обстоятельств стандарты СКС предусматривают выполнение процедур визуального контроля смонтированных линий и отдельных компонентов. Для их осуществления наряду с традиционным измерительным оборудованием, используемым в процессе построения и эксплуатации оптической подсистемы СКС, в практику во все большем масштабе начинают внедряться различные устройства визуального контроля. Достаточно многочисленную группу этих устройств можно разделить на приборы, дающие увеличенное изображение проверяемой плоской рабочей области (микроскопы различных разновидностей), и оборудование, принцип действия которого основан на использовании сильного рассеивания светового потока на любом дефекте распределенного по длине контролируемого волоконного тракта (визуализаторы) [277].

11.7.1. Микроскопы

Микроскопы (Fiber Inspection Microscope) используются преимущественно для визуального контроля торцевых поверхностей наконечников вилок разъемов с установленными в них световодами. Необходимость их применения обусловлена малыми линейными размерами как самого ОВ, так и тем более возможных дефектов его торцевой поверхности, которые не видны невооруженным взглядом. В этой ситуации увеличение даже часовой лупы оказывается недостаточным, и приходится применять технические средства с более мощными оптическими системами. Основным назначением микроскопов яв-

ляется выявление дефектов (сколов, трещин, обломов), проверка качества полировки волокна, а также контроль чистоты торцевой поверхности световода и центрирующего наконечника вилки (рис. 186). Иногда употребляется название этих приборов как Connector Inspector, которое подчеркивает основную область использования.

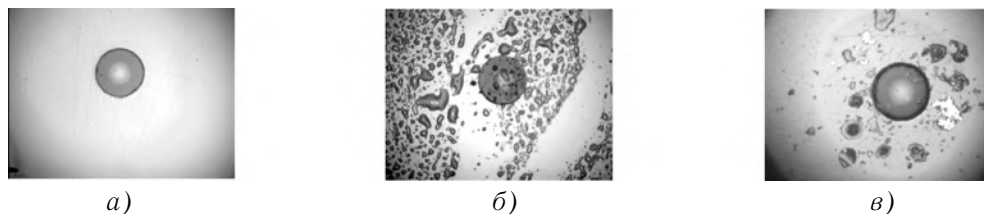


Рис. 186. Изображение торцевой поверхности волокна в микроскопе:
а) нормально обработанный хорошо очищенный наконечник;
б) засаженный наконечник; в) загрязненный наконечник

В независимости от варианта конструктивного исполнения любой микроскоп, применяемый в рассматриваемой области, содержит следующие основные функциональные элементы:

- оптическую систему с фиксированным или переменным коэффициентом увеличения;
- систему фокусировки;
- источник освещения контролируемой поверхности;
- источник питания активных компонентов прибора;
- адаптер для подключения исследуемого компонента разъема.

Оптическая система традиционно строится по монокулярной схеме и в обязательном порядке содержит объектив ахроматического типа. Дальнейшая обработка изображения зависит от выбранной конструктивной схемы прибора. В контрольных микроскопах оно отображается в глаз окуляром. В телевизионных микроскопах осуществляется промежуточное преобразование изображения. При его выводе на экран достаточно большого размера необходимость в применении окуляра отпадает.

Выбор значения коэффициента увеличения оптической системы микроскопа и ее числовой апертуры осуществляется исходя из геометрических размеров сердцевины и оболочки ОВ, а также размеров дефекта, оказывающего заметное влияние на величину вносимых потерь и обратных отражений (0,5–0,7 мкм для одномодовой техники). С учетом перечисленных соображений в случае исследования многомодовых ОР типичная величина коэффициента увеличения устанавливается равной 100–150 при числовой апертуре примерно 0,2. Из-за меньших размеров сердцевины одномодовых ОВ работа с ними требует применения оптических систем с коэффициентом увеличения в диапазоне

300–400. При этом величина апертурного угла падает в 1,3–1,5 раза. Для получения максимально качественного изображения используется плавная подстройка резкости, выполняемая за счет реализации оптической системы по тубусной схеме.

Еще одним критерием, оказывающим непосредственное влияние на конструктивные и технические характеристики микроскопа и его оптической системы, является требование возможности контроля вилок разъемов не только с одним ОВ, но и быстро набирающих популярность в последнее время ОР группового типа (MT-RJ, MTP и т. д., примером является устройство ME-4000 компании Microenterprise). С учетом этого обстоятельства диаметр рабочего поля современных микроскопов составляет примерно 0,8–1 мм.

Особенности области использования и конструкции микроскопа не позволяют ограничиться естественным освещением рабочей области и вынуждают использовать встроенный малогабаритный источник искусственного освещения. В приборах первых поколений этот функциональный узел реализовывался на основе миниатюрной лампочки накаливания с номинальным рабочим напряжением 2,2–2,8 В и током потребления около 200–250 мА. В микроскопах, поступивших в широкую коммерческую продажу в период после 2000 г., большую популярность приобрело применение более экономичного по энергопотреблению СД белого цвета свечения, имеющего ресурс порядка 100 000 ч. В телевизионных микроскопах, где для формирования изображения используется промежуточное преобразование, достаточно часто устанавливается красный СД. В тех ситуациях, когда на устройство накладывается требование обеспечения повышенной разрешающей способности, в соответствии с принципом Аббе допустимо применения источника подсветки ближнего УФ диапазона. Естественно, что платой за расширение функциональных возможностей является заметное усложнение конструкции прибора за счет необходимости установки электронно-оптического преобразователя.

В зависимости от решаемой задачи применяют:

- прямое освещение (приборы группы Flat Scope), дающее наибольшую эффективность анализа состояния сердцевины ОВ;
- боковое освещение (приборы группы Angled Head Scope) под углом примерно 20–30°, что позволяет за счет возникновения теней увеличить контрастность царапин на торцевой поверхности ОВ.

В зависимости от конструкции прибора направление освещения может быть задано жестко или выбирается оператором. Изменение направления падения светового потока достигается за счет применения поворотной головки или же введением в конструкцию прибора двух различных адаптеров для подключения вилки проверяемого оптического разъема с различных направлений относительно оси оптической системы. В простейших микроскопах источник освещения располагается в измерительной головке рядом с объективом

(рис. 187б). В приборах старших моделей очень большой популярностью пользуется технология коаксиальной подсветки (рис. 187а), которая дает заметное улучшение условий наблюдения.

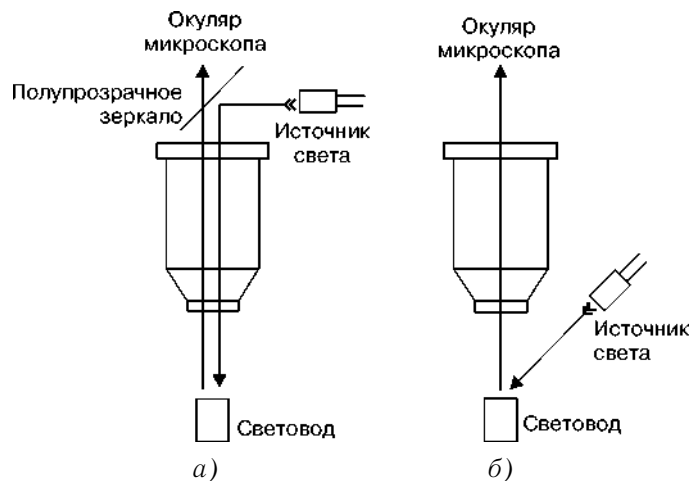


Рис. 187. Схема подсветки рабочей области микроскопа: а) коаксиальная прямая; б) боковая

В качестве источника питания в переносных (карманных) приборах применяются два-три щелочных гальванических элемента формата АА или даже ААА. Их емкости достаточно для обеспечения непрерывной работы источника освещения на основе лампочки накаливания на протяжении 1,5–2 ч. В случае перехода на более экономичные светодиодные излучатели время непрерывной работы возрастает более чем на порядок и может достигать 40–60 ч. Телевизионные устройства с повышенным энергопотреблением питаются от сетевого адаптера. В случае выдвижения требования получения мобильности в них используют аккумулятор. Для контроля его состояния некоторые модели микроскопов снабжаются индикатором уровня заряда.



Рис. 188. Сменные приборные адаптеры под разъемы различных типов

Для подключения к тестируемому компоненту или тракту СКС различных видов может использоваться универсальный оптический адаптер, основой которого является гнездо под наконечник с наиболее распространенными диаметрами 2,5 и 1,25 мм. Его наличие позволяет подключать в первом случае вилки типов FC, SC и ST, а во втором — LC и MU. Несколько меньшее распространение получили сменные адаптеры под вилки ОР конкретного типа, которые фиксируются на корпусе прибора на резьбе или под защелку, см. рис. 188.

11.7.2. Контрольные оптические микроскопы

Контрольный оптический микроскоп представляет собой малогабаритный моноблочный прибор, предназначенный преимущественно для исследования состояния торцевой поверхности наконечника оптического разъема с зафиксированным в нем ОВ. В некоторых случаях микроскопы используются для контроля качества скола волокна перед установкой механического сплайса или иммерсионного коннектора. Устройства данной разновидности делятся на ручные (портативные, карманные или экономические) и так называемые профессиональные. Различие между двумя этими микроскопами достаточно условно. Наиболее часто в качестве критерия отнесения конкретного прибора к той или иной группе выступают размеры и коэффициент увеличения, оба эти параметра у профессиональных микроскопов являются несколько большими. Кроме того, в стандартную комплектацию этого устройства часто включается съемный треножный штатив для улучшения условий наблюдения.

Оптическая система микроскопа построена по традиционной монокулярной схеме, бинокулярные варианты исполнения встречаются исключительно в приборах, изначально ориентированных на применение в заводской или исследовательской лаборатории. Система содержит ахроматический объектив и окуляр, каждый из которых имеет коэффициент увеличения в 10–20 раз. В ее состав может быть введен трансфокатор для изменения коэффициента увеличения. Для ручных микроскопов величина этого параметра регулируется в пределах 100–150 раз (устройство 1278132-1 фирмы Tyco Electronics), в профессиональных микроскопах диапазон регулирования коэффициента увеличения несколько расширяется, например в пределах от 200 до 400 раз (устройство типа OFS-300 компании AFL Telecommunications). Регулятор трансфокатора конструктивно реализуется в виде маховичка или движка, введенного на корпус прибора рядом с регулятором резкости.



Рис. 189. Формы конструктивного исполнения ручных контрольных микроскопов

Для защиты глаз оператора от попадания в него мощного лазерного излучения старшие модели оптических микроскопов могут снабжаться фильтром. Величина затухания фильтра резко возрастает по мере увеличения длины волны, так как длинноволновая составляющая излучения ближнего ИК-диапа-

зона является заметно более опасной для органов зрения. В большинстве моделей это устройство выполняется по внутренней встроенной схеме, швейцарская компания Diamond использует исполнение фильтра в форме съемной насадки на окуляр. В младших моделях для решения этой задачи используется угловая установка наконечника ОР в рабочем положении, так чтобы апертурные углы ОВ и оптической системы микроскопа не перекрывались.

Несмотря на простоту конструкции, современные микроскопы отличаются высоким уровнем проработки эргономических параметров. Отметим только некоторые решения из этой области. Для улучшения условий удержания в рабочем положении микроскопов с большим коэффициентом увеличения его корпус может снабжаться боковой лямкой с натяжным пружинным механизмом по образцу любительской телекамеры. Из этих же соображений в некоторых случаях применяется анатомическая форма верхней поверхности корпуса. Кнопка включения источника освещения и регуляторы резкости располагаются таким образом, чтобы оператор работал с ними разными руками. Окуляр профессионального микроскопа часто комплектуется наглазником из мягкого материала, который делает процесс работы с прибором более удобным.

Выключатель, используемый для управления работой источника освещения, может быть выполнен по нескольким различным схемам. Согласно первой из них, существенно чаще применяемой на практике, используется обычный движковый выключатель. Другие схемы основаны на том, что наиболее естественной формой исполнения корпуса оптического микроскопа является комбинация из двух трубчатых элементов. В первом из них располагается оптическая система, второй выполняет функции отсека для укладки в него батареек источника питания. Трубки могут соединяться на шарнире и при откидывании одной из них в сторону на угол $30-40^\circ$ включается источник освещения. Достаточно высокой популярностью у разработчиков пользуется кнопочный выключатель под большой палец оператора, расположенный рядом с окуляром на торцевой поверхности отсека для укладки батареек источника питания. Для более экономного расходования емкости батареек такой выключатель не имеет фиксатора и выполняется по схеме с нормально разомкнутым контактом.

Корпус контрольного микроскопа для снижения массы и уменьшения стоимости изготавливается преимущественно из твердого пластика. Для хранения устройства карманные приборы комплектуются мягким защитным чехлом с застежкой, профессиональные микроскопы поставляются в жестком футляре с ручкой для переноски.

Предельная простота конструкции микроскопа и его невысокая стоимость приводят к тому, что этот прибор является обязательным атрибутом любого известного комплекта для установки вилок оптических разъемов в независимости от применяемой для этого технологии (клеевая, механическая и т. д.). Как отдельный прибор он может быть приобретен у производителя волокон-

но-оптических аксессуаров (фирмы AFL Telecommunications, Noyes, FIS), так называемых оптических конструкторов и производителей измерительного оптического оборудования.

11.7.3. Телевизионные микроскопы

Внедрение телевизионной техники в приборы для инспекции и контроля компонентов волоконно-оптического тракта обеспечивает существенное расширение функциональных возможностей оборудования, в большинстве случаев сокращает время анализа состояния торцевой поверхности наконечника ОР примерно в 10 раз, а также заметно улучшает условия работы оператора. Последнее обусловлено тем, что работа с высококачественным экраном с высокой контрастностью и большим размером по диагонали заметно снижает утомляемость. Немаловажное значение имеет то, что телевизионные микроскопы в любой форме их исполнения обеспечивают эффективную защиту глаз оператора от попадания в них мощного оптического излучения.

В зависимости от формы конструктивного исполнения телевизионные приборы можно разделить на моноблочные устройства и микроскопы с выносным щупом.

Моноблочные приборы могут рассматриваться как развитие контрольных оптических микроскопов, в которых для достижения более комфортных условий наблюдения обычная оптическая система заменяется на телевизионную, а формируемое изображение отображается на экран различного размера. Размер экрана по диагонали может быть достаточно малым. В этом случае в устройстве сохраняется окуляр, а сам прибор конструктивно оформляется в форме привычного пользователям профессионального оптического контрольного микроскопа.

Вторая разновидность моноблочных приборов имеет экран увеличенного размера, который размещается на внешней поверхности корпуса, см. рис. 191. Увеличение габаритов монитора позволяет упростить оптическую часть системы отображения за счет отказа от окуляра.

Видеосистема телевизионного микроскопа формирует стандартный телевизионный сигнал. С учетом этого обстоятельства подавляющее большинство этих приборов снабжается интерфейсным разъемом, позволяющим в случае необходимости выводить сформированное изображение на внешнее видеоконтрольное устройство.



Рис. 190.
Телевизионный микроскоп с тестовым щупом



Рис. 191. Моноблочный телевизионный микроскоп

Телевизионные микроскопы с выносным тестовым щупом (Video Fiber Inspection Probe) начали в массовом масштабе внедряться в практику тестирования волоконно-оптических систем различного назначения, в том числе СКС в период после 2000 г. Объективной предпосылкой роста интереса пользователей к этим приборам в интересующей нас области явилось увеличение плотности оптических портов на коммутационно-разделочных устройствах, а также массовое внедрение в практику построения ЛВС коммутаторов с гигабитными скоростями передачи информации. Относительно небольшой энергетический потенциал оптических трансиверов этого оборудования заметно ужесточает требования к качеству установки ОР и поддержанию чистоты их оптически активных поверхностей в процессе эксплуатации.

Основными функциональными блоками микроскопов данной разновидности являются ручной телевизионный терминал и тестовый щуп.

Телевизионный терминал выполняется в форме ручного прибора. Типовой размер по диагонали цветного ЖК экрана активного матричного типа составляет 2,5 дюйма при разрешении 480 × 234 пиксела. Терминал может оборудоваться магнитным фиксатором, усилие удержания которого позволяет закрепить его даже на вертикальной металлической поверхности. Несколько меньшее распространение получили конструкции терминала в форме планшетного прибора (система N3988A компании Agilent). Переход на такое исполнение снимает проблему фиксации в рабочем положении, что дает возможность увеличить размер экрана вплоть до 10 дюймов по диагонали.

В телевизионных микроскопах с выносным щупом видеосистема имеет предельно минимизированные массогабаритные характеристики, а ее чувствительный элемент принципиально располагается в выносном щупе. Такое конструктивное исполнение позволяет выполнить рабочую часть щупа в форме вилки ОР с наконечником диаметром 2,5 или 1,5 мм, что заметно расширяет функциональные возможности прибора. Так, в частности, основное отличие от моноблочного оборудования заключается в том, что микроскопы с выносным щупом дают возможность контролировать состояние тех элементов ОР, доступ к которым затруднен. В англоязычной технической литературе для обозначения этих элементов даже употребляется специальный термин «behind the wall» или «back-side». На практике под такими компонентами понимаются в первую очередь вилки симметричных разъемов, включаемые с внутренней стороны панели коммутационного устройства. Еще одной областью использования микроскопов с выносным щупом, не имеющей непосредственного отношения к СКС, является проверка состояния разъема оптических интерфейсов активных сетевых устройств и измерительного оборудования, которые из-за особенностей построения трансиверов крайне затруднительно проконтролировать обычными средствами.

Основными функциональными блоками щупа являются ПЗС-матрица телевизионной системы, источник освещения торцевой поверхности наконечника и механизм ручной фокусировки.

В отличие от оптических микроскопов в телевизионных приборах источник освещения рабочей области реализуется исключительно на основе СД. Поддача светового потока в рабочую область в известных устройствах осуществляется по коаксиальной схеме.

Благодаря своей малой массе щуп может держаться в гнезде розетки контролируемого разъема без дополнительной поддержки, освобождая руки оператора. Расширение функциональных возможностей устройства достигается применением в нем универсального или сменного адаптера. Головка щупа, непосредственно вставляемая в гнездо розетки ОР, выполняется прямой или регулируемой по направлению с возможностью отклонения от оси на угол до 60° (устройство VFS1B фирмы Noyes).

При разработке тестового гнезда щупа особое внимание уделяется достижению расположения формируемого изображения в центре экрана видеодисплея. Для этого могут быть использованы прецизионные направляющие компоненты, а также внешние подстроенные элементы.

В отличие от ручных микроскопов в телевизионных приборах из-за заметной большей потребляемой мощности функции источника питания выполняют преимущественно сетевые адаптеры и NiMH-аккумуляторы. В случае питания от аккумулятора время непрерывной работы составляет примерно 2–3 ч. Для более экономного расходования емкости аккумулятора управляющий контроллер прибора обычно осуществляет отключение питающего напряжения в случае длительного нахождения в состоянии покоя (функция auto-off). Величина задержки может регулироваться пользователем. При отсутствии этой опции типовая величина данного параметра составляет около 100 с. По оценкам разработчиков компании Prior, наличие функции auto-off увеличивает продолжительность использования устройства при полностью заряженной батарее примерно в 20 раз.

Для придания изделию необходимой функциональной гибкости и универсальности светочувствительная ПЗС-матрица тестового щупа формирует сигнал изображения в бытовом телевизионном формате, чаще всего NTSC. Гораздо меньшая популярность стандарта PAL и тем более SECAM обусловлена тем, что основная масса телевизионных микроскопов выпускается североамериканскими компаниями. Наличие стандартного телевизионного выхода дает возможность вывода изображения на обычный контрольный монитор и в случае необходимости использование микроскопа в производственной лаборатории. При работе на объекте воспроизведение торцевой поверхности наконечника вилки проверяемого ОР может быть выполнено как на штатное видеоконтрольное устройство типа терминала, так и на другие устройства визуального отображения. Для поддержки этой опции применяется конвертор полного цветного телевизионного сигнала в цифровой формат интерфейса USB. Это дает возможность подключения тестового щупа к базовому блоку рефлектометра или непосредственно к ПК и последующей обработки полученного изображения средствами вычислительной техники.

Конвертор может быть встроен в тестовый щуп. По данной схеме построен, например, телевизионный микроскоп типа FIP-USB фирмы EXFO, разработчик которого заложил в него возможность непосредственного подключения к базовому блоку рефлектометрической измерительной системы FTB-400. При работе по второй схеме применяется внешний конвертор-приставка, включаемый между щупом и терминалом по схеме «на проход» (устройства серии VCP компании Noyes). Это позволяет очень гибко изменять стандарт выходного телевизионного сигнала, а также снимает проблему выбора типа интерфейсного разъема шнура тестового щупа.

Наряду с использованием в качестве самостоятельного прибора телевизионный микроскоп может быть выполнен в форме сменного модуля измерительной системы. При этом на практике в качестве базового блока такой системы находят применение как специализированные изделия (устройство VFS-1 компании Noyes), так и универсальные измерительные системы (например, в перечень сменных блоков модульной измерительной системы Agilent N3900A включен телевизионный микроскоп типа N3988A). Преимуществом такого решения является значительно более комфортный в работе большой экран, размер которого по диагонали увеличивают до 5, а в некоторых моделях даже до 10 дюймов. В этом случае режим отображения на внешнее устройство достаточно часто является основным, а изображение контролируемой торцевой поверхности после сохранения в формате JPEG может вводиться в протокол измерения (отчет), что значительно повышает его информативность.

Основные характеристики некоторых типов серийных телевизионных микроскопов приведены в табл. 81.

На сегодняшний день серийное оборудование рассматриваемой разновидности предлагается на рынке в подавляющем большинстве случаев производителями волоконно-оптических измерительных приборов напрямую. Производители СКС сравнительно редко включают телевизионные микроскопы в состав штатного оборудования выпускаемого ими продукта. Так, например, известный производитель оптической СКС типа flexOS швейцарская компания Diamond предлагает своим клиентам контрольный микроскоп под торговой маркой Remote Fiber surface Inspector.

11.7.4. Визуализаторы дефектов

Визуализаторы (visual fault finder) предназначены для визуального выявления дефектов в ОВ различных компонентов тракта передачи оптических сигналов. На практике достаточно широко распространено название этих приборов как искатели или идентификаторы дефектов (visual fault locator, visual fault identifier), визуализаторы повреждений или тестирующие устройства для проверки непрерывности волокна (Fiber Continuity Testers),

Таблица 81. Технические характеристики телевизионных микроскопов с выносным тестовым щупом

Фирма-изготовитель	Тип прибора	Тестовый щуп		Ручной видеодисплей		
		Коэффициент увеличения	Размеры, мм	Размеры, мм	Индикатор	Масса, г
Westower, США	FPB	250	107 × 36	45	ЖКИ, 2,5"	210 × 80 640
EXFO, Канада	FIP-1	200, 400 или 500	107 × 36	50	ЖКИ, 2,5"	216 × 84 500
Fluke, США	Fiber Inspector	250 или 400	109 × 33 × 33	40	ЖКИ, 2,5"	216 × 89 × 58 465
NetTest, Дания	FS-PP	250 или 400	-	-	ЖКИ, 2,5"	- 500

Приборы этой разновидности реализуют на практике естественный для волоконной оптики метод просветки и используются преимущественно для обнаружения близких к концу ОК нарушений целостности волокна, изгибов с недопустимо малым радиусом, а также качества соединения световодов. При подключении визуализатора к ОВ любой дефект (обрыв, зажим и чрезмерно сильный изгиб кабеля, неверно выполненная сварка и неправильно установленный механический сплайс и т. д.) за счет образования большого количества вытекающих мод начинает интенсивно светиться красным светом и обнаруживается оператором (рис. 193а–г).

Основой устройства является лазер Class II по IEC и FDA, генерирующий излучение красного цвета (длина волны 630–680 нм) и позволяющий ввести в стандартное одномодовое волокно сигнал мощностью порядка 700–800 мкВт. В 70–80-х гг. прошлого века в конструкции визуализатора часто использовался HeNe-лазер с рабочей длиной волны 628 нм, современные приборы реализуются исключительно на основе полупроводникового лазерного источника излучения.

В большинстве визуализаторов первого поколения в качестве источника излучения применялись полупроводниковые лазеры с рабочей длиной волны 670 нм. Начиная примерно с 2000 г., четко наметилась тенденция перехода на длину волны 650 без изменения мощности источника. Следующим естественным шагом в данном направлении является использование рабочей длины волны 635 нм. Этим обеспечивается резкое увеличение заметности области свечения, так как при одинаковой мощности излучение на длине волны 650 нм визуально воспринимается глазом человека в три раза, а на длине волны 635 нм — в семь раз ярче по сравнению с излучением на длине волны 670 нм [278]. Поэтому использование в визуализаторе рабочей длиной волны 635 нм позволяет, в частности, обнаруживать даже такие трудно выявляемые другими средствами дефекты, как близкие обрывы ОВ. При этом данная операция возможна не только в отношении шнуров на основе кабелей внутренней прокладки с 900-микрометровым буферным покрытием с окраской в стандартные маркировочные цвета и внешним защитным шлангом диаметром 3 мм, но и внутри керамических наконечников вилок ОР, см. табл. 83.

Визуализатор потенциально работает на расстояниях до 5 км и на многомодовых линиях длиной не свыше 2 км [279]. Считается, однако, что его эффективность проявляется в наибольшей степени при обнаружения скрытых дефектов оптического тракта передачи сигналов в мертвой зоне рефлектометра, то есть находящихся в монтажных шнурах, сплайс-пластинах и соединительных шнурах.

Для более эффективного выявления неоднородностей световой поток лазера визуализатора может модулироваться с частотой 1–3 Гц (так называемый пульсирующий или проблесковый, режим работы). Кроме того, промодулированный оптический сигнал этого прибора обнаруживается большинством идентификаторов активных волокон.

Таблица 82. Технические характеристики визуализаторов дефектов

Фирма-производитель	Тип прибора	Рабочая длина волны, нм	Мощность излучения, дБм	Габаритные размеры, мм	Масса, г	Тип источника питания и продолжительность функционирования, ч
Acterna, США	OVF-1	635	-5	Ø 13 × 170	50	2 × AA/ 40
EXFO, Канада	FLS-230A	650±10	-0,5	50 × 110 × 220	750	1 × NiCd/ 20
Fiberdyne Labs, США	FD-VFL1A	650±20	-4	Ø 18 × 157	67	1 × AA/ -
Kingfisher, Австралия	KI6350, KI6351	635	-0,2	Ø 18 × 171	60	2 × AAA/ 40
NetTest, Дания	VFL-650	650±10	-4	Ø 18 × 165	120	1 × AA/ 14
Optical Wavelength Laboratories, США	VFL	н/д	-2	33 × 70 × 125	154	1 × AA/ 15
Tektronics, США	TOP-300	650±20	-5	36 × 72 × 142	230	-/ 20
КБ волоконно-оптических приборов, Россия	FOD-111	650±10	0	70 × 36 × 15	50	1 × AAA/ 8

Таблица 83. Основные свойства и области применения визуализаторов с различной рабочей длиной волны

Длина волны, нм	Затухание	Заметность излучения	Особенности применения
670	Наименьшее	Средняя	Линии длиной до 5 км
650	Среднее	Хорошая	Линии длиной до 3 км. Наиболее гибкий и универсальный прибор
635	Высокое	Высокая	Линии длиной до 2 км. Предпочтителен для выявления дефектов в мертвой зоне рефлектометра

Основная масса визуализаторов имеет один оптический выход, который реализуется преимущественно на основе универсального адаптера см. рис. 192а. Существенно реже применяется исполнение интерфейса в виде вилки ОР (устройство типа Hawkeye компании Redhawk/CDT). В связи со значительным ростом популярности использования дуплексных ОР на рынке начинают появляться первые образцы приборов, позволяющих тестировать одновременно или последовательно два волокна, см. рис. 192б. Для этого в приборе устанавливается два лазера, каждый из которых может работать в непрерывном или пульсирующем режиме. Выбор режима работы каждого излучателя, а также его отключение осуществляются индивидуальным движковым переключателем. Положение переключателя наряду с интуитивно понятной маркировкой (CW, off, mod) дублируется индивидуальным красным индикаторным СД. В качестве примера отметим устройство типа MVFL (MT-RJ Visual Fault Locator) фирмы Optowise с интерфейсом на основе розетки MT-RJ. Для расширения функциональных возможностей устройства в состав его штатных аксессуаров введена приставка с вилкой разъема MT-RJ. Основным назначением этого элемента является подача световых потоков отдельных лазеров основного блока на индивидуальные розетки универсальных адаптеров разъемов с диаметром наконечника 2,5 и 1,25 мм. Чаще, однако, данная задача решается с помощью комбинированного оптического шнура, симплексные вилки которого подключаются к разъемам визуализатора.

В связи с началом массового использования ленточных кабелей и многоволоконных ОР группового типа в практику начинают внедряться первые образцы визуализаторов, ориентированных на их тестирование. Компанией Noyes предложено устройство типа NOY-MT-Tracer, которое рассчитано на работу с разъемами MTP. Прибор содержит 12 отдельных лазеров с рабочей длиной волны 650 нм и мощностью 1 мВт, каждый из которых освещает отдельное ОВ. Включение излучателей осуществляется циклически самим прибором, а также может устанавливаться оператором вручную. Для облегчения



Рис. 192. Визуализатор дефектов волоконно-оптического тракта: а) с одним оптическим выходом; б) с двумя оптическими выходами

анализа состояния отдельных волокон ленты в состав комплекта визуализатора может быть введен удаленный блок (дисплей) с индивидуальными индикаторными окошками.

Конструктивно моноблочный визуализатор может быть оформлен в трех вариантах. Наибольшее распространение получило его исполнение с корпусом цилиндрической формы, габариты и форма исполнения которого достаточно близки к авторучке (визуализатор-авторучка). Данное визуальное сходство часто усиливается тем, что корпус снабжается пружинящим зажимом, который делает существенно более удобным его хранение в нагрудном кармане. Несколько уступают ему по популярности корпуса оригинальной формы (Siemon, Hubbell). При этом в случае применения для питания одной батарейки формата AAA вполне возможно исполнение прибора в виде брелока (устройство типа FOD 111). Существенно реже производитель, исходя из стремления к максимально полной унификации своей продукции даже ценой существенного ухудшения массогабаритных характеристик, использует для монтажа схем визуализатора корпус от прибора другого назначения, чаще всего приемника оптического тестера (компания EXFO).

Наличие в визуализаторе ОР вынуждает применять специальные меры по защите его от загрязнения. Для решения этой задачи, кроме традиционного защитного колпачка, в большинстве случаев в комплект поставки прибора вводится жесткий футляр, размеры которого примерно соответствуют портсигару. Внутри футляра предусматривается мягкая вкладка с гнездами под визуализатор, запасные батарейки, сменные адаптеры различных видов и т. д.

Простота технической реализации визуализаторов в сочетании с достаточно высокой эффективностью их практического применения способствует массовому предложению этих изделий на рынке. Основные параметры некоторых моноблочных вариантов данного вида оборудования приведены в табл. 82. Из нее следует, что наиболее востребованы пользователями универсальные приборы, работающие на длине волны 650 нм.

За счет применения визуализаторов можно естественным образом расширить функциональные возможности рефлектометра. При этом в старших мо-

делях этого оборудования практикуется исполнение визуализаторов в форме сменного модуля с обычным форм-фактором. В оборудовании среднего и низкого уровней часто используется встроенное непосредственно в корпус исполнение этого устройства (микрорефлектометр M100 компании Noyes) или в сменный модуль оптической измерительной головки (кабельный тестер DTX фирмы Fluke).

Визуализатор как прибор достаточно редко включается в состав технологического оборудования СКС на правах штатного устройства, используемого по прямому назначению. В качестве примера исключения, подтверждающего это правило, отметим устройство типа OFAULT1, входящее в состав СКС компании Hubbell. Существенно чаще визуализатор поставляется производителями СКС как устройство для контроля правильности установки вилок иммерсионных ОР. При этом он может иметь собственный код для заказа (устройство FT-MTVFL компании Siemon) или же входить в состав набора инструментов (фирма Corning).

11.7.5. Дополнительные функциональные возможности визуализатора

Кроме собственно выявления дефектов, визуализатор дает возможность проверки качества полировки и наличия загрязнений на торцевой поверхности волокна. Для этого прибор включают в режим «на просвет» и направляют выходной световой поток разъема на плоскую поверхность. По характеру получаемого при этом светового пятна можно сделать достаточно адекватный действительности вывод о качестве обработки и состоянии торцевой поверхности наконечника ОР (рис. 193е).

В некоторых ситуациях с помощью визуализатора удастся с достаточно высокой точностью локализовать место повреждения ОК с полным обрывом волокна даже в том случае, если место разрушения световода при подключении визуализатора не светится видимым светом. Для поиска места повреждения на ОВ надевают ответвитель изгибного типа (ответвитель-защелку, slip-on-ответвитель). Отсутствие свечения места изгиба с высокой достоверностью свидетельствует о том, что место повреждения находится между точками подключения визуализатора и ответвителя.

Указанные приемы не получили широкого распространения на практике из-за того, что предъявляют повышенные требования к квалификации оператора. Кроме того, некоторые из них требуют применения достаточно дорогого специализированного оборудования.

Кроме использования по своему прямому назначению, то есть для обнаружения дефектов, визуализаторы на практике часто применяются для простых проверок оптических компонентов и трактов методом просветки, контроля правильности подключения монтажных шнуров к розеткам в коммутацион-

ных устройствах, а также для идентификации отдельных ОВ при сварке (рис. 193д). Эти приборы обеспечивают также достаточно высокую эффективность идентификации отдельных кабелей жгута при отсутствии на них технологической или финишной маркировки.

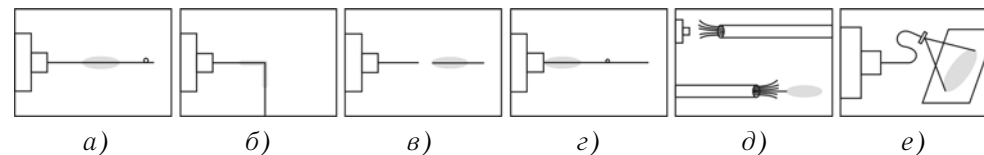


Рис. 193. Использование визуализатора дефектов для решения задач контроля волоконно-оптического тракта: а) выявление дефектов в мертвой зоне рефлектометра; б) контроль соблюдения минимально допустимого радиуса изгиба; в) оптимизация процедуры установки механического сплайса и вилки оптического разъема с механической фиксацией; г) проверка отсутствия обрыва волокна в наконечнике вилки оптического разъема; д) выявление ошибок разводки коммутационных устройств; е) проверка качества обработки и чистоты торцевой поверхности наконечника вилки оптического разъема

В последнее время большую популярность приобретает использование визуализаторов в качестве составного элемента комплекта технологических приспособлений для установки иммерсионных ОР. Это обусловлено тем, что подсветка места стыка ОВ вилки и линейного кабеля позволяет очень эффективно выявлять отсутствие их прямого контакта, который является необходимым условием достижения высокого качества монтажа (так называемая процедура оптимизации установки механического сплайса), см. рис. 190в. С учетом этого обстоятельства ряд производителей вилок разъемов иммерсионного типа применяют для изготовления хвостовой части корпуса своей продукции прозрачный полимер.

11.8. Выводы

Из двух основных параметров, определяющих качество передачи информации по каналам оптической связи: дисперсии (ширины полосы пропускания) и затухания — в технике СКС инструментально контролируется только общее затухание отдельных стационарных линий и кабельных трактов (каналов) на их основе. Выполнение норм по дисперсионным искажениям обеспечивается производителем элементной базы и соблюдением ограничений стандартов СКС и активного сетевого оборудования на длину тракта передачи сигнала.

В отличие от подсистем на базе кабелей из витых пар в оптической подсистеме из-за малого затухания волокна как среды распространения информационного сигнала отсутствует необходимость введения отдельных норм по до-

пустимому затуханию стационарных линий и реализованных на их основе простых трактов. Допустимое затухание составного тракта численно равно сумме затуханий входящих в его состав отдельных стационарных линий.

Основным тестирующим прибором в технике СКС является измеритель оптических потерь. В случае реализации данной разновидности оборудования в виде модуля измерительной системы или приставки к устройствам для тестирования витопарной части проводки с его помощью могут быть выполнены не только верификационные, но и сертификационные измерения. Применение оптического рефлектометра предусматривается стандартами, однако из-за значительной стоимости этой разновидности измерительного оборудования, а также некоторого неудобства в определении общего затухания тестируемого объекта «от разъема до разъема» его использование наиболее предпочтительно в процессе строительства, во время поиска неисправности и проверки качества выполнения восстановительных работ при авариях в линейной части магистралей.

Методы определения затухания отдельных компонентов СКС и смонтированных из них линий унифицированы с методами, применяемыми в сетях связи общего пользования и нормированными на уровне стандартов. Основным способом определения фактического значения затухания стационарных линий оптической подсистемы и составных трактов без оконечных шнуров структурированной проводки при работе с измерителем оптических потерь на этапе приемо-сдаточных и сертификационных испытаний является метод одного тестового шнура.

Достоверность результатов инструментального контроля затухания, выполняемого с помощью измерителя оптических потерь, увеличивается в том случае, если апертурные характеристики излучателей измерителя и сетевого интерфейса согласованы между собой, например за счет ранжирования излучателей по параметру CPR. Не менее важное значение имеет подавление оболочковых мод и достижение квазиравновесного состава излучения на входе многомодовых линий.

Характерные особенности построения кабельных трактов структурированной проводки и, в частности, их сравнительно небольшие протяженности накладывают определенную специфику на процесс организации измерений. В частности, при определении затухания имеет смысл измерять параметры одновременно пары волокон, а для достижения приемлемой точности измерений необходимо использовать катушку смесителя мод. Оптические рефлектометры, используемые при измерениях трактов СКС, должны иметь повышенную разрешающую способность в сочетании с умеренным динамическим диапазоном.

Соотношение объемов витопарной и волоконно-оптической элементной базы, поставляемой и монтируемой в подавляющем большинстве проектов, таково, что для тестирования отдельных компонентов и смонтированных из них объектов оптической подсистемы наиболее целесообразно применение

приставок к кабельным сканерам. Их преимуществом является возможность контроля в одном цикле измерений параметров одновременно пары волокон, формирования стандартного отчета с фактическими численными значениями измеряемых и рассчитываемых параметров, их запасами по отношению к требованиям стандартов и общим выводом в форме «прошел / не прошел», а также отсутствие необходимости переучивания обслуживающего персонала. Дополнительным доводом в пользу данного оборудования является его стоимость, которая практически эквивалентна стоимости обычного оптического тестера. Использование автоматического измерителя, предоставляющего сервис аналогичного уровня, целесообразно только в случае специализации монтажников системного интегратора или группы эксплуатирующей организации на работах в области оптических подсистем СКС.

ГЛАВА 12

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ АКТИВНОЕ СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ С ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ТЕХНИКЕ СКС

Создание структурированной проводки в здании или даже группе зданий давно превратилось в самостоятельное направление бизнеса. И тем не менее построение СКС для основной массы компаний, работающих на рынке ИТ, зачастую является первым этапом в построении информационной инфраструктуры предприятия заказчика. В такой ситуации за процессом монтажа собственно СКС в рамках реализации конкретного проекта немедленно начинаются поставка и установка значительных объемов самого разнообразного сетевого оборудования. На ранних этапах развития техники СКС функция выбора оборудования, на основе которого строятся более высокие уровни ИВС, а также его адаптации к условиям конкретного проекта, была прерогативой системных интеграторов. Начиная с середины 90-х гг. прошлого века к поставке активных сетевых приборов значительно чаще начали подключаться компании, специализирующиеся в области производства как отдельных компонентов СКС, так и системы целиком. Их интерес к данному направлению деятельности наряду с увеличением объемов продаж за счет расширения спектра предлагаемого оборудования обусловлен таким немаловажным фактором, как предоставление своим клиентам и партнерам существенно более полного решения из одних рук и связанным с этим рыночным преимуществом над конкурентами.

Правила и принципы построения СКС как технического объекта достаточно скрупулезно описаны в стандартах. Как сложная техническая система, нередко насчитывающая в своем составе десятки тысяч отдельных элементов, СКС имеет четко установленный состав компонентов, интерфейсы и структуру, среди которых принципиально отсутствуют активное оборудование и источник питания. Различные производители СКС и оборудования для их создания по-разному подходят к проблеме введения в состав своей системы как рыночного продукта активных сетевых устройств, не входящих в область действия общепризнанных нормативно-технических документов. Значительная часть таких производителей строго следуют «букве закона» и вообще не упоминают конкретных активных сетевых устройств в своих каталогах. Другие, основываясь на перечислен-

ных выше преимуществах, в большем или меньшем объеме вводят в состав своих СКС как рыночного продукта самые разнообразные активные приборы, иногда выделяемые в отдельную подсистему с присвоением собственной торговой марки. В число этих фирм входят такие известные производители рынка СКС, как Ortronics (система волоконно-оптических преобразователей среды TRANSOPTIX), Nexans (волоконно-оптические устройства нижнего уровня серии FIBERCON) и некоторые другие.

Перечень дополнительного оборудования, предлагаемого потребителю производителем СКС, на практике отличается очень большим разнообразием, что является естественным следствием универсальности трактов современных кабельных систем. В этой области известно предложение с включением в официальный каталог устройств радиосвязи, передачи телевизионных программ и программ вещания, сигналов различных датчиков пожарно-охранной сигнализации, разнообразных приборов ЛВС и т. д. Само собой разумеется, что в данной ситуации наиболее целесообразным оказывается применение оборудования нижнего уровня. Во-первых, оно непосредственно потребляет ресурсы СКС и является для пользователей и монтажников «логическим продолжением» кабельной системы. Во-вторых, от этих приборов в силу специфики области применения не требуется получения достаточно высоких и тем более рекордных параметров, а типовой характер и большой объем производства устанавливаемой в их схемах элементной базы позволяют эффективно минимизировать стоимость готового продукта.

В соответствии с темой монографии ограничимся рассмотрением только активных устройств, имеющих волоконно-оптический интерфейс.

Последние несколько лет практики построения СКС ознаменовались быстрым ростом объемов применения оптических решений на всех уровнях реализации самых разнообразных проектов. Объективными предпосылками такого положения дел являются такие известные преимущества техники оптической связи, как высокая пропускная способность тракта передачи сигнала, существенно большая дальность действия, обеспечение гальванической развязки источника и получателя сообщения, нечувствительность к электромагнитным помехам и т. д. Не последнюю роль играет также значительное снижение стоимости волоконно-оптической элементной базы и внедрение в широкую практику методов монтажа, не требующих применения дорогого прецизионного оборудования и доступных монтажникам средней квалификации.

В настоящее время известны четыре основных подхода к построению конечного участка кабельной проводки на базе волоконной оптики, в соответствии с которыми ОК доводится прямо до пользователей или же заканчивается в непосредственной близости от их рабочих мест: обычная горизонтальная подсистема СКС, централизованная оптическая система (см. параграф 1.3.3), концепция fibre to the desk (FTTD) и концепция fibre to the office (FTTO), достаточно часто называемая также fibre to the room (рис. 194). Из-за близости

основных идей, заложенных в основу построения перечисленных структур, конкретные технические решения по их реализации оказываются очень похожими друг на друга. Наиболее существенная разница между ними заключается в основном в том, что горизонтальная подсистема и централизованная оптическая архитектура СКС имеют четкие и достаточно жестко заданные количественные ограничения на основные параметры тракта, определяемые стандартами СКС без привязки к какому-либо сетевому интерфейсу. Концепции FTTD и FTTO являются, скорее, принципами построения ЛВС с опорой на соответствующие стандарты волоконно-оптических интерфейсов сетевой аппаратуры и не описаны в известных нормативно-технических документах. Сразу же отметим, что в независимости от исходных посылок все рассматриваемое далее оборудование может использовать тракты СКС для передачи информации, так как параметры трактов, задаваемых стандартами СКС и ЛВС, оказываются достаточно близкими, а имеющиеся отличия не носят принципиального характера.

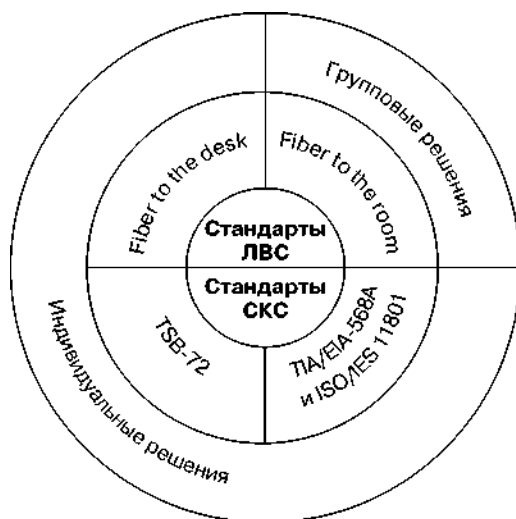


Рис. 194. Варианты подходов к построению волоконно-оптических трактов на нижнем уровне кабельной проводки информационной инфраструктуры предприятия

12.1. Оборудование ЛВС инсталляционного типа

12.1.1. Общие принципы построения инсталляционных устройств

Инсталляционные устройства позволяют реализовать на практике принцип FTTO. Общими характерными отличительными чертами данной разновидности сетевого оборудования являются:

- установка непосредственно в офисном помещении с обязательным использованием декоративных коробов или других функционально аналогичных монтажных элементов;
- ориентация на использование на нижнем уровне ЛВС и обязательное наличие стандартного пользовательского интерфейса (в подавляющем большинстве случаев гнезда модульного разъема, в середине 90-х гг. прошлого века иногда встречался разъем AUI) для подключения рабочей станции и других аналогичных устройств (принтеров, сканеров и т. д.), то есть устройств, не предъявляющих в общем случае высоких требований к потребляемому объему сетевых ресурсов;
- предоставление индивидуальному пользователю или их небольшой группе канала связи конкретного сетевого стандарта с максимальной скоростью передачи информации вплоть до 1 Гбит/с, иногда используемого в режиме разделения его пропускной способности;
- применение многочисленных схемных и конструктивных решений, являющихся в некоторых случаях уникальными для активного сетевого оборудования ЛВС и позволяющих в максимально полной степени адаптировать эти приборы к специфическим условиям их установки и функционирования.

Приборы рассматриваемого класса были широко внедрены в практическую эксплуатацию еще в середине 90-х гг. прошлого века. В настоящее время они серийно выпускаются достаточно многочисленной группой производящих компаний и получили заметную популярность на рынке немецкоязычных стран [1]. Перечень типов предлагаемых устройств стандартов Ethernet и Fast Ethernet в основном совпадает с номенклатурой сетевых приборов нижнего уровня традиционного дизайна. Он включает в себя трансиверы, репитеры, преобразователи среды и коммутаторы с небольшим количеством портов различных видов, причем наибольшую популярность получил именно последний вариант оборудования, см. табл. 84. Известные устройства для поддержки функционирования других приложений представлены концентраторами Token Ring с опцией автоматического выбора скорости передачи 4/16 Мбит/с. Данная разновидность оборудования распространена заметно меньше, что отражает сложившееся в мировой практике соотношение в объеме производства приборов этих сетевых стандартов. В самом конце 90-х гг. в иностранной технической периодике появилась информация о завершении некоторыми фирмами разработки концентраторов АТМ, однако какие-либо даже упоминания об их широкой коммерческой продаже были неизвестны. Так, в частности, в официальном каталоге фирмы Telegartner на 2000 г. для концентратора АТМ не приводится никаких технических данных, само устройство не имеет номера для заказа, а детали его поставки предлагалось обсуждать каждый раз отдельно по специальному запросу.

Таблица 84. Номенклатура инсталляционных приборов с волоконно-оптическим интерфейсом различных производителей*

Фирма-производитель	Преобразователь среды Ethernet	Преобразователь среды Fast Ethernet	Трансивер Ethernet	Концентратор Ethernet	Концентратор Fast Ethernet	Микрокоммутатор Fast Ethernet	Концентратор Token Ring	Тип разъема оптического порта
Ackermann, Германия				•				ST
ADC Telecommunications, США	•							ST
Alcatel, Франция				•	•		•	ST, SC, MT-RJ, VF-45
Dafur, Германия				•	•	•	•	ST, SC, MT-RJ
Fiber Craft, Германия		•		•	•	•		E-2000
FiberLan, Германия				•	•	•	•	ST, SC
Microsens, Германия	•		•	•	•	•	•	ST, SC
Telegartner, Германия				•	•	•	•	ST, SC, MT-RJ, LC
Telesafe, Норвегия						•		SC, MT-RJ
UBF, Германия				•			•	ST

*Под термином «производство» в данном случае понимается изготовление инсталляционных устройств на собственных производственных мощностях или распространение оборудования, произведенного другими фирмами по OEM-контракту.

Серийным изготовлением устройств инсталляционного типа занимаются как производители СКС (главным образом европейские фирмы, например Alcatel, Telegartner, Ackermann), так и независимые компании. В дальнейшем мы не будем делать различий между этими производителями, так как инсталляционные приборы работают главным образом по оптическим трактам кабельной проводки здания, которая строится в основном в виде СКС. Кроме того, сложившаяся практика показывает большую популярность включения инсталляционного оборудования в состав конкретной СКС на правах OEM-приборов.

От своих настольных или 19-дюймовых аналогов общего назначения инсталляционные приборы отличаются рядом конструктивных особенностей. Как правило, данные отличия в минимальной степени затрагивают их функциональные характеристики как компонента ЛВС, однако позволяют с максимальной возможной полнотой адаптировать эти устройства к условиям монтажа и эксплуатации, являющимися достаточно специфическими с точки зрения практики использования сетевого оборудования. Установка инсталляционных устройств на штатное место выполняется по тем же принципам, что и монтаж обычной внутренней информационной или силовой розетки СКС. При этом применяется крепление на боковые стенки или днище короба, а также функционально аналогичного ему элемента (декоративная колонна, подпольная коробка и т. д.) непосредственно или через адаптер. Время монтажа и запуска в эксплуатацию согласно фирменным рекомендациям не превышает 5–10 мин, причем оно расходуется фактически только на установку прибора на штатное рабочее место, подключение кабеля блока питания, подсоединение к ОР up-link-порта линейного ОК и электрических соединительных шнуров к пользовательским портам.

Одним из первостепенных требований, предъявляемых к оборудованию, устанавливаемому непосредственно в офисном помещении, является высокий уровень эстетических характеристик. Для реализации данного условия применяется следующий комплекс мер:

- дизайн внешних декоративных элементов инсталляционных приборов обычно выполняется с учетом фирменного стиля какого-либо конкретного изготовителя монтажных компонентов СКС (коробов, колонн различных видов и подпольных коробов);
- корпус любого инсталляционного устройства конструируется таким образом, чтобы в минимальной степени отличаться по внешнему виду от обычных розеток СКС.

Достаточно часто пользователю предоставляется возможность выбора среди нескольких вариантов такого дизайна. Так, например, фирма Microsens предлагает инсталляционные приборы в вариантах для установки в короба таких производителей, как Legrand и Busch Jager. При этом базовый модуль прибора имеет одинаковое исполнение для всех вариантов и адаптируется под конкретный фирменный стиль применением съемных пластиковых декоративных крышек, накладок и других аналогичных элементов различных цветов. Декоратив-

ные элементы могут крепиться как с помощью винтов, так и на защелках. Плоская головка крепежного винта часто закрывается шильдиком и защитной крышечкой маркирующей надписи для дополнительного увеличения эстетики.

Иногда производитель инсталляционных приборов изготавливает их в двух основных вариантах: для установки в декоративные корпуса и подпольные коробки одного или нескольких конкретных производителей такого оборудования. Считается, что проигрыш за счет увеличения номенклатуры выпускаемых устройств в последнем случае полностью компенсируется таким преимуществом, как возможность монтажа без использования дополнительного адаптера.

Инсталляционные приборы в подавляющем большинстве случаев предоставляют обслуживающему персоналу и пользователю нормальный сервис сетевых устройств своего класса. В максимально полной степени сервисная поддержка обеспечивается, естественно, наиболее сложными многопортовыми представителями группы инсталляционных приборов (концентраторами и коммутаторами). Так, в частности, эти устройства в более или менее полном объеме реализуют следующие функции:

- поддерживают режим автоматического отключения электрического порта от внутренней шины в случае обнаружения его неисправности;
- обеспечивают управление по протоколу SNMP с использованием графического интерфейса;
- поддерживают возможность дистанционного формирования виртуальных сетей и установки уровней приоритета обслуживания¹;
- обеспечивают питание IP-телефонов и других аналогичных маломощных устройств непосредственно с линейного порта в соответствии со стандартом IEEE 802.3af;
- имеют микровыключатель, выведенный на переднюю панель, находящийся под откидным элементом декоративного кожуха или установленный с целью экономии места непосредственно в гнезде модульного разъема одного из пользовательских портов и предназначенный для выполнения аппаратного сброса схемы в исходное состояние².

Любой инсталляционный прибор снабжается более или менее развитым набором цветных индикаторных СД (Receive, Transmit, Collision, Power и др.), наличие которых позволяет с высокой степенью точности судить о текущем состоянии как отдельных портов самого устройства, так и сетевого сегмента в целом. Для расширения объема предоставляемой информации и увеличения эффективности ее подачи СД может работать в непрерывном и импульсном режимах. Головки данных индикаторов в большинстве случаев выносятся на декоративную крышку устройства, а в случае парной группировки розеток

¹ Характерно для устройств, разработка которых завершена в 2002 г. или позднее.

² Некоторые модели инсталляционных микрокоммутаторов компании Microsens имеют два микровыключателя, один из которых осуществляет сброс схемы в исходное состояние, а второй предназначен для восстановления заводских установок.

микроконцентратора с фиксированной конфигурацией могут располагаться между группами розеток модульных разъемов (рис. 195).



Рис. 195. Четырехпортовые инсталляционные приборы для установки в декоративных корпусах: слева горизонтальный вариант, справа — вертикальный

12.1.2. Особенности реализации оптических портов

Розетки разъема оптического порта любого инсталляционного прибора принципиально расположены в той части его корпуса, которая в режиме нормальной эксплуатации недоступна для пользователя, что, собственно говоря, является одним из основных отличительных признаков этой разновидности оборудования. Из двух возможных основных вариантов конструктивного исполнения этого порта (в виде встроенного фиксированного или сменного модуля) на основании изложенных далее причин заметно большей популярностью пользуется второй подход. Вообще говоря, практика реализации up-link-порта в виде навесного или вставного бескорпусного модуля, то есть сменного устройства, достаточно широко распространена в процессе конструирования сетевого оборудования. Наиболее существенные отличия применительно к рассматриваемой области состоят в том, что up-link-модуль инсталляционного прибора:

- в подавляющем большинстве случаев имеет только волоконно-оптический интерфейс (известны лишь единичные образцы модулей с UTP-портом, а модули с достаточно широко распространенными в сетевой технике еще в середине 90-х гг. прошлого столетия BNC-, а тем более AUI- и MII-портом в известной аппаратуре не применяются вообще);
- может быть выполнен не в форме бескорпусного slide-in-устройства, а имеет нормальный полностью закрытый корпус, характерный скорее для навесного микротрансивера;
- не содержит механических элементов переключения и оптических индикаторов.

В рабочем положении навесной модуль плотно прилегает к корпусу инсталляционного прибора, в минимальной степени увеличивая его габариты. На плоской стороне его корпуса наряду с пружинящим контактом для обеспечения непрерывности экрана предусмотрен симметричный относительно его продольной оси до-

вольно многочисленный набор разбитых на две одинаковые группы штыревых контактов (например, в приборах фирмы Microsens модуль имеет 32 контакта). Через них осуществляются подача питающего напряжения и подключение к электрической схеме основного прибора. Данная конструктивная особенность позволяет в зависимости от местных условий устанавливать модуль в одном из двух или четырех (в зависимости от производителя) положений с дискретом углового смещения соответственно 180° или 90°. Для этого на корпусе прибора предусматриваются не выступающие за его габариты две или четыре функционально равноправные колодки с контактными гнездами. Возможность выбора угла установки облегчает получение заданного радиуса изгиба световодов ОК в ограниченном пространстве декоративных коробов, напольных колонн и подпольных коробок. Достоин отдельного упоминания тот интересный факт, что каких-либо элементов дополнительной механической фиксации корпуса в рабочем положении не предусматривается, то есть модуль удерживается на своем штатном месте только силой трения штырей контактов в гнездах розетки.

Применение фиксированного порта применяется главным образом в тех ситуациях, когда разработчик стремится минимизировать установочную глубину устройства даже ценой некоторого ухудшения его монтажных параметров и увеличения габаритов той части устройства, которая выступает за короб. В качестве иллюстрации этого положения приведем данные по микроконцентраторам G014-10 и G014-100 фирмы Fiber Craft. В обоих приборах оптический порт имеет одинаковый тип ОР (Е-2000 в варианте low profile duplex для минимизации высоты), однако во втором случае применение съемного варианта модуля увеличивает минимальную монтажную глубину с 32 до 48 мм, то есть в 1,5 раза. Отметим также, что минимальное значение этого параметра у инсталляционного прибора в фиксированной конфигурации большинства производителей выбирается равным примерно 32–35 мм независимо от типа применяемого ОР исходя из габаритов широко распространенной в Европе монтажной коробки типа Е2. Функция адаптации приборов с фиксированной конфигурацией к конкретным условиям эксплуатации реализуется в некоторых конструкциях за счет возможности легкого демонтажа платы оптического интерфейса с последующим ее поворотом на 180° и фиксацией в этом положении.

Оси розеток ОР up-link-порта подавляющего большинства инсталляционных приборов в рабочем положении ориентированы параллельно плоскости монтажа устройства. Инсталляционные преобразователи среды фирмы ADC Telecommunication, входящие в состав СКС Enterprise этой компании, разработаны для монтажа в настенные лицевые пластины информационных розеток для скрытой установки. Исходя из этого розетки ОР типа ST оптического трансивера в рабочем положении оказываются перпендикулярными плоскости установки [281]. Поэтому для минимизации монтажной глубины преобразователей данные розетки расположены по бокам корпуса прибора.

Потребителям инсталляционных устройств на выбор, как правило, предлагаются два или более исполнения up-link-модулей или вариантов приборов

с фиксированной конфигурацией с розетками ОР типов SC и ST привычных проектировщикам, монтажникам и системным администраторам СКС. В данной области не исключен, однако, определенный консерватизм производителей, которые в некоторых случаях очень неохотно и с большой задержкой во времени приступают к производству приборов с оптическим интерфейсом на базе ОР типа SC и группы SFF. В основе такой консервативности лежат, вероятно, соображения минимизации стоимости и нежелания изменения отлаженного производственного процесса с учетом недоступности этого разъема для пользователя. Применение серийных изделий, построенных на основе перспективных SFF-разъемов типов MT-RJ, VF-45, E-2000, LC и других, началась примерно с 2000 г., см. табл. 84.

По своим передаточным характеристикам оптический порт известных инсталляционных приборов не имеет каких-либо заметных отличий от up-link-портов обычных сетевых устройств. Так, в частности, паспортная дальность действия наиболее распространенных многомодовых трансиверов составляет 2000 м, что является скорее данью положениям стандартов ЛВС, а не определяется, например, чувствительностью приемника. Указываемая для концентраторов Fast Ethernet дальность действия 412 м задается не энергетическими параметрами оптоэлектронной элементной базы, а определяется известными ограничениями протокольного характера на диаметр сети. В качестве особенностей отметим только необычно широкое для нижнего уровня сети предложение одномодовых вариантов и наличие одномодовых приемопередатчиков, работающих на длине волны 850 нм (основные технические параметры типичного изделия этого класса приведены в табл. 85). Более того, у некоторых производителей одномодовые устройства данного спектрального диапазона являются основными, а диапазон 1310 нм считается дополнительным. Допустимость использования подобного нестандартного и нелогичного на первый взгляд решения легко обосновывается заметно меньшей стоимостью лазерного излучателя коротковолнового оптического спектрального диапазона (см. также параграф 3.2.2) и отсутствием необходимости получения больших длин участков, обусловленной областью применения.

Таблица 85. Технические параметры коротковолнового одномодового оптического up-link-модуля инсталляционных приборов фирмы Microsens

Длина волны, нм	850
Мощность передатчика, дБм	–20
Чувствительность приемника, дБм	–32,5
Паспортная дальность действия по одномодовому ОВ стандарта G.652, м	2000
Скорость передачи, Мбит/с	100

12.1.3. Инсталляционные микроконцентраторы и микрокоммутаторы

Из данных табл. 84 следует, что наиболее популярной разновидностью инсталляционных устройств являются групповые многопортовые устройства (концентраторы и коммутаторы Ethernet и Fast Ethernet), хотя бы один тип из которых присутствует в стандартном предложении всех без исключения производителей. Любой такой прибор с точки зрения своего функционального назначения представляет собой обычное малопортовое устройство ЛВС, работающее по своим пользовательским портам в стандартах 10Base-T и/или 100Base-TX. Из-за относительно небольшого количества портов (не свыше 4–6 в известных моделях) они имеют, естественно, фиксированную конфигурацию с розетками модульных разъемов пользовательских портов и оптический порт в виде встроенного или съемного up-link-модуля, предназначенного для поддержания соединения с оборудованием более высокого уровня.

Из соображений унификации приборы, поддерживающие различные сетевые стандарты, очень часто имеют однотипные корпуса. Из-за заметного большего энергопотребления корпус устройств первых поколений, поддерживающих стандарт Fast Ethernet и не имеющих встроенной функции автоматического определения скорости передачи, при одинаковых внешних габаритах часто снабжался более или менее развитой перфорацией. Эти отверстия охлаждения облегчали обеспечение нормальных температурных режимов активных компонентов электронной схемы прибора, и кроме маркирующей надписи, являлись фактически единственным визуальным отличием от своего менее скоростного прототипа.

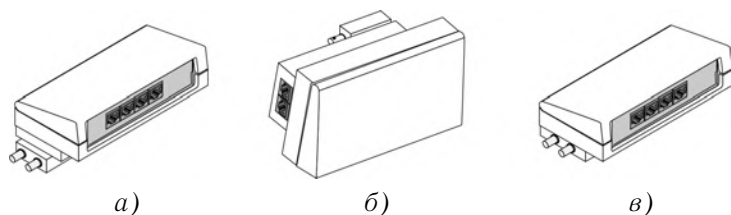


Рис. 196. Варианты конструктивного исполнения многопортовых инсталляционных приборов:

- а) со съемным модулем волоконно-оптического up-link-порта;
- б) с дополнительными электрическими портами;
- в) с фиксированным волоконно-оптическим портом

Розетки электрических портов, предназначенные для подключения рабочих станций пользователей и других сетевых устройств типа IP-телефонов, принтеров, сканеров и т. д., в известных конструкциях размещаются в верхней части корпуса и могут выполняться в вариантах с прямой и угловой установками. При этом находят использование две основные конструктивные схемы.

Первая из них заключается в формировании общей однорядной линейки, основным отличительным признаком второй схемы является парная группировка розеток с их размещением в отдельных независимых блоках с идентичным внешним исполнением. Достоинством первого варианта является большая плотность портов и возможность увеличения их количества в случае поступления соответствующего заказа без радикальной переработки конструкции¹. Наиболее существенным преимуществом второго решения является повышенная монтажная гибкость, так как розеточные блоки в зависимости от исполнения размещаются при этом друг над другом (так называемый вертикальный вариант) или рядом друг с другом (горизонтальный вариант).

Достаточно широко распространена реализация розеточного блока в виде сборки, в котором электрические схемы легкоъемной верхней части соединяются со схемами стационарного основания коротким отрезком гибкого ленточного кабеля. Это дает возможность легко изменять ориентацию розеток электрических модульных разъемов пользовательских портов в зависимости от конкретных условий монтажа перестановкой блоков и применять один и тот же тип многопортового инсталляционного прибора для установки в вертикальном и в горизонтальном участках короба.

Развитием идеи парной группировки розеток является конструктив розеток приборов серии Fiber Share компании Nexans. В них за счет радикальной переработки конструкции с целью минимизации ее габаритов и, вероятно, в сочетании с применением более современной элементной базы розетки электрических портов сгруппированы в одном модуле квадратной в плане формы уже по три или четыре. Это несколько снижает затраты времени на адаптацию микроконцентратора к конкретным условиям его установки.

Количество электрических портов составляет в известных моделях от двух до восьми при наибольшей популярности четырехпортового исполнения. Последнее объясняется, скорее всего, высокой эффективностью применения именно таких приборов для обслуживания группы из четырех рабочих столов пользователей широко распространенных за рубежом открытых офисов. Известно также решение дополнения магистрального оптического порта двумя внутренними электрическими со стандартной дальностью действия 100 м. Эти порты реализуются на розетках модульных разъемов, аналогично оптическим также недоступны пользователю в режиме нормальной эксплуатации и предназначены в первую очередь для подключения к микроконцентратору двух портов удаленных информационных розеток. Иногда данная особенность отражается в названии устройства, например 6+2 Port Ethernet Installation Hub компании UBF (шесть пользовательских портов и два порта расширения). При этом в отличие от оптического порта данные порты, кроме места установ-

¹ Используемая элементная база позволяет, например, в приборах компании Microsens обслуживать до 8 устройств ЛВС.

ки и назначения, не имеют каких-либо отличий по своим телекоммуникационным параметрам от внешних портов. Отметим также, что ограниченные габариты корпуса микроконцентратора не позволяют использовать такое решение в приборах с конфигурацией, фиксированной по оптическому порту.

Инсталляционные приборы обеспечивают в некоторых случаях также возможность каскадирования. Необходимым условием поддержки этой функции является наличие электрического порта в «линейной», то есть применительно к данной области скрытой от пользователя части устройства. В частности, каскадирование допускают устройства серии Fiber Share TP3+ фирмы Nexans.

Применяемая при построении инсталляционных устройств современная элементная база за счет своего минимального энергопотребления обычно не создает проблем с обеспечением нормальных температурных режимов даже при работе в ограниченном пространстве декоративных коробов. В тех случаях, когда данное условие не выполняется, что характерно в первую очередь для микрокоммутаторов и некоторых концентраторов Fast Ethernet ранних моделей, разработчик использует уже упомянутую выше перфорацию корпуса и миниатюрный вентилятор системы принудительного охлаждения. Установка вентилятора считается нерациональным решением из-за появления неприятных акустических шумов, нежелательных в офисном помещении.

12.1.4. Особенности электропитания инсталляционных устройств

В полном соответствии со сложившимися к настоящему времени традициями техники ЛВС блок питания электронных компонентов инсталляционных устройств постоянным током может быть выполнен по внешней или внутренней схеме. Схема внешнего по отношению к питаемому прибору источника используется обычно в преобразователях среды, репитерах и других однопортовых устройствах и известна в двух вариантах. Наибольшее распространение имеют блоки питания «инсталляционного типа», то есть устанавливаемые в соседней монтажной коробке, закрытые декоративной крышкой и часто недоступные пользователю. При этом для улучшения массогабаритных показателей и достижения большей экономичности решения в целом один такой источник может использоваться в групповом режиме, то есть допускается подключение нескольких приборов (чаще всего двух). Схема навесного источника в виде обычного внешнего сетевого адаптера электропитания встречается крайне редко из-за ее эксплуатационных неудобств (опасность случайного отключения и необходимость применения отдельной розетки). Она используется, например, в 3-портовом микроконцентраторе типа Fiber Share 3+ фирмы Alcatel. Встроенное исполнение блока питания более характерно для многопортовых приборов различных типов.

Подача сетевого питающего напряжения и подключение заземляющего проводника на устройства со встроенным источником осуществляются через

клеммную колодку на корпусе, где предусмотрен также дополнительный пластиковый фиксатор силового кабеля. Клеммы колодки рассчитываются обычно на стандартный провод с площадью поперечного сечения жилы 1,5 мм². Только фирма Fiber Craft использует для этого в некоторых своих изделиях уже интегрированный в корпус 30-сантиметровый отрезок силового кабеля.

Из соображений расширения функциональной гибкости и эксплуатационной надежности схемные решения блока питания выбираются таким образом, чтобы обеспечить нормальное функционирование инсталляционного прибора при изменениях сетевого напряжения в достаточно широких пределах (обычно это диапазон от 85—100 до 240—265 В, иногда разбиваемый на два поддиапазона с номинальным напряжением 110 и 220 В, выбираемых переключателем). Это дополнительно решает также проблему подключения к силовой электрической сети с различным номинальным напряжением. В подавляющем большинстве случаев источник питания подключен к силовой сети постоянно, хотя в некоторых случаях предусматривается обычный малогабаритный выключатель, устанавливаемый по специальному заказу (фирма Telegartner).

В период после 2000 г. на рынке начали появляться инсталляционные устройства, питание которых осуществляется через порт USB или разъем для подключения манипулятора-мыши. В некоторых многопортовых инсталляционных устройствах реализована функция покоя. Суть этого решения состоит в том, что при неработающих сетевых приборах устройство принудительно переводится в режим минимального энергопотребления с отключением части электронных схем. При этом потребляемая мощность уменьшалась до уровня примерно 20—25 % от номинального значения. Например, для четырехпортового микроконцентратора Fast Ethernet типа ISABEL 100 фирмы Dafug мощность, потребляемая от сети питания в состоянии покоя, составляет 1 ВА против 5 ВА при работе в режиме полной нагрузки. Основанием для введения этого режима является то, что прибор даже в рабочие дни большую часть времени (13—14 ч в сутки, например с шести вечера до восьми утра) фактически полностью отключен от ЛВС, так как в это время рабочие станции пользователей не функционируют. Приведенные данные свидетельствуют о том, что основной выигрыш в данном случае достигается не столько за счет чистой экономии электроэнергии, сколько за счет снижения тепловой нагрузки на электронные компоненты схемы устройства и соответствующего увеличения его эксплуатационной надежности.

12.1.5. Экономические аспекты применения инсталляционных приборов

Технико-экономические преимущества использования инсталляционных приборов и в первую очередь их многопортовых разновидностей при реализации конкретного проекта определяются несколькими обстоятельствами. Во-пер-

вых, эти устройства не накладывают 100-метрового ограничения витой пары на длину тракта при скоростях свыше 10 Мбит/с. За счет этого они существенно расширяют свободу действий проектировщика кабельных систем здания. В частности, они позволяют реализовывать централизованные оптические архитектуры СКС и даже подключать к сети удаленные до 2000 м небольшие рабочие группы. Во-вторых, за счет уменьшения расхода ОК и числа оптических интерфейсов обеспечивается заметное уменьшение капитальных затрат на организацию связи (пример приведен в [282]). В-третьих, в процессе модернизации сети они снимают требование замены закупленных ранее сетевых адаптеров ЛВС с UTP-интерфейсом. Совокупность этих обстоятельств означает, что процесс миграции в направлении перспективных чисто оптических сетей становится для заказчика более плавным и не столь болезненным по финансовым затратам. И наконец, в-четвертых, использование многопортовых приборов уменьшает число портов коммутационных приборов и линейных интерфейсов активного оборудования в технических помещениях, что положительно сказывается на объеме и стоимости монтажных конструктивов.

Таблица 86. Сетевое волоконно-оптическое оборудование ЛВС с оптическим разъемом оригинальной конструкции

Производитель	Тип СКС	Тип разъема	Поддерживаемые стандарты	Состав оборудования
ЗМ, США	Volition	VF-45	10Base-FL, 100Base-SX, 100Base-LX, 1000Base-X, 802.5j	Преобразователи среды 802.3, 802.3u и 802.5j, сетевые адаптеры, концентраторы, коммутаторы
Alcatel, Франция	Alcatel Cabling System	MT-RJ	10Base-FL, 100Base-SX, 802.5j	Преобразователи среды 802.3, 802.3u и 802.5j
Fiber Craft, Германия	Flex OS	E-2000	10Base-FL, 100Base-LX	Сетевые адаптеры, преобразователи среды 802.3 и 802.3u, микроконцентраторы, коммутаторы

Заявленная некоторыми производителями инсталляционных приборов 75%-ная экономия средств в случае применения многопортовых изделий вместо традиционных сетевых адаптеров и конверторов также с оптическим интерфейсом никогда не достигается на практике. Это обусловлено в первую

очередь значительной стоимостью самого инсталляционного прибора, вызванной, вероятно, наряду с относительно небольшими объемами их производства необходимостью применения в нем миниатюрного сетевого источника электропитания. Тем не менее она составляет примерно 50% при полном использовании емкости прибора.

Массовое внедрение устройств рассматриваемого вида несмотря на их очевидные экономические преимущества, сдерживается в основном следующими обстоятельствами технического плана:

- они требуют наличия локального источника электропитания, что при отказе силовой сети приводит к прекращению всех видов связи¹;
- инсталляционные устройства принципиально могут монтироваться только по внутренней схеме в коробах большого поперечного сечения или подпольных коробках, которые заметно увеличивают стоимость реализации СКС (фактор, особенно актуальный для нашей страны в современных условиях);
- создаваемые ими порты обслуживают только ЛВС одного типа, то есть не обладают свойством универсальности, характерным для портов СКС.

Последний недостаток в значительной степени сглаживается наличием достаточно большой гаммы концентраторов и прочих сетевых устройств различных систем, выполненных в едином конструктивном стиле и взаимозаменяемых по посадочным местам, а также готовностью производителей в широких пределах модернизировать свою продукцию в соответствии с требованиями спецификации заказчика. Кроме того, основная масса инсталляционных микрокоммутаторов ведущих производителей данной разновидности сетевого оборудования поддерживает механизм автоматического определения скорости передачи, позволяет формировать виртуальные сети, устанавливать приоритеты по отдельным портам, то есть поддерживает нормальный уровень сервиса «больших» сетевых устройств. В связи с развитием компьютерной телефонии не исключается вариант перевода на работу через инсталляционные устройства также телефонов как второго основного потребителя ресурсов СКС.

12.2. Оборудование ЛВС неинсталляционного типа

12.2.1. Общие положения

Устройства неинсталляционного типа отличаются от инсталляционных приборов только одним основным признаком, который определяет их дальнейшие конструктивные особенности: эти изделия принципиально не предназначены

¹ Данное положение справедливо только в отношении устройств, не поддерживающих стандарта IEEE 802.3af, т.е. имеющих оптический up-link-порт.

для монтажа исключительно в коробе, напольной колонке или подпольной коробке. В силу этого оптический порт их up-link-модуля легко доступен пользователю или системному администратору в режиме текущей эксплуатации и выполнение переключений, измерений, технического обслуживания и других аналогичных действий происходит существенно проще по сравнению с инсталляционными приборами.

С точки зрения принципов построения ЛВС неинсталляционные приборы в подавляющем большинстве случаев реализуют концепцию fibre to the desk. Известны лишь единичные образцы микроконцентраторов с оптическим up-link-портом, применение которых позволяет построить сеть на принципе fibre to the office.

Перечень производителей активного оборудования ЛВС неинсталляционного типа для применения в составе СКС в значительной степени совпадает со списком изготовителей инсталляционных приборов. Точно такое же положение сложилось в области поддерживаемых сетевых стандартов: основная масса оборудования рассчитана на работу в сетях Ethernet и Fast Ethernet, устройства стандарта Token Ring встречаются на практике существенно реже. Еще меньшей популярностью пользуется производство оборудования для системы AS/400, а предложение приборов ATM неизвестно вообще. Совокупность типов неинсталляционных приборов аналогично своим инсталляционным аналогам также повторяет номенклатуру обычных сетевых устройств ЛВС нижнего уровня. Однако даже на уровне объемов выпуска различных разновидностей оборудования уже наблюдаются существенные отличия: наибольшую популярность среди пользователей и соответственно производителей в этой группе находят не групповые устройства типа микрокоммутаторов и микроконцентраторов, а преобразователи среды.

В отличие от инсталляционных приборов все рассматриваемые далее устройства ориентированы на реализацию концепции FTTD. В соответствии с этим они позволяют совершить переход от так называемой базовой оптической кабельной проводки (basic cabling), когда активное сетевое оборудование продолжает использовать «медный» сетевой интерфейс, к полномасштабной оптической подсистеме СКС (complete cabling). Кроме того, применение таких приборов дает возможность существенно более эффективно реализовывать так называемую вырожденную основную магистраль предприятия (collapsed backbone), что в сочетании с большой дальностью действия создает значительно более благоприятные условия для решения задач коммутации информационных потоков и поддержки функционирования систем мультимедиа.

В общем случае все множество приборов неинсталляционного типа можно разделить на устройства, используемые непосредственно на рабочих местах пользователей, и изделия, устанавливаемые в технических помещениях.

Таблица 87. Модульные преобразователи среды «вертикальной» схемы, предназначенные для монтажа в технических помещениях

Фирма-производитель	Тип СКС	Тип устройства	Поддерживаемые оптические интерфейсы	Тип оптического разъема	Кол-во слотов	Высота	Кол-во источников питания
AMP, США	NetConnect	Modular Converter System	10Base-FL, 100Base-SX, 100Base-LX	ST, SC, MT-RJ	12	2U	2
Ortronics, США	GigaMo, GigaMo+	TRANSOPTIX	10Base-FL, 100Base-SX	ST, SC	18	2U	1
3М, США	Volition	VOL-0213	10Base-FL, 100Base-SX, 100Base-LX, 802.5j	VF-45	21	3U	2
Telegartner, Германия	Ticnet	ActiF	10Base-FL, 100Base-SX, 100Base-LX	ST, SC, MT-RJ, LC	16	3U	1

12.2.2. Устройства для применения на рабочих местах пользователей

Серийное сетевое оборудование ЛВС с волоконно-оптическим линейным интерфейсом может быть классифицировано по различным критериям. В основу классификации сетевого оборудования ЛВС, входящего в состав СКС как рыночного продукта и ориентированного в первую очередь на применение на рабочих местах пользователей, в данном конкретном случае удобно положить форму конструктивного исполнения, то есть разделить всю совокупность этих приборов на корпусные, навесные и бескорпусные устройства.

Под *корпусными устройствами* понимают приборы, обладающие полностью закрытым корпусом с выведенными на него разъемами электрического и оптического интерфейсов, элементами индикации и управления, а также разъемом для подачи питания. Такие приборы предназначены в первую очередь для настольной эксплуатации или для внешнего подключения к рабочей станции, в том числе с использованием ее разъемов и других конструктивных элементов (по приборной навесной схеме). Они являются в основном штатными компонентами оптических СКС, разработанных производителями ОР оригинальной конструкции. Наиболее развитая номенклатура таких приборов предлагается в настоящее время компаниями Fiber Craft и 3М, см. табл. 86. Производители классических СКС практикуют их включение в каталог крайне редко (например, АМР).

Навесные устройства пользуются наименьшей популярностью среди разработчиков и производителей. Они также имеют полностью закрытый корпус и на основании этого могут считаться одной из разновидностей корпусных приборов. В специальный подкласс их выделим из-за того, что они подключаются (навешиваются) непосредственно на розетку СКС. Примером продукции, выполненной по такой схеме, является преобразователь среды типа 7932NC французской фирмы INFRA+. Данное устройство входит в состав кабельной системы IBCS этой компании и поддерживает по своему электрическому порту стандарты 10Base-T и 100Base-TX (в зависимости от модификации). Питание постоянным током производится от обычного съемного силового адаптера, включаемого в соседнюю силовую розетку, подача постоянного напряжения выполняется через внешний провод со стандартной одноштырьковой вилкой. Рассматриваемое решение представляет собой настоящий мини-комплекс и интересно в первую очередь очень тесной интеграцией его активной и пассивной частей, выполненной еще в процессе конструктивной проработки. Так, в частности, розеточный модуль типа RJ OPTO (изделие 7220), на который выполняется установка преобразователя, имеет наряду с розеткой модульного разъема также розетку дуплексного оптического разъема SC. При монтаже из-за достаточно большой массы преобразователя осуществляется дополнительная фиксация его корпуса двумя винтами на штатных крепежных

резьбовых элементах розеточного модуля для придания необходимой механической стабильности. Кроме того, преобразователь снабжен внутренним Y-адаптером с двумя розетками на передней панели. Вилка этого адаптера при подключении прибора к оптическому порту входит в розетку штатного модульного разъема модуля RJ OPTO. Логическим продолжением комплекса со стороны собственно СКС является гибридный кабель типа MNC880FO, содержащий ОВ наряду с электрическими элементами с четверочной скруткой.

Аналогичной стратегии придерживается компания ADC Telecommunications, которая в составе своей СКС Enterprise предлагает оригинальный преобразователь среды для установки в настенные розетки серии 6000 (рис. 197). Немаловажным достоинством этого прибора является то, что за счет использования рабочей длины волны 850 нм он является двускоростным устройством.

Бескорпусные устройства ЛВС являются самой массовой разновидностью оборудования, используемого на рабочих местах пользователей. Одним из наиболее мощных стимулов к широкому внедрению различных разновидностей сетевого оборудования с волоконно-оптическим интерфейсом в бескорпусном исполнении является, пожалуй, заметно возросшая в последнее время популярность рабочих станций с уже интегрированными в их конструкцию сетевыми адаптерами. В этой ситуации использование традиционных навесных трансиверов и внешних преобразователей среды оказывается неудобным в первую очередь с эксплуатационной точки зрения, невыгодным по финансовым соображениям, а зачастую является просто невозможным.

Наиболее естественным для активных приборов, используемых на рабочем месте пользователя, является их бескорпусное исполнение в виде платы расширения. Дополнительным логичным и вполне интуитивно понятным обоснованием применения бескорпусных конструкций является тот факт, что на практике в подавляющем большинстве случаев различными адаптерами не занимается и половина штатных слотов типовой рабочей станции, подключаемой к обычной информационной розетке СКС.

Бескорпусные устройства ЛВС имеют традиционную конструкцию, в качестве основных функциональных модулей которой можно выделить печатную плату половинной длины с установленными на ней электронными и оптоэлектронными компонентами, а также лицевую панель с розетками разъемов различных интерфейсов, индикаторными СД и другими элементами, необходимыми при текущей эксплуатации. Предлагаемые в широкой коммерческой продаже бескорпусные приборы могут устанавливаться в разъемы шин ISA, EISA, VLB, MCA и PCI.

В перечень бескорпусного оборудования ЛВС с волоконно-оптическим интерфейсом, серийно выпускаемого производителями СКС и техники для их



Рис. 197.
Преобразователь
среды
компании ADC
Telecommunications

построения, входят сетевые адаптеры ЛВС, преобразователи среды и микро-концентраторы. Кроме своего различного функционального назначения, они принципиально отличаются друг от друга также различным потреблением технических ресурсов рабочей станции, см. табл. 88.

Таблица 88. Ресурсы рабочей станции, потребляемые различными бескорпусными устройствами ЛВС с волоконно-оптическим линейным портом

Используемый ресурс рабочей станции	Установочный слот	Источник питания	Шина для информационного обмена
Сетевой адаптер	•	•	•
Преобразователь среды	•	•	–
Концентратор	•	–	–

Исторически первым бескорпусным устройством с волоконно-оптическим интерфейсом, ориентированным именно на данную область применения, явился адаптер ЛВС различных стандартов. Из-за необходимости обмена информацией по внутреннему интерфейсу сетевые адаптеры рассчитываются на вполне конкретную шину, наибольшей популярностью из обширного перечня которых пользуются ISA и PCI.

По мере развития техники оптической связи значительно возросла популярность преобразователей среды, так как:

- они обеспечивают естественный и плавный эволюционный переход от «медного» к оптическому решению с использованием закупленных ранее сетевых адаптеров с интерфейсом под витую пару;
- при наличии сетевого адаптера решение на основе преобразователя является заметно более выгодным по финансовым показателям по сравнению со случаем установки традиционного волоконно-оптического адаптера.

В качестве примера бескорпусных преобразователей отметим устройства серии TRANSOPTIX фирмы Ortronics, которые предлагаются этой компанией для применения в составе производимых ее СКС GigaMo и GigaMo+, а также аналогичное устройство типа Fiber CON 1 PC компании Nexans, входящее в состав СКС Alcatel Cabling System. Общим в приборах последней разновидности является то, что они включаются в свободный слот рабочей станции и используют ее только в качестве источника питания и монтажного конструктива без непосредственного соединения со схемой системного блока по цепям передачи информационных сигналов. Подключение сетевого адаптера к преобразователю осуществляется коротким 4- или 2-парным шнуром с вилками модульных разъемов. Разработчики бескорпусных преобразователей особо

подчеркивают отсутствие необходимости внесения каких-либо изменений в программных настройках рабочих станций, а также минимальное вносимое время задержки передаваемого сигнала, то есть пренебрежимо малое влияние конвертора на максимально допустимый диаметр коллизионного домена сетей с разделением полосы пропускания. Последнее обеспечивается, в частности, наряду с установкой быстродействующей элементной базой также схемными решениями на основе передачи сигнала между двумя средами без выхода на уровень интерфейсов AUI и MII.

Многопортовые бескорпусные устройства представлены приборами серии DIANA (от нем. *Desk Top Integrierter Adapter für optische Netzwerk Anbindungen* — интегрируемый в компьютер адаптер для подключения к оптической сети) немецкой фирмы Daflug. Они интересны тем, что хотя формально не входят в состав конкретной СКС, однако явно ориентированы на решение задачи построения сети на принципе fibre to the desk. Данный прибор представляет собой бескорпусной 4-портовый концентратор Ethernet или Token Ring с встроенным волоконно-оптическим up-link-портом. В отличие от остальных разновидностей бескорпусных сетевых приборов в этом устройстве питание осуществляется от внешнего навесного силового адаптера, что обеспечивает работоспособность организованного с его помощью сетевого сегмента при отключенной рабочей станции.

12.2.3. Устройства для установки в технических помещениях

Активные волоконно-оптические устройства СКС, предназначенные для установки в технических помещениях, на современном этапе развития техники в подавляющем большинстве случаев представляют собой различные модификации преобразователей среды, которые не имеют каких-либо существенных отличий от обычного сетевого оборудования общего назначения. Их включение в каталог обосновывается главным образом соображениями предоставления партнеру производителя и конечному пользователю максимально полного спектра решений из одних рук.

Устройства, устанавливаемые в технических помещениях, выполняются по нескольким основным конструктивным схемам. Первая из них представляет собой обычный 19-дюймовый горизонтальный конструктив в виде корпуса высотой 1U, в отдельные слоты которого устанавливаются бескорпусные преобразователи модульного типа с традиционным расположением розеток электрического и оптического портов на лицевой панели рядом друг с другом. Примером такого исполнения являются устройства типа Fiber Con N компании Nexans. Основной областью их применения считаются сети небольшого и среднего размера, где не требуется высокая плотность портов. В такой ситуации в максимальной степени сказываются основные преимущества данной конфигурации: легкость перехода от одного сетевого стандарта к другому простой заменой модулей и определяемая этим возможность построения смешан-

ной конфигурации (например, 2 x Ethernet и 1 x Fast Ethernet). Дополнительной выгодой отказа от требования максимизации плотности портов является возможность предоставления системному администратору расширенного сервиса. Так, в частности, в модулях преобразователей среды типа FIBER CON 2G1 компании Nexans на каждый порт предусмотрены малогабаритные DLP-переключатели, с помощью которых возможны отключение режима Link и изменение назначения отдельных контактов гнезда электрического модульного разъема. Последнее свойство делает ненужным использование обращенных шнуров, что существенно увеличивает удобство эксплуатации кабельной системы.

Преобразователи среды и другие устройства с горизонтальной схемой построения и фиксированной конфигурацией встречаются на практике значительно реже по сравнению с приборами модульного типа. Так, в состав оптической СКС flex OS фирмы Fiber Craft входят 6- и 12-портовые преобразователи среды Fast Ethernet типов 6MC100 и 12MC100 соответственно. Достоин отдельного упоминания 8-портовый двухскоростной мини-концентратор типа VOL-2008 со 100-мегабитным оптическим up-link-портом на основе разъема VF-45, являющийся компонентом оптической подсистемы СКС Volition компании 3М.

Еще одной разновидностью конструктивной схемы является шасси с высотой, увеличенной до 2—3U, в котором модули преобразователей среды располагаются вертикально. Краткая сводка пробных устройств приведена в табл. 87. Характерными отличительными признаками оборудования в таком исполнении является возможность замены одного преобразователя на другой и подключение новых в режиме текущей эксплуатации без выключения источника питания (принцип hot swapping), а также широкое применение дублированного источника питания для увеличения эксплуатационной надежности решения в целом. В тех ситуациях, когда в шасси устанавливаются модули с высоким энергопотреблением, может использоваться источник питания повышенной мощности (например, High Power Supply для шасси FLX-2016 компании Diamond). Возможность удаленного управления и контроля состояния устройства обеспечивается за счет наличия встроенного Web-агента.

В третьем варианте преобразователь выполняется таким образом, чтобы получить максимально высокую плотность портов. Для этого, кроме соответствующих схемных решений, всегда используется следующий комплекс конструктивных мероприятий:

- горизонтальный принцип построения в корпусе высотой 1U (из-за своих минимизированных до предела габаритов такое решение иногда называется экономичным — economical);
- применение фиксированной конфигурации;
- установка ОП из группы SFF и пары электрических разъемов Telco (RJ71); при этом розетки ОП выносятся на переднюю поверхность корпуса, а розетки разъемов Telco монтируются на задней стенке;

- сведение до минимума количества индикаторных СД с отказом, в некоторых случаях от индивидуальной индикации состояния каждого порта.

Обращает на себя внимание тот факт, что разъемы Telco, применяемые в некоторых видах преобразователей для передачи сигналов Fast Ethernet, соответствуют по своим параметрам категории 5е, что пока нечасто встречается на практике.

Сравнение данных табл. 87 и табл. 89 показывает, что использование совокупности перечисленных мероприятий дает возможность увеличить плотность портов примерно в 2—3 раза по сравнению с модульной конструкцией (высота устройства уменьшается с 2—3 юнитов до одного). Согласно замыслу разработчиков, применение подобных преобразователей обеспечивает пользователю в первую очередь заметную экономию финансовых ресурсов за счет возможности отказа от использования дорогих плат с оптическим интерфейсом в модульных коммутаторах нижнего и среднего уровней.

Таблица 89. Многопортовые преобразователи среды с фиксированной конфигурацией, предназначенные для монтажа в технических помещениях

Фирма-производитель	Тип СКС	Тип устройства	Поддерживаемые сетевые стандарты	Тип оптического разъема	Кол-во преобразователей
Alcatel, Франция	Alcatel Cabling System	FIBERCON 24/2400	10Base-T/ 100Base-TX	MT-RJ	24
3М, США	Volition	VOL0202	10Base-T	VF-45	24
Fiber Craft, Германия	Flex OS	24MC10 Ethernet	10Base-T	E-2000	24
ADC Telecommunications, США	Enterprise	OptEnet	10/100/ 1000Base-TX – 100/100Base-SX/LX	ST, SC	16

Высокая концентрация портов в сочетании с малыми габаритами корпуса преобразователя рассматриваемой разновидности может поставить перед разработчиками задачу обеспечения необходимых тепловых режимов электронной схемы. Особенно остро данная проблема может встать в случае оборудования, поддерживающего стандарт Fast Ethernet, даже в случае применения в его конструкции современной микроэлектронной элементной базы с минимальным энергопотреблением. Так, например, паспортная рассеиваемая мощность 24-портового преобразователя FIBERCON 2400 компании Nexans дости-

гает 80 Вт против 40 Вт у преобразователя FIBERCON 24 (стандарт Ethernet). Для решения задачи обеспечения требуемых температурных параметров используется традиционный комплекс мероприятий, одним из которых является применение корпуса из алюминиевого сплава с развитой перфорацией его верхней крышки.

Кроме преобразователей среды и концентраторов, в перечне оборудования, предлагаемого производителями СКС, с конца 90-х гг. прошлого века появляются также коммутаторы. Они обладают техническими параметрами, соответствующими современным устройствам ЛВС нижнего уровня. Так, в частности, эти приборы имеют неблокируемую внутреннюю архитектуру и реализуют принцип store & forward. Для подключения к основной магистрали предприятия предусмотрен up-link-порт, реализованный в виде сменного модуля и поддерживающий стандарты Fast Ethernet и Gigabit Ethernet. Остальные технические характеристики коммутаторов приведены в табл. 90.

Таблица 90. *Параметры коммутаторов фирмы 3М из состава СКС Volition*

Модель	Стандарт	Число портов	Количество МАС-адресов	Пропускная способность шины, Мбит/с	Емкость памяти, Мбайт
VOL-0215	802.3	24	2k	480	2
VOL-0215	802.3u	16	8k	4800	2

Неинсталляционные устройства, ориентированные на установку в технических помещениях, в подавляющем большинстве случаев взаимодействуют с оборудованием на рабочих местах пользователей. В качестве примера приборов, волоконно-оптический порт которых используется для организации магистрального канала связи, отметим репитеры, концентраторы и мультиплексоры для системы AS/400 фирмы RiT Technologies.

12.2.4. Дополнительные сервисные возможности

Основная масса сетевых устройств, монтируемых в технических помещениях, обслуживает одновременно нескольких пользователей. Это достаточно остро ставит перед их разработчиками вопрос об обеспечении необходимого уровня эксплуатационной надежности как отдельного канала связи, так и всего решения в целом.

В современной технике электросвязи применяется два основных средства увеличения эксплуатационной надежности оборудования: использование качественной элементной базы и резервирование (дублирование). Достигнутый

на сегодняшний день уровень развития элементной базы позволяет разработчикам устройств рассматриваемой группы давать на них практически неограниченную по продолжительности, то есть фактически пожизненную, гарантию.

Резервирование оптических трактов передачи сигналов в технике ЛВС производится с помощью так называемых трансиверов с резервированием или с внутренним переключателем. В известном оборудовании, входящем в состав СКС, такие технические решения не применяются, вероятно, из-за их высокой надежности и малой вероятности повреждения ОК в типичных для современных офисных зданий условиях эксплуатации.

В отличие от этого достаточно часто резервируется источник питания оборудования, устанавливаемого в технических помещениях, так как его отказ в наихудшем случае сопровождается отключением от сети свыше двух десятков рабочих станций. Применяются две схемы резервирования. Первая из них основана на установке второго штатного встроенного или реализованного в форме сменного блока источника и характерна для модульных конструкций с вертикальным расположением плат конверторов. Вторая схема относится к системам с «плоской» установкой и используется, в частности, такими компаниями, как Nexans и ADC Telecommunications. Ее характерным признаком является выполнение источника питания по внешней схеме в виде 19-дюймовой полки с соответствующим количеством выходов питания, обслуживающей до шести преобразователей.

Для увеличения эффективности дистанционного контроля и управления сетью компанией Alcatel предложена система управления типа Fiber Con M, предназначенная для совместной работы с преобразователями (конверторами) серии FIBERCON 24/2400. Появление этого устройства является естественной реакцией промышленности на рост сложности ЛВС, построенных на базе СКС, и значительного увеличения объемов применения оптических решений при создании кабельной проводки. Прибор конструктивно оформлен в виде обычной 19-дюймовой полки высотой 1U. На его передней панели расположены жидкокристаллический дисплей и клавиатура, используемые для задания основных параметров. Передача управляющих команд и информационных сообщений осуществляется через ЛВС (по схеме in band) с привлечением протокола SNMP или с помощью интерфейса V.24 (RS 232). Система позволяет управлять максимум 100 отдельными преобразователями серии FIBERCON 24/2400. Кроме того, в ней предусмотрено несколько цифровых входов и разъемов для подключения чувствительных элементов датчиков различных видов (температура, влажность, открытие двери и т. д.). Это позволяет использовать ее для построения подсистемы мониторинга состояния монтажного конструктива и технического помещения в целом. В случае необходимости сигнал тревоги, который генерируется при срабатывании какого-либо датчика, автоматически отсылается по предварительно заданному оператором IP-адресу.

Основной областью применения системы считаются сложные сети с повышенными требованиями к надежности, монтируемые в аэропортах, больницах, банках, в различных силовых структурах и на других аналогичных объектах.

Рабочие станции, подключаемые к ЛВС с помощью рассмотренных в разделе 12.1 инсталляционных устройств, в подавляющем большинстве случаев разбиваются на отдельные рабочие группы известными в сетевой технике приемами (программными способами, переключателями и установкой нескольких модулей, включенных в общую шину). Отдельного упоминания заслуживает оригинальное решение, которое предложено еще в середине 90-х гг. прошлого века немецкой фирмой Dufur. Концентратор SUSI (Sharing Unit fur Switched Interface — разделяемый модуль для коммутируемого интерфейса) этого производителя сетевого оборудования ЛВС представляет собой обычное для рассматриваемой области 16-слотовое шасси с двумя источниками питания для обеспечения необходимого уровня эксплуатационной надежности. Для монтажа в слоты предназначены 4-портовые модули с тремя оптическими 10BaseFL и одним электрическим 10BaseT портами. Все модули объединены друг с другом с помощью шины концентратора. Оптические порты модулей используются только для подключения рабочих станций или небольших рабочих групп, организованных с помощью инсталляционных устройств. Электрический порт предназначен исключительно для связи с коммутатором, который целесообразно устанавливать недалеко от концентратора. В состав одного сегмента включаются все оптические порты, которые находятся в модуле с задействованным электрическим портом и в модулях со старшими номерами вплоть до следующего модуля с работающим электрическим портом, причем оптические порты последнего относятся уже к следующему сегменту. Например, если к коммутатору подключены модули 1 и 4, то аппаратно образовано два сегмента: в первом из них будет 9 портов (модули 1–3), во втором — 39 (модули 4–16). Все переключения с формированием и объединением рабочих групп выполняются автоматически без вмешательства системного администратора в момент выполнения коммутации на электрическом порте.

12.3. Прочие активные оптические сетевые устройства

12.3.1. Системы открытой оптической связи

Системы открытой, или атмосферной, оптической связи¹ применяются в тех случаях, когда прокладка ОК между связываемыми точками невозможна или нецелесообразна по различным причинам.

¹ В иностранной технической литературе для обозначения таких систем иногда применяется аббревиатура FSO — англ. free-space optic.

В отличие от систем радиосвязи оборудование открытой оптической связи обеспечивает существенно более эффективную защиту от несанкционированного доступа к передаваемой информации и не требует получения разрешения на эксплуатацию от контролирующих органов. Из-за хороших массогабаритных показателей приемо-передатчика (масса примерно 5 кг, габариты порядка 300 × 200 × 500 мм) его монтаж и последующая юстировка проблем не вызывают. Единственным серьезным ограничением является жесткое требование наличия прямой видимости между точками установки оптических головок системы [283].

В настоящее время производителями анонсированы следующие разновидности оборудования открытой оптической связи, изначально ориентированные на применение в составе СКС.

Устройство WaveStar OpticAir было разработано по заказу компании Lucent Technologies в середине 1999 г. и по сообщениям разработчиков было предназначено для применения в составе СКС SYSTIMAX [284]. Максимальная пропускная способность создаваемого с его помощью тракта передачи информации составляет 10 Гбит/с, причем для его организации используется принцип спектрального разделения оптических каналов CWDM на четырех длинах волн со скоростью передачи по каждому 2,5 Гбит/с. Указанный принцип полностью соответствует одному из вариантов организации физического уровня сетевого интерфейса 10G Ethernet (см. табл. 14). По своим параметрам WaveStar OpticAir совместима с ОК, реализованными на основе ОВ типа LazrSpeed, причем максимальная длина соединительного ОК соответствует принципам централизованной оптической архитектуры и может достигать 300 м.

Прототип системы Lightair был впервые продемонстрирован компанией Fiber Craft на выставке Cebit в 2002 г. Изделие предназначено для работы в составе оптической СКС flex OS и имеет проводной оптический интерфейс на основе ОР типа E-2000 в данном конкретном случае в многомодовом варианте. Скорость передачи информации в атмосферном канале составляет 155 Мбит/с, максимальная дальность действия в зависимости от варианта в нормальных условиях эксплуатации может достигать 500 или 1000 м.

Оборудование серии FreeLink введено компанией Corning в состав СКС LANscape в 2004 г. Всего предлагается три различных варианта исполнения, рассчитанных на скорость передачи от 10 Мбит/с до 2,5 Гбит/с при паспортной дальности связи от 500 до 4000 м.

Дальность действия систем открытой лазерной связи сильно зависит от состояния атмосферы и при благоприятных погодных условиях может достигать 5 км. При этом из соображений получения высокой устойчивости связи в большинстве случаев сами разработчики оборудования не рекомендуют увеличивать расстояние между приемником и передатчиком свыше 1 км. Существует также мнение некоторых специалистов, согласно которому в черте города в тех местностях, где часто бывают туманы, использование систем открытой

оптической связи широкого применения на трассах протяженностью свыше 200 м сопровождается чрезмерным ухудшением качества передачи информации и является нерациональным [285]. Таким образом, наибольшая эффективность оборудования данной разновидности достигается в случае необходимости быстрого налаживания связи между отдельными удаленными объектами, расположенными на общей территории, в сочетании с умеренными требованиями в общем случае в отношении качества и надежности связи [286]. Это обусловлено тем, что время установления связи и передачи линии в эксплуатации в обычных условиях не превышает 3–4 ч. С учетом перечисленных обстоятельств основной областью использования оборудования открытой оптической связи в СКС могут считаться резервные линии подсистемы внешней магистрали ИВС предприятия.

12.3.2. Кабельные сборки активного типа

Кабельные сборки активного типа предложены в 2003 г. немецкой компанией Pan Datacom Direct [287]. Изделие конструктивно представляет собой рассмотренную в параграфе 7.3.1 претерминированную кабельную сборку, в центральную часть барабана которой интегрирован 8-портовый коммутатор Ethernet с портами 100/10 и сетевой блок питания. Up-link-порт коммутатора в штатном режиме эксплуатации недоступен пользователю, а к разъемам его оптического интерфейса постоянно подключен один из концов кабеля сборки.

Основным назначением устройства является быстрое создание временных связей в штатных и аварийных ситуациях эксплуатации сети, что подчеркивается его названием Fiber optic mobile cable drum switch (другое название — mobile network extender). В зависимости от решаемой задачи прибор может выполнять функции претерминированной кабельной сборки (штатная ситуация развертывания временной сети в процессе проведения различных конференций, тренингов и т. д.) и ремонтной кабельной вставки (быстрое восстановление связей при аварии).

Работа с устройством сводится к размотке ОК, установке барабана в точке организации временных рабочих мест, подключение к коммутатору шнура питания и соединительных шнуров к сетевым адаптерам. В техническом помещении оконцованный вилкой ОР конец кабеля подключается к соответствующему порту центрального коммутатора. Для увеличения гибкости решения в комплект поставки включен переходной адаптер SC-ST.

Коммутатор сборки выполнен по схеме plug-and-play, а его подготовка к работе не требует каких-либо настроек и сводится к простой подаче на прибор питающего напряжения. Параметры коммутатора (память 2 Мбит, автоматическое переключение MDI-II/MDI-X на пользовательских портах витой пары, архитектура store-and-forward, возможность работы при температуре от 0 до 45 °С) полностью соответствуют требованиям к устройствам данного

класса. При кабеле длиной 200 м устройство Speed Switch 108F весит около 5 кг и за счет этого легко перемещается вручную в нужное место в процессе развертывания сети.

В конце 2003 г. к производству кабельных сборок активного типа подключилась также швейцарская компания Huber+Suhner.

12.4. Выводы

Введение в состав штатных компонентов волоконно-оптической подсистемы СКС активного оборудования различного назначения заметно увеличивает функциональные возможности кабельной системы как рыночного продукта в том смысле, в котором он понимается в работе [288].

Наиболее эффективно использование в составе СКС активных сетевых устройств нижнего уровня, непосредственно взаимодействующих с рабочими станциями пользователей и другими аналогичными IP-устройствами по линиям горизонтальной подсистемы структурированной проводки.

Серийные образцы сетевого оборудования включаются в официальный каталог достаточно многочисленной группой производителей СКС, имеют номер заказа, сформированный аналогично пассивным компонентам, и открывают перед пользователями преимущества получения решения из одних рук в первую очередь при реализации нижнего уровня информационно-вычислительной сети предприятия.

Потребность в учете специфических условий монтажа и эксплуатации в составе кабельных трактов СКС приводит в ряде случаев к необходимости использования в конструкции активных приборов многочисленных оригинальных конструктивных решений, которые делают данную область самостоятельным направлением развития техники сетевого оборудования.

ГЛАВА 13

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТРАКТОВ РАЗЛИЧНЫХ ПОДСИСТЕМ СКС

Стандарты СКС допускают применение оптической элементной базы на уровне горизонтальной подсистемы и в магистральной части, а также при построении централизованных архитектур.

В разделе 1.5 было показано, что в общем случае на уровне горизонтальной подсистемы использование оптической техники является экономически невыгодным. В силу этого горизонтальная подсистема стремится на основе оптической элементной базы в тех случаях, когда реализация данной части проводки на базе кабелей из витых пар является технически невозможной или нерациональной [289].

Особенностью проектирования магистральной части структурированной проводки является то, что на этом уровне не удастся обеспечить полной универсальности кабельных трактов СКС. Такое положение дел определяется достигнутым на сегодняшний день уровнем техники, а также имеющимся на рынке соотношением цен на основные виды сетевого оборудования и характерных для магистральных подсистем больших длин трактов передачи сигналов, делающим выгодным применение различных форм принципа мультиплексирования. Данное обстоятельство вынуждает:

- широко привлекать для проектирования СКС информацию о способах и принципах построения более высоких уровней ИВС предприятия;
- распределять ресурсы магистральной подсистемы для поддержки работы отдельных приложений с использованием в первую очередь критерия требуемых для их функционирования скоростей передачи информации;
- выполнять оптимизацию создаваемой проводки по критерию «стоимость — функциональные возможности» с широким привлечением уникальной информации о конкретном объекте.

В процессе проектирования оптической подсистемы СКС решаются следующие основные задачи:

- обосновывается целесообразность применения оптической элементной базы для построения горизонтальной подсистемы;

- осуществляется конкретизация состава обеих магистральных подсистем, типов линейных кабелей и их категорий;
- в случае организации составных трактов рассчитывается ожидаемая величина потерь; для многомодовых трактов в некоторых случаях дополнительно оценивается ширина полосы пропускания;
- проводится расчет емкости ОК, а также его общего расхода по длине;
- выполняется выбор типа коммутационного оборудования, устанавливаемого и эксплуатируемого в технических помещениях различного уровня, и рассчитывается количество отдельных функциональных единиц этого оборудования и его аксессуаров;
- рассчитывается величина тянущего усилия кабеля на трассах подсистемы внешних магистралей и в случае необходимости выбирается метод уменьшения его величины;
- выполняется выработка принципов резервирования отдельных кабельных линий и оценивается целесообразность применения разветвительных муфт.

Работа по проектированию осуществляется в несколько основных этапов, которые выполняются последовательно. На каждом этапе решается одна из перечисленных выше задач.

Общим принципом, которого целесообразно придерживаться в процессе производства проектных работ, является минимизация типов и номенклатуры применяемого оборудования и технологий выполнения монтажа.

13.1. Схемы соединения групповых устройств основных разновидностей сетевого оборудования и их потребности в ресурсах кабельных трактов СКС

На сегодняшний день основными потребителями ресурсов структурированной проводки ИВС являются ЛВС и телефонная сеть предприятия. В случае отсутствия требований по массовой поддержке функционирования дополнительных информационных сервисов данный факт используется в качестве основного постулата в процессе проектирования магистральной части кабельной системы.

В подавляющем большинстве сетевых устройств любого вида, предназначенных для установки в технических помещениях (групповые устройства), предусматриваются порты двух различных разновидностей. Применительно к приборам уровня рабочей группы данное положение означает, что основная масса интерфейсов изначально ориентируется на обслуживание конечных устройств (рабочие станции пользователей для концентраторов и коммутато-

ров ЛВС, аналоговые и цифровые телефонные аппараты в случае УПАТС). Специальные и, как правило, выделенные интерфейсные порты обеспечивают подключение к оборудованию, работающему на более высоких уровнях ИВС предприятия. Такие порты обычно обладают расширенными функциональными возможностями в смысле вариантов конфигурации, выбора режимов работы, быстродействия и т. д. Их функции выполняют up-link-модули оборудования ЛВС и платы Е1 телефонной станции или так называемых выносов УПАТС.

В процессе проектирования линейной части оптической подсистемы необходима информация об используемых сетевыми администраторами схемах подключения этих портов. Схема соединения однозначно определяет требуемый объем ресурсов магистральной части структурированной проводки. Основные схемы соединения сетевых устройств, находящихся в технических помещениях разного уровня, рассматриваются ниже.

13.1.1. Оборудование ЛВС

На практике находят применение три основные разновидности схем подключения групповых сетевых устройств масштаба рабочей группы к ЛВС предприятия, см. рис. 198. Характерным отличительным признаком первой схемы (рис. 198а) является обязательное наличие высокопроизводительного группового устройства, к линейным портам которого подключаются порты up-link-модулей устройств, непосредственно взаимодействующих с рабочими станциями пользователей. Вторая схема основана на использовании высокой пропускной способности внутренней шины современных коммутаторов. Основным условием ее реализации является возможность объединения коммутаторов в аппаратный стек непосредственно на уровне системной шины или в иных вариантах (рис. 198б), что на сегодняшний день допускается подавляющим большинством изделий этой разновидности сетевого оборудования. Согласно третьей схеме, изображенной на рис. 198в, up-link-порты коммутаторов (концентраторов) рабочих групп непосредственно подключаются через магистральные кабели к портам центрального коммутатора, который устанавливается в аппаратной (кроссовой более высокого уровня).

Первая схема является наиболее экономичной в смысле требуемых ресурсов в магистральной части СКС. Данный вариант построения компьютерной части ИВС применялся на ранних этапах (вплоть до примерно 1999 г.) развития техники ЛВС, однако в настоящее время из-за своих хорошо известных и принципиально неустраняемых недостатков крайне редко встречается на практике. Эта схема используется главным образом в тех ситуациях, когда заказчик выдвигает особо жесткие требования в отношении стоимостных показателей решения в комплексе, а параметр быстродействия ЛВС не является для него первостепенным. Вторая схема характерна в первую очередь для сетей с относительно небольшим объемом трафика, когда пропускная способность

внутренней шины отдельного коммутатора не является фактором, ограничивающим эффективность информационного обмена в данном сегменте сети. Третья схема предполагает организацию отдельного тракта передачи сигналов на каждый рабочий порт up-link-модуля сетевого устройства уровня рабочей группы. Она обладает наибольшими резервами как в смысле эксплуатационной гибкости, так и по объему данных, передаваемых между отдельными узлами сети. Это обусловлено тем, что здесь ограничение по пропускной способности наступает исключительно на уровне шины центрального коммутатора или портов up-link-модулей коммутаторов рабочих групп.

Даже первичный анализ схемы рис. 198б показывает, что в смысле объема потребляемых ресурсов магистральной части СКС она превосходит схему рис. 195в и уступает схеме рис. 198а, одновременно обеспечивая достаточно высокий уровень сервиса. Таким образом, она вполне может применяться на ранних этапах развития ИВС предприятия. Однако, практика реализации и эксплуатации ЛВС свидетельствует о том, что по мере развития сети отдельные этажные коммутаторы начинают постепенно отключаться от стека и подключаться к соответствующим портам центрального коммутатора напрямую по выделенным для этого магистральным трактам. Это означает, что схема рис. 198б с течением времени модифицируется в схему рис. 198в.



Рис. 198. Схемы соединения групповых сетевых устройств ЛВС в различных технических помещениях:
 а) при использовании в КЭ концентраторов и одного коммутатора уровня рабочей группы; б) в случае объединения этажных коммутаторов в стек; в) при использовании схемы прямого подключения этажных коммутаторов или концентраторов к центральному коммутатору

Резюмируя все сказанное выше, можем констатировать, что в связи со значительной продолжительностью эксплуатации СКС расчет ее магистральной части целесообразно вести по схеме рис. 195в, которая является наиболее требовательной к количеству трактов передачи информации.

13.1.2. Оборудование УПАТС

Современные УПАТС различных производителей этого вида сетевого оборудования могут реализовывать централизованную и распределенную схемы построения телефонной сети.

При создании централизованной схемы коммутация сигналов всех телефонных аппаратов осуществляется в одной точке, то есть в точке размещения УПАТС. При этом в остальных технических помещениях ИВС осуществляется обычное соединение отдельных стационарных линий шнурами и перемычками.

Распределенная схема организации связи предполагает наличие так называемых выносов, или подстанций, подключение которых к центральному блоку УПАТС выполняется по групповым линиям (обычно это одна или несколько линий Е1). Центральный блок при такой схеме может даже вообще не работать с сигналами отдельных телефонных аппаратов в смысле обеспечения их непосредственного подключения, выполняя только функции коммутатора, работающего с групповыми сигналами интерфейсных устройств и обеспечивающего подключение к ГТС. Можно показать, что при сложившемся на рынке уровне цен на отдельные блоки УПАТС достоинства данного варианта построения сети телефонной связи в смысле экономии финансовых ресурсов начинают проявляться только при расстояниях между связываемыми узлами в сотни метров и выше. Из-за относительно небольших расстояний, на которые передаются телефонные сигналы в большинстве современных СКС (обычно в пределах одного здания), распределенная схема построения телефонной сети предприятия используется на практике сравнительно редко.

Таким образом, можно констатировать, что расчет той части магистральной подсистемы, которая обеспечивает функционирование УПАТС, необходимо вести исходя из установки ее коммутационного оборудования в одном техническом помещении. Функции такого помещения, как правило, выполняет центральная аппаратная.

**13.1.3. Потребность в ресурсах кабельных трактов СКС
сетевого оборудования с волоконно-оптическим
интерфейсом**

Наряду со схемой подключения друг к другу устройств, функционирующих на различных уровнях телекоммуникационной инфраструктуры ИВС предприятия, непосредственное влияние на емкость кабелей магистральных подсистем оказывают также потребности интерфейсов используемой аппаратуры в числе ОВ, необходимых для поддержки информационного обмена с заданными качественными показателями. Современная сетевая аппаратура выд-

вигает различные требования к количеству ОВ, необходимых для передачи линейных сигналов, табл. 91. Основные варианты использования оптических трактов СКС сетевыми устройствами различного назначения приведены на рис. 199.

Таблица 91. Количество волокон, необходимое для обеспечения работы некоторых видов сетевого оборудования

Тип сетевого интерфейса	Количество волокон	Тип световода
ATM	2	ММ и SM
10BaseF	2	ММ и SM (опция)
100BaseF	2	ММ и SM (опция)
1000BaseF	2	ММ и SM
Token Ring (802.5j)	2	ММ и SM (опция)
Fibre Channel	2	ММ и SM
FDDI	2 (SAS) и 4 (DAS)	ММ и SM
SDH	2	ММ и SM
Телевидение (эфирное или кабельное)	1	ММ и SM
Система видеонаблюдения	1	ММ и SM
Интерактивное телевидение	2	ММ и SM
Низкоскоростные данные и телеметрия	1 или 2	ММ

Одноволоконные варианты реализации кабельных трактов, изображенные на рис. 199а и рис. 199б, требуются для поддержания однонаправленной передачи информации средствами техники оптической связи. Они используются в тех ситуациях, когда ресурсы структурированной проводки задействуются для обеспечения функционирования различных телевизионных систем, а также оборудования инженерных систем здания. Схема рис. 199в дает возможность вдвое уменьшить количество волокон, которые требуются для построения сети связи из отдельных приборов. Для этого передача информационных потоков, идущих в противоположенных направлениях, осуществляется по одному ОВ. Для разделения направлений приема и передачи при ее реализации может быть использована работа на различных длинах волн, допустима также установка таких пассивных оптических элементов как циркулятор и направленный ответвитель. Техническая реализация всех этих устройств оказывается достаточно дорогостоящей и экономически оправдывает себя при дли-

не линии свыше 1 км, что крайне редко встречается в практике построения СКС. Поэтому схема рис. 199в применяется на практике в тех ситуациях, когда в силу различных обстоятельств организация, эксплуатирующая уже построенную структурированную проводку, сталкивается с проблемой недостаточной емкости имеющихся ОК.

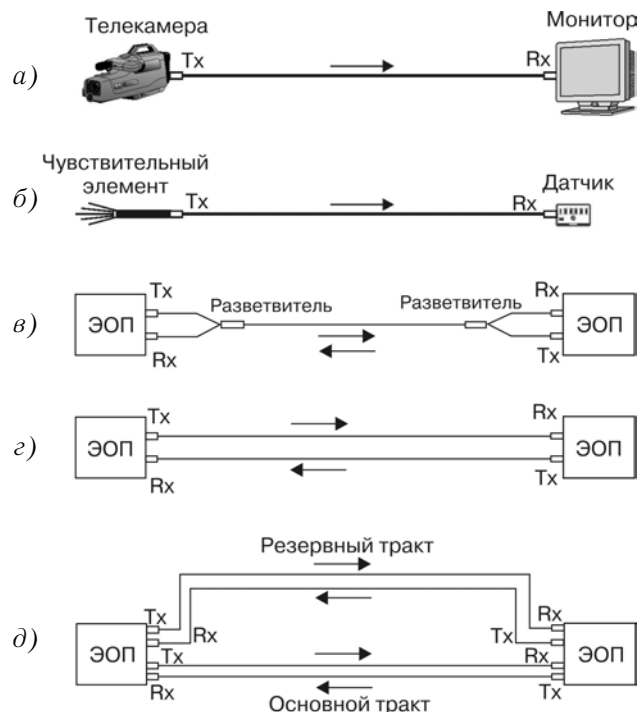


Рис. 199. Основные варианты использования волоконно-оптических трактов СКС сетевыми устройствами различного назначения:
ЭОП — электрооптический преобразователь

Отличительной чертой схемы рис. 199д является то, что она в штатном режиме обеспечивает формирование резервного тракта передачи информации. При построении сетей FDDI ее применение является безусловно необходимой для оборудования, функционирующего в режиме DAS. В сетях Ethernet с различной скоростью информационного обмена два тракта передачи на сетевой интерфейс требуются в случае выдвижения требования автоматического переключения на резервное направление программными и/или аппаратными средствами сетевой аппаратуры.

При поддержке функционирования оборудования, которое предназначено для обеспечения двухстороннего информационного обмена, наибольшее распространение на практике получила схема рис. 199г. Она обеспечивает про-

стоту технической реализации оптических приемопередатчиков и имеет наименьшую среди остальных вариантов общую стоимость.

13.2. Принципы выбора типа и категории волокон магистральных кабелей

13.2.1. Общие положения

На основании данных параграфа 3.1.2 можно констатировать, что массогабаритные показатели ОВ линейных и шнуровых кабелей СКС не зависят от диаметра их сердцевины и числовой апертуры. Защита волокон от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды обеспечивается внешними элементами конструкции кабеля, форма исполнения которых зависит только от условий эксплуатации изделия и никоим образом не привязывается к типу световодов. С учетом этого фундаментального обстоятельства выбор конкретной разновидности ОВ, используемого в кабелях, определяется исключительно его передаточными характеристиками.

В перечень параметров, которые оказывают непосредственное влияние на выбор типа ОВ линейных кабелей, входят:

- протяженность линейной части;
- тип приложений, аппаратура которых использует СКС в качестве среды передачи на момент сдачи структурированной проводки в эксплуатацию и в обозримой перспективе.

Основными нормативными документами СКС предусмотрена возможность применения в составе оптической подсистемы кабелей с одномодовыми и многомодовыми ОВ, причем стандартные многомодовые световоды имеют три разновидности по своим частотным (дисперсионным) свойствам. Кроме того, часть производителей наряду со стандартными волокнами предлагает в широкой коммерческой продаже световоды с промежуточными или улучшенными дисперсионными параметрами (см. параграф 3.2.3). Задача выбора типа ОВ для кабелей СКС сводится к определению его категории по критерию обеспечения максимальной технико-экономической эффективности формируемой линии связи.

Сравнительно небольшое количество факторов, оказывающих непосредственное влияние на принятие решения, позволяет реализовать процедуру выбора предпочтительного типа ОВ в форме простого двухшагового алгоритма. Суть его состоит в том, что сначала из всей совокупности световодов, допускаемых стандартами для использования в кабелях оптической подсистемы СКС, выделяются те, которые обеспечивают решение задачи передачи информации по своим техническим параметрам. После формирования данного подмножества из него выбирается волокно той категории, которое дает возможность добиться наилучших экономических характеристик решения.

13.2.2. Область применения одномодовых оптических кабелей

Применим подход параграфа 13.2.1 к определению области применения одномодовых ОК. С технической точки зрения основным преимуществом одномодовой техники является возможность поддержания скорости передачи на уровне 10 Гбит/с и выше при работе по обычным волокнам G.652 (OS1) при линии протяженностью вплоть до нескольких десятков километров. Столь высокие параметры достигаются за счет принципиального устранения межмодовой дисперсии и эффекта дифференциальной модовой задержки в сочетании с несколько меньшим затуханием. При очень коротких линиях за счет чрезмерно большой мощности сигнала может наступить перегрузка приемника сетевого интерфейса. В этой ситуации работоспособность аппаратуры обеспечивается за счет применения аттенюаторов в шнуровом или корпусном исполнении. Таким образом, на базе одномодовой техники потенциально могут быть построены линии СКС любой наперед заданной протяженности.

Сетевое оборудование ЛВС со скоростью передачи не свыше 100–155 Мбит/с согласно действующим спецификациям с заданным качеством по скорости передачи, вероятности ошибки и т. д. функционирует по многомодовому ОК на линиях максимальной протяженностью до 2000 м. Это положение нашло свое отражение в стандартах СКС, согласно которым максимальная длина тракта, построенного на многомодовом ОК в независимости от категории использованного в нем волокна, может достигать 2000 м. Как показывает практика, данное значение может быть даже в определенных пределах превышено без ущерба для качественных показателей передаваемой информации за счет наличия у элементной базы запасов по параметрам затухания и широкополосности и использования специальных конструктивных решений¹. Как результат можем констатировать, что при скоростях передачи не свыше примерно 500 Мбит/с выбор типа волокна ОК определяется исключительно экономическими характеристиками решения.

Иная картина наблюдается в случае использования для построения ЛВС оборудования Gigabit Ethernet и 10G Ethernet. В данной ситуации информационная пропускная способность ОВ категории OM2 и тем более OM1 оказывается недостаточной. Поэтому для получения требуемого уровня дисперсионных искажений при длинах трактов в несколько сотен метров и более

¹ Некоторые виды преобразователей среды и трансиверов, которые предназначались для работы с сетевым оборудованием со скоростями передачи 10–20 Мбит/с, и в массовом масштабе выпускались рядом производителей в середине 90-х гг. прошлого века, при работе по многомодовому ОК с волокном современной категории OM2 имели гарантированную паспортную дальность действия порядка 5–10 км. Аналогично поступившие в широкую коммерческую продажу на рубеже веков так называемые экстендеры (от англ. *extender* — удлинитель) за счет использования в передатчике лазера с узкой линией излучения и применения специальных условий ввода позволяют передавать сигналы интерфейсов 1G Ethernet на расстояние до 2 км при работе по волокнам категории OM1 и OM2. В обоих указанных случаях используется спектральный диапазон 1300 нм с существенно меньшими затуханием и дисперсионными искажениями.

необходимо использовать широкополосные волокна для лазерной передачи категорий OM3 и OM3+.

При рассмотрении экономической составляющей задачи выбора принимаются во внимание следующие основные обстоятельства. Общая стоимость линии оптической связи складывается из затрат на линейную часть вместе с коммутационным оборудованием и стоимости сетевых интерфейсов. Заметно меньшая стоимость одномодовых световодов делает одномодовый ОК дешевле многомодового. С другой стороны, небольшой диаметр световедущей сердцевины одномодового ОВ вынуждает применять в оптических передатчиках сетевых интерфейсов вместо СД или VCSEL-лазеров дорогостоящие лазерные излучатели с распределенной обратной связью или резонаторами Фабри-Перо. Таким образом, границы областей экономической целесообразности применения одномодовой и многомодовой техники для построения оптических трактов СКС определяются конкуренцией этих двух основных влияющих факторов [290].

При сложившемся на рубеже веков соотношении в уровнях цен на работы и отдельные компоненты, которые необходимы для реализации всей оптической линии связи (кабель и коммутационное оборудование с аксессуарами плюс активное сетевое оборудование), экономически целесообразным и технически более перспективным является применение многомодовой техники для передачи информационных потоков с максимальными скоростями до 300 Мбит/с при длинах трактов не свыше 1300–1500 м. Данное положение подтверждается примером расчета зависимости стоимости линии связи от протяженности простого тракта для достаточно часто используемых на практике интерфейсов Fast Ethernet, который приведен на рис. 200.

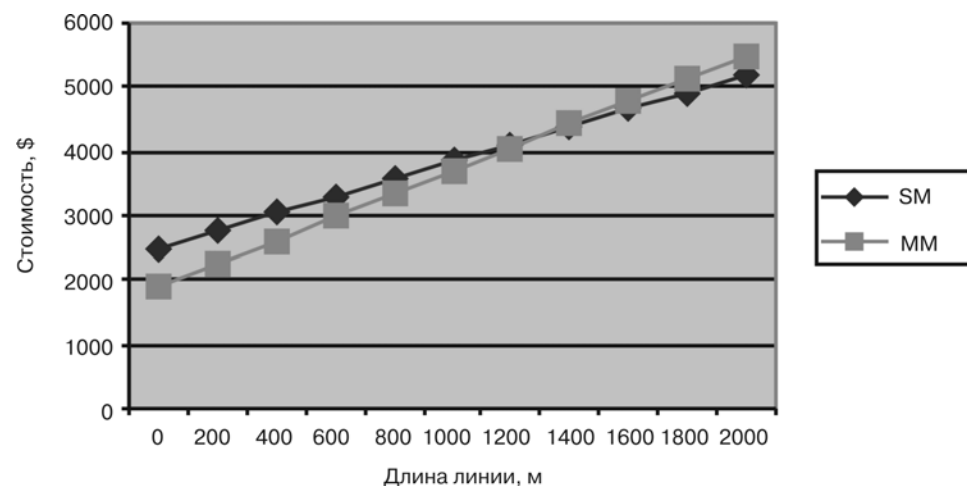


Рис. 200. Зависимость стоимости ВОЛС локальной сети Fast Ethernet от длины тракта в случае ее реализации на одномодовом (SM) и многомодовом (MM) кабеле

13.2.3. Выбор типа волокна для организации коротких магистральных линий

ОК подсистемы внутренних магистралей часто используются для организации межэтажных соединений с целью подключения технических помещений в пределах одного здания. Характерной чертой таких линий является их небольшая протяженность, которая не превышает 50 м.

В практике построения и эксплуатации СКС часто возникает необходимость непосредственного соединения КЭ с центральной аппаратной. При решении этой задачи с точки зрения улучшения экономических характеристик создаваемой ИВС и увеличения ее эксплуатационной надежности при наличии технической возможности целесообразно отказаться от установки репитеров в КВМ и организовать передачу информационного потока с использованием составного тракта.

Из соображений расширения функциональных возможностей проводки по такому составному тракту должна быть обеспечена возможность передачи сетевых интерфейсов 10G Ethernet. Для этого на участке от КВМ до аппаратной применяются кабели с волокнами категории OM3 и OM3e (коэффициент широкополосности 2000 и 4000 МГц·км соответственно). Стоимостные показатели решения улучшаются использованием на межэтажном участке ОК с волокном категории OM2.

Пусть общая длина составного тракта равна $l = l_{OM2} + l_{OM3}$, где l_{OM2} — длина межэтажной части составного тракта, а l_{OM3} — длина кабеля подсистемы внешних магистралей. Величина l может быть найдена как решение уравнения

$$\alpha l + m \times 0,5 + r_d + r_{nd} = E, \quad (41)$$

где α — коэффициент затухания оптического кабеля;

m — количество разъемных соединений;

$r_d = 2,24 \frac{f_T}{f_0} - 0,6$ дБ — дисперсионный штраф по мощности;

$r_{nd} = 1$ дБ — оценка суммарного недисперсионного штрафа по мощности;

E — энергетический потенциал сетевого интерфейса.

Потери в каждом разъемном соединителе вместе с опциональным неразъемным сростком на основании данных табл. 95 оцениваются сверху величиной 0,5 дБ. В составном тракте рассматриваемого вида будет минимум $m = 4$ разъемных соединителя. Для коротковолнового многомодового интерфейса 10G Ethernet имеем $E = 7,3$ дБ. Величина f_0 рассчитывается на основании формулы 22. f_T для случая коротковолнового ($\alpha = 850$ нм) последовательного варианта интерфейса 10G Ethernet принимается равной 10,3 ГГц [291].

Решение уравнения формулы 41 при максимально допустимом стандартами погонном затухании кабеля $\alpha = 3,5$ дБ/км изображено на рис. 201. Параметром при этом является коэффициент широкополосности ОК с волокном для лазерной передачи, который принимается равным 2000 и 4000 МГц · км. Приведенные зависимости свидетельствуют о том, что экономические параметры созда-

ваемой проводки могут быть улучшены за счет того, что для реализации ее межэтажных участков при их протяженности не свыше 30–40 м вполне могут быть использованы более дешевые ОК с волокнами категории OM2. Одновременно из этих зависимостей следует перспективность применения кабелей на основе широкополосных многомодовых световодов для лазерной передачи [292], которые целенаправленно оптимизированы для подключения к ним интерфейсов приложений с гигабитными и мультигигабитными скоростями передачи и обеспечивают передачу их сигналов на несколько сотен метров.

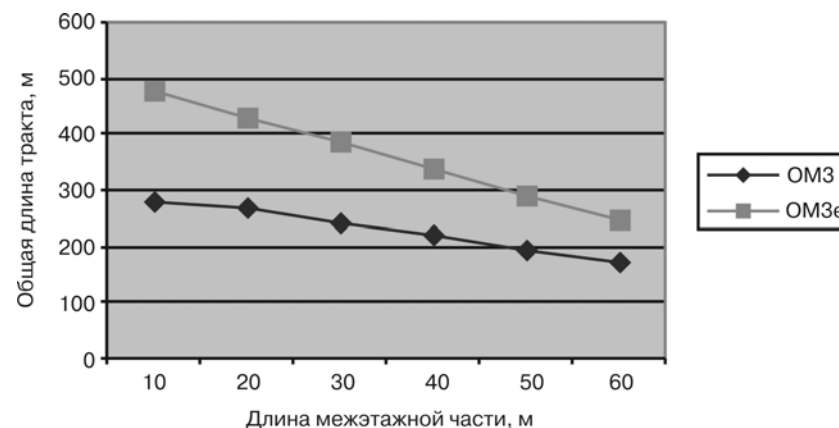


Рис. 201. Зависимость максимальной длины составного магистрального тракта от длины его межэтажной части при ее реализации на многомодовом кабеле с волокном категории OM2

13.2.4. Область применения волокон категории OM1

Стандарты СКС предусматривают, что ОВ младших категорий OM1 и OM2 могут иметь калибр 62,5/125 и 50/125. При меньшем диаметре сердцевины существенно проще добиться улучшения частотных свойств продукции. С учетом этого обстоятельства основная масса производителей выпускает волокна категории OM1 исключительно в варианте 62,5/125, тогда как 50-микронные световоды относятся к продукции категории OM2. Данное положение, которое на рубеже веков перешло практически в состояние стандарта де-факто, используется в процессе дальнейшего анализа.

Основным отличительным признаком световодов типа 62,5/125 являются их больший диаметр сердцевины и увеличенная числовая апертура, что при прочих равных условиях потенциально позволяет ввести в них оптический сигнал увеличенной мощности. Преимуществом 50-микронных волокон категории OM2 являются их заметно лучшие частотные свойства. Это в наиболее полной степени проявляется в спектральном диапазоне 850 нм, который является чрезвычайно привлекательным из-за дешевизны оптоэлектронной эле-

ментной базы. По остальным параметрам, важным с точки зрения практики реализации физического уровня ИВС, данные разновидности продукции могут считаться эквивалентными.

Задача принятия решения о выборе одного из двух возможных типов волокон, имеющих различные частотные свойства и эффективность ввода, решалась в параграфе 2.4.3, и ее положения могут быть в основном использованы в данном случае. Критическая длина тракта, при превышении которой технически целесообразно отказаться от применения световодов типа 62,5/125 в пользу использования более широкополосных 50-микронных многомодовых ОВ категории ОМ2, в соответствии с предлагаемым подходом ищется как решение уравнения

$$p_{62,5}(l) = p_{50}(l) + p_w \text{ дБ}, \quad (42)$$

где $p_x(l)$ — уровень оптического сигнала на выходе тракта длиной l ($x = 50$ или $62,5$ в зависимости от типа ОВ);

p_w — дополнительные потери при реализации тракта на 50-микронном волокне, возникающие из-за его меньшей числовой апертуры и диаметра сердцевин.

Ограничимся рассмотрением простого тракта, собранного с использованием стандартной элементной базы. Уровень $p_x(l)$ найдем с привлечением предложенной в параграфе 2.3.4 кусочно-линейной аппроксимации дисперсионного штрафа по мощности как $p_x(l) = \alpha l + 1,5 + 2,24 \frac{f_T}{f_0} - 0,6 + r_{nd}$ дБ, где че-

рез r_{nd} обозначен дополнительный недисперсионный штраф по мощности, величина которого принимается постоянной и равной 1 дБ.

Профиль показателя преломления градиентного многомодового ОВ на основании формулы 20 очень близок к квадратичной параболе. Поэтому для расчета p_w воспользуемся моделью, введенной в параграфе 2.4.3. При ее использовании можно получить оценочные величины мощности сигнала, вводимого в многомодовые ОВ с различным диаметром сердцевин. Это позволяет вычислить дополнительные потери (табл. 92).

Таблица 92. Определение значения дополнительных потерь p_w

Тип излучателя	Тип волокна		p_w , дБ	
	62,5/125	50/125	Среднее	Максимальное
Светодиод	$P_{62,5} = \pi B_0 n_1^2 a^2 \Delta$	$P_{50} = \pi B_0 n_1^2 (a/\zeta)^2 (\Delta/\eta)^2$	4,7	7,0
VCSEL-лазер	$P_{62,5} = \pi B_0 n_1^2 b^2 \Delta$	$P_{50} = \pi B_0 n_1^2 b^2 (\Delta/\eta)^2$	2,8	4,1

$a = 62,5$ мкм; $b = 30$ мкм (на основании табл. 28)

На основании табл. 18 и табл. 20 при расчете среднего значения принимается $\zeta = 62,5/50$; $\eta = 0,275/0,2$, при расчете максимальной величины $\zeta = (62,5 + 3)/(50 - 3)$; $\eta = (0,275 + 0,015)/(0,2 - 0,02)$

Решение уравнения формулы 42 с учетом того, что $f_0 = \Delta F/l$ в предположении близости удельных потерь ($\alpha_{62,5} = \alpha_{50}$), что с некоторыми оговорками выполняется на практике, имеет вид:

$$l_0 = \frac{p_w}{2,24 f_i} \times \frac{\Delta F_{62,5} \times \Delta F_{50}}{\Delta F_{50} - \Delta F_{62,5}}. \quad (43)$$

Зависимость l_0 от величины f_T с параметром величины дополнительных потерь изображена на рис. 202. Формула 43 и графики рис. 202 дают возможность констатировать следующее:

- 1) технические преимущества широкополосных волокон с 50-микронной сердцевиной проявляются во все большей степени по мере возрастания скоростей передачи (то есть с увеличением f_T);
- 2) начало массового использования в процессе формирования и развития инфраструктуры ИВС оптических интерфейсов, обеспечивающих гигабитные скорости передачи информации, форсированно влечет за собой переход на лазерные источники излучения, что сопровождается уменьшением p_w . Как следствие такого перехода можем констатировать, что возрастание быстродействия сетей является фактором, стимулирующим увеличение объемов применения многомодовых ОВ с 50-микронной сердцевиной;
- 3) достоинства ОВ типа 62,5/125 могут быть в полной мере использованы только на скоростях передачи не выше 500 Мбит/с, что недостаточно при реализации проектов новых ИВС. Отсюда следует, что они могут применяться преимущественно в процессе развития построенных ранее СКС.

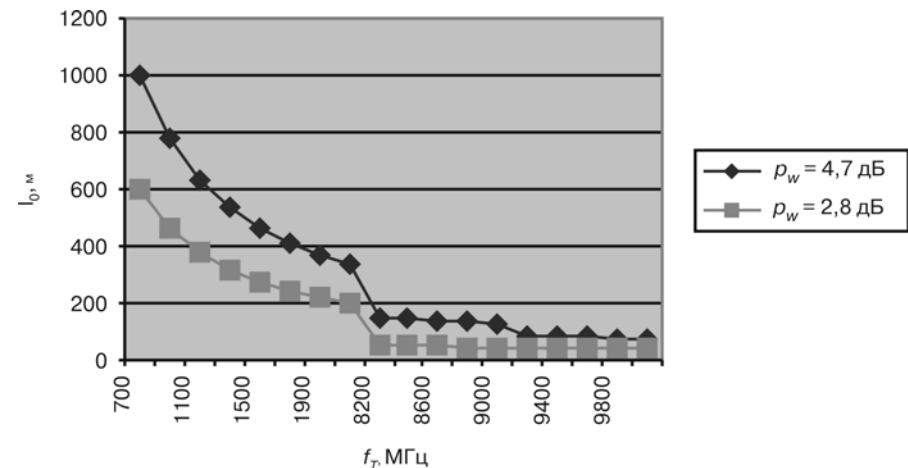


Рис. 202. Зависимость критической длины тракта от тактовой частоты линейного сигнала при выборе категории многомодовых ОВ

Таблица 93. Рекомендуемые категории волокон оптического кабеля для построения трактов различной протяженности

Длина тракта, м	Приложения с мультигигабитными скоростями	Приложения с гигабитными скоростями	Приложения с субгигабитными скоростями	Приложения со скоростями 100–155 Мбит/с
0–100 (горизонтальная подсистема)	–	OM2	OM2	OM2
0–50 (межэтажная проводка)	OM2	OM2	OM2	OM1, OM2
50–150	OM2+ (OM2e)	OM2+ (OM2e)	OM2	OM1, OM2
150–300	OM3	OM2+ (OM2e)	OM2	OM1, OM2
300–500	OM3e	OM2+ (OM2e)	OM2	OM1, OM2
500–1000	OS1	OM3	OM2	OM1, OM2
1000–1300	OS1	OS1	OM3, OM2+ (OM2e)	OM1, OM2
Свыше 1300	OS1	OS1	OS1	OS1

Примечание. ОК с волокнами категории OM1 не рекомендуются для применения в новых кабельных системах. Данная разновидность про- дукции может быть использована для расширения существующих СК.

13.2.5. Рекомендованные области применения волокон различных типов

Анализ приведенных выше соображений, выполняемый с привлечением принципа исключения, позволяет сформулировать следующие рекомендации:

- оптическая часть подсистемы внутренних магистралей должна строиться преимущественно на многомодовом ОК;
- в качестве предпочтительного типа многомодового ОВ целесообразно принять световоды с диаметром сердцевины 50 мкм. Кабели с волокном 62,5/125 следует рассматривать главным образом как средство расширения систем, построенных на таком волокне в период до 2000–2002 г.;
- желательно, чтобы производитель применял для изготовления волокон категорий OM2 и OM3 однотипную технологию;
- основой подсистемы внешних магистралей, длина которых превышает 500 м, из-за малой распространенности на данном уровне ИВС приложений с субгигабитными скоростями преимущественно должен являться одномодовый ОК.

Конкретные численные значения длин трактов и предпочтительные категории волокон ОК сведены в табл. 93 и представлены в графической форме на рис. 203.

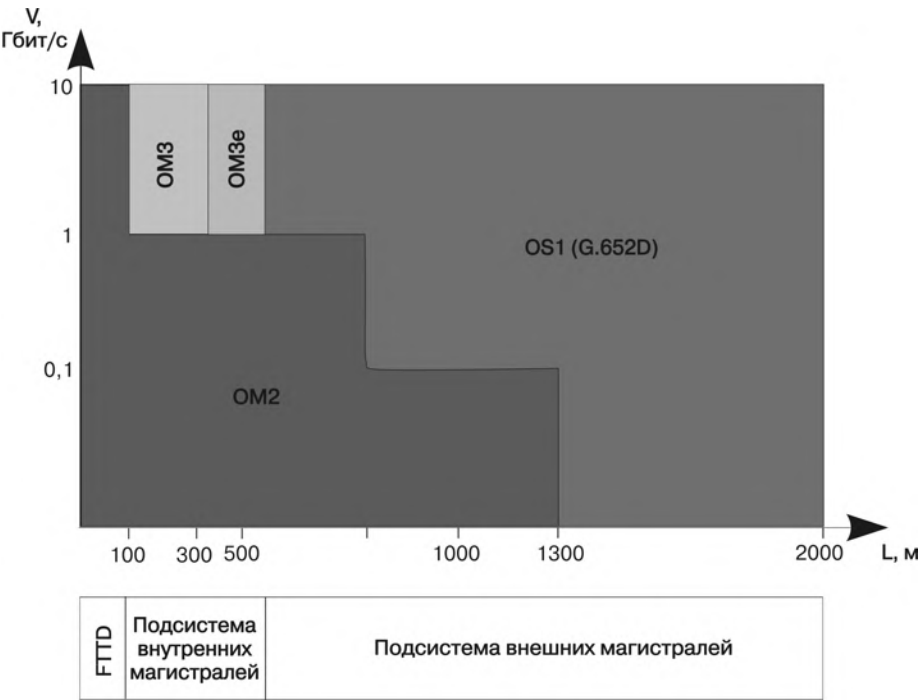


Рис. 203. Области применения ОВ различных типов и категорий

В тех ситуациях, когда по ОК наряду с данными ЛВС производится передача сигналов других приложений (например, УПАТС), в линейной части СКС возможно применение комбинированных конструкций, содержащих одновременно одномодовые и многомодовые ОВ (см. параграф 4.5.3). Из-за большого разнообразия возможных вариантов реализации информация о таких изделиях крайне редко в явном виде приводится в каталогах производителей СКС или изготовителей элементной базы. Однако реализация таких кабелей не вызывает проблем у изготовителя элементной базы, а конструкция и спецификация изделия обычно обсуждаются с производителем при конкретном заказе.

13.3. Принципы выбора проектных решений при построении магистральных оптических линий

13.3.1. Выбор трасс прокладки

В процессе выбора трасс прокладки магистральных кабелей принимаются во внимание следующие положения:

- количество точек сближения и пересечения с различными подземными объектами, а также количество проходов через стены, требующих дополнительного оборудования и выполнения строительных работ, должно быть сведено к минимуму;
- организацию трасс прокладки через помещения с повышенной опасностью возникновения пожара необходимо рассматривать как исключение и применять в тех случаях, когда иные возможности отсутствуют;
- трасса прокладки проектируется таким образом, чтобы за счет применения комплекса мероприятий (технологических, технических, организационных и прочих) свести до минимума опасность механического, химического, термического или иного повреждения линейного кабеля;
- в тех ситуациях, когда в силу местных условий на трассе прокладки не удастся обеспечить необходимый уровень защиты от повреждений, в обязательном порядке предусматривается резервирование линий с использованием пространственного разнесения линейных кабелей;
- кабель на всем протяжении трассы должен быть легко доступен в процессе строительства линии и ее эксплуатации.

13.3.2. Особенности проектирования линейной части подсистемы внешних магистралей

Правила проектирования подсистем внутренних и внешних магистралей в основном совпадают. Поэтому здесь отметим только те основные особенности, с ко-

торыми приходится встречаться разработчику на этапе выработки проектных решений в области линейной части подсистемы внешних магистралей.

- В процессе проектирования внешней магистрали в условиях нашей страны достаточно часто используются кабельные трассы, организуемые в канализации ГТС и коллекторах различных городских служб. В этом случае возникает проблема получения соответствующих согласований и ТУ на прокладку, применения только тех ОК, которые входят в перечень разрешенных¹, а также заключения договоров на аренду кабельных каналов. Данное обстоятельство должно быть обязательно учтено при составлении перечня выполняемых проектных работ, а необходимые затраты внесены в бюджет проекта.
- Из-за принципиально относительно небольшого по сравнению с горизонтальной подсистемой количества трактов передачи, поддержку функционирования которых осуществляет подсистема внешних магистралей, расчет емкости прокладываемых там ОК выполняется каждый раз индивидуально и универсальных рекомендаций (за исключением оценок параграфа 13.4.2) по этому поводу дать не представляется возможным.
- ОК внешней прокладки без использования металла в конструкции из-за их несколько более высокой стоимости и зачастую худших массогабаритных показателей следует использовать в тех случаях, когда кабельная трасса хотя бы на части своей длины находится в зоне действия сильных электромагнитных полей. Другой аналогичной ситуацией является их прокладка в местах с большой разницей потенциалов (производственные предприятия с использованием процессов электролиза и механизмов с большой мощностью приводных электродвигателей, электростанции и т. д.). Во всех прочих случаях обычно более предпочтительным является применение кабелей с металлическими упрочняющими элементами и защитными покровами.
- В тех случаях, когда ОК подсистемы внешних магистралей соединяют между собой несколько зданий и частично прокладываются при этом по одной трассе, имеет смысл рассмотреть возможность установки на трассе разветвительной муфты. Технические, экономические и организационные аспекты, принимаемые во внимание при использовании подобного решения, рассмотрены в разделе 13.10.
- Большая стоимость и продолжительность работ по строительству внешних магистралей заставляет вводить повышенные запасы по емкости, расходуемые в процессе эксплуатации СКС. Так, например, в проект целесообразно закладывать ОК, число волокон которого примерно в два раза выше того количества, которое необходимо в момент запуска системы в эксплуатацию.

¹ Далеко не все кабели СКС имеют сертификат Министерства связи Российской Федерации, «открывающий» им путь в кабельную канализацию ГТС.

- Из-за сложностей быстрого восстановления физической целостности ОК в аварийных ситуациях при построении внешних магистралей рекомендуется по возможности использовать резервирование (см. параграф 1.3.1).

13.4. Расчет линейных оптических кабелей магистральных подсистем

Проектные работы на этом этапе начинаются с составления полного перечня кабельных линий магистральных подсистем с их разбивкой, в случае необходимости, на внутреннюю и внешнюю магистраль. В качестве исходных данных при этом используются:

- технические требования заказчика;
- результаты эскизного проектирования;
- данные анализа архитектурно-планировочных решений;
- информация, полученная в процессе обследования объекта.

На данном этапе проектных работ осуществляется выбор трасс прокладки магистральных кабелей, выполняется расчет их емкости, осуществляются выбор конструктивного исполнения и определение величины расхода.

Емкость кабелей подсистемы внутренних и внешних магистралей рассчитывается отдельно.

При создании распределенных магистралей расчет емкости ОК выполняется по тем же принципам и в несколько этапов по числу отдельных трасс.

13.4.1. Расчет емкости и количества кабелей подсистемы внутренних магистралей

В основу процедуры определения количества ОВ кабелей подсистемы внутренних магистралей положены следующие соображения:

- основными потребителями ресурсов структурированной проводки являются ЛВС и телефонная сеть предприятия;
- в связи с характерным для телефонной сети предприятия тяготением к централизованной схеме построения основным потребителем ресурсов оптической подсистемы является ЛВС;
- подавляющее большинство сетевых интерфейсов ЛВС согласно данным параграфа 13.1.1 использует для своей работы пару ОВ.

Основным назначением подсистемы внутренних магистралей является подключение коммутаторов уровня рабочей группы к центральному коммутатору. Технически данная операция осуществляется с помощью выделенного up-link-порта. На рис. 204 приведены статистические закономерности, де-

монстрирующие достаточно устойчивую связь между количеством up-link-портов и портов для подключения рабочих станций пользователей. Из анализа рис. 201 можем констатировать, что ожидаемое значение этого параметра составляет один up-link-порт на 15–18 рабочих мест. С учетом запасов можем принять величину 10 рабочих мест на один up-link-порт и имеем удельную емкость кабеля подсистемы внутренних магистралей в 0,2 ОВ на одно обслуживаемое рабочее место.

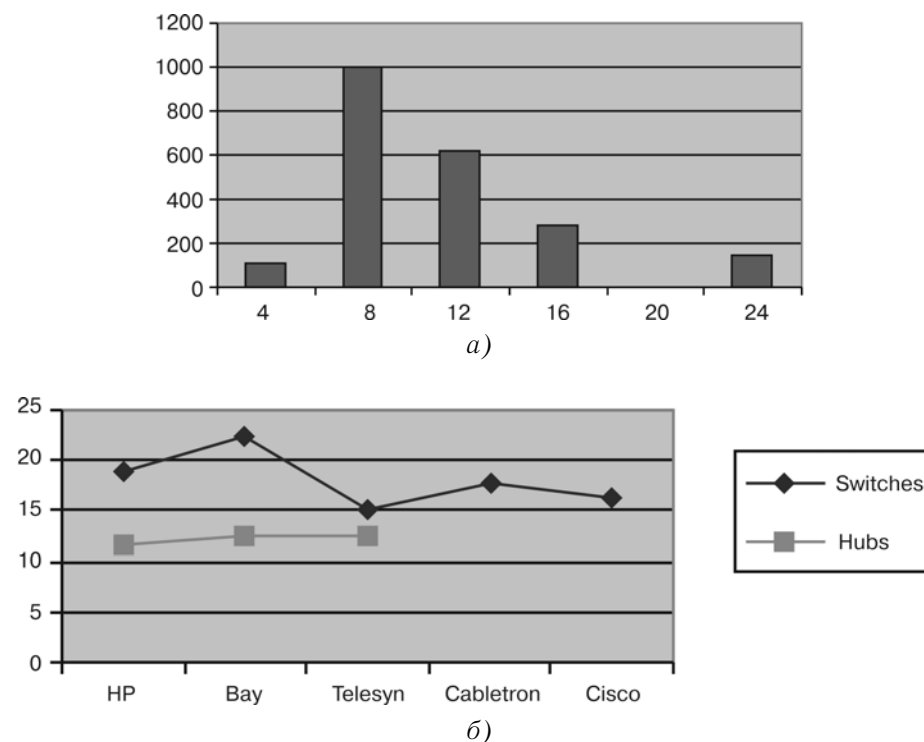


Рис. 204. Некоторые статистические закономерности по количеству портов сетевых устройств уровня рабочей группы ЛВС (по данным компании АйТи):
 а) зависимость объема поставок концентраторов ЛВС от количества портов для подключения рабочих станций пользователей;
 б) среднее количество портов коммутаторов и концентраторов ЛВС уровня рабочей группы на один порт up-link-модуля в устройствах некоторых ведущих производителей сетевого оборудования

Количество ОК, необходимых для реализации магистральных подсистем, определяется следующим образом. Для каждой из КЭ установленное минимальное количество ОВ на рабочее место умножается на количество рабочих

мест, обслуживаемых этим техническим помещением. Найденная емкость округляется до ближайшего целого сверху количества волокон, которое может быть получено при использовании одного или нескольких ОК стандартной емкости (4, 6, 8, 12, 24, 48 и т. д. волокон).

Величина емкости кабелей подсистемы внутренних магистралей, найденная в соответствии с приведенным выше алгоритмом, вполне допускает нормальную эксплуатацию СКС. По согласованию с заказчиком суммарная емкость магистральных кабелей может быть увеличена. Необходимость увеличения этого параметра следует, в частности, даже из анализа статистики применения сетевого оборудования, которая показывает большую популярность применения 8-портовых концентраторов при построении ЛВС (рис. 204а). Введение в состав линейной части магистральных подсистем дополнительных ОК, а также увеличение их емкости относительно нижнего расчетного предела обеспечивают значительное улучшение гибкости кабельной системы, позволяет ввести резервирование и создает предпосылки для расширения функциональных возможностей системы в целом.

13.4.2. Обоснование выбора емкости кабелей подсистемы внешних магистралей

Требуемую емкость ОК, применяемого для реализации подсистемы внешних магистралей, можно оценить с привлечением следующих соображений.

В области ЛВС широко используется технология port-trunking, в основу которой положен принцип передачи информации в нескольких параллельных субканалах. При необходимости обеспечения заданной скорости передачи данное решение является экономически целесообразным в том случае, если количество подобных каналов не превышает трех-четырех. При дальнейшем увеличении пропускной способности канала связи используется переход на более скоростные варианты сетевых интерфейсов (например, замена 1G Ethernet на 10G Ethernet).

Дополнительно необходимо учитывать наличие таких потенциальных потребителей ресурсов подсистемы внешних магистралей, как УПАТС, сетей массовой памяти и т. д. Кроме того, в емкость кабеля закладываются запасы на уровне до 50% от требуемого расчетного количества волокон.

С учетом того, что каждый из перечисленных выше потребителей требует для работы пару волокон, получаем общую емкость ОК примерно 8–16 волокон. Указанную величину следует рассматривать как минимальное рекомендованное количество. Емкость внешних магистральных кабелей на практике достаточно часто превышает указанное значение в тех случаях, когда различные линии используют общую кабельную трассу с установкой разветвительной муфты в линейной части для минимизации затрат (раздел 13.10) или с использованием транзитного соединения волокон в коммутационном оборудовании.

13.4.3. Выбор конструктивного исполнения кабелей подсистемы внешних магистралей

Выбор конструктивного исполнения ОК, применяемых для организации подсистемы внешних магистралей, определяется в первую очередь теми условиями прокладки и эксплуатации, которые фактически имеются на кабельных трассах данного конкретного проекта. Основными факторами, которые учитываются при выборе, являются механические воздействия по тянущему, сдвигивающему и закручивающему усилиям, климатические влияния окружающей среды, требования норм пожарной безопасности и уровня защиты от несанкционированного доступа к передаваемой информации. Дополнительно принимается во внимание опасность повреждения кабеля грызунами.

ОК, предназначенные для непосредственной прокладки в грунт, должны иметь броню из круглой стальной проволоки, а также элементы усиления проволочного или стержневого типа (исполнение не ниже типа 3 по классификации Ростелекома от 1997 г. с номинальным допустимым растягивающим усилием 7 кН и более [293]).

При прокладке ОК в кабельной канализации различного типа, а также в коллекторах, на мостах, эстакадах и т. д. достаточно наличия в его конструкции стальной гофрированной ленты, окружающей сердечник. Это покрытие дополнительно несколько увеличивает механическую прочность изделия и очень эффективно защищает его от повреждения грызунами. Допустимое растягивающее усилие ОК, разработанных для прокладки в канализацию, согласно стандартам TIA/EIA-570-A [294] и TIA/EIA-568-B.1 составляет 2670 Н. Зарубежные производители кабельной продукции обычно достаточно четко придерживаются указанной рекомендации и приводят в технических данных своих изделий значение этого параметра в пределах 2500–3000 Н, см., например, каталог [295]. ОК внешней прокладки отечественного производства имеют примерно аналогичную типовую величину максимального растягивающего усилия, которая в случае наличия в конструкции упрочняющих силовых элементов составляет 2700–3000 Н и более [296]. Так, например, согласно ТУ К04.037-98 завода Саранскабель ОК с центральным силовым элементом и защитным покрытием из стальной гофрированной ленты, конструкция которых допускает их массовое применение в процессе строительства подсистемы внешних магистралей СКС, имеют максимальное статическое растягивающее усилие 3000 Н при допустимом динамическом растягивающем усилии в 3500 Н. При этом прочностные характеристики ОК не зависят от материала и конструктивного исполнения центрального силового элемента.

На трассах внешних магистралей длиной свыше 300 м настоятельно рекомендуется применять ОК с защитой отдельных элементов передачи сигналов и всего сердечника в целом гидрофобным гелем.

ОК с гидрофобным заполнением обеспечивают удовлетворительную пожаробезопасность в том случае, если их внешнее покрытие изготавливается из негорючего компаунда (признаком подобного исполнения для изделий отечественного производства является добавление индекса «н» или «нг» в буквенную часть марки). По всем остальным характеристикам такая продукция не отличается от традиционных конструкций.

13.4.4. Определение величины расхода кабелей, затрачиваемого на реализацию подсистемы внешних магистралей

Длина ОК, необходимая для создания линейной части произвольной стационарной линии магистральной подсистемы, определяется тремя основными факторами: длиной L трассы, запасами на неровности и технологическими запасами L_c . Первые два фактора относятся исключительно к линейной части трассы и учитываются введением коэффициента k_u увеличения. В соответствии с данным принципом общий расход кабеля может быть вычислен как $L_c = k_u L + L_c$.

Потребность во введении запасов на неровности определяется невозможностью идеальной прямолинейной укладки кабеля в канале, а также необходимость его выкладки по форме котлованов и колодцев (для наиболее часто применяемого на практике способа прокладки в кабельной канализации). При воздушной подвеске основным фактором, диктующим необходимость введения запасов на неровности, является конечное значение стрелы провиса.

Величина расхода ОК в линейной части трассы принимается равной ее длине, умноженной на коэффициент k_u увеличения. Значения данного параметра для различных типов кабельных трасс на основании Норм РД 45.120-2000, пункт 12.10.1, приведены в табл. 94.

Таблица 94. Коэффициент увеличения длины оптических кабелей подсистемы внешних магистралей

Разновидность трассы	Коэффициент увеличения
В грунте при прокладке механизированным способом	1,02
В грунте при прокладке ручным способом	1,04
В кабельной канализации	1,057
В коллекторе	1,02
На опорах	1,05

Технологический запас компенсирует определенный расход ОК на разделку концов в процессе проведения измерений оптических характеристик, установки оконечных коммутационных устройств и промежуточных муфт различного назначения.

Технологический запас длины ОК, необходимый для выполнения перечисленных операций в соответствии с Нормами РД 45.120-2000, составляет 30 м для муфт, находящихся в котловане, и 14 м для муфт, которые монтируются в коллекторе. Другие документы дают несколько отличные, хотя и достаточно близкие значения. Так, согласно СНиП 3.05.07-85 [297], пункт 3.140, в местах установки как оконечных, так и промежуточных муфт предусматривается запас длиной не менее 2 м.

В практике реализации СКС из-за сравнительно небольших длин линий оптической связи пользуются значениями, близкими к нормам СНиП 3.05.07-85. При создании подсистемы внутренних магистралей технологический запас устанавливается равным примерно $L_c = 3$ м, при работе с ОК внешней прокладки данное значение увеличивается до 5 мЗ.

13.5. Особенности построения оптической проводки на пользовательском уровне

В разделе 1.5 было показано, что на нижних уровнях структурированной проводки ее реализация на оптической элементной базе в общем случае является экономически невыгодной. Необходимость использования технических средств волоконной оптики в данной части СКС может возникнуть только в ситуациях выдвижения в конкретном проекте специальных требований, выполнение которых с помощью медножильной элементной базы невозможно или нецелесообразно.

В случае принятия решения об использовании на нижнем уровне СКС оптической техники в процессе выработки конкретных проектных решений решаются следующие задачи:

- выбирается тип ОВ линейных кабелей;
- рассчитывается объем поставки линейных ОК.

13.5.1. Выбор типа ОВ линейных кабелей

В процессе выбора типа волокна должны учитываться следующие соображения:

- возможность построения комбинированных трактов;
- обеспечение требуемой ширины полосы пропускания;
- необходимость достижения высоких технико-экономических показателей.

В современных ИВС скорость информационного потока, поступающего на рабочее место пользователя, в большинстве случаев ограничивается значением 100 Мбит/с. В обозримой перспективе она, скорее всего, достигнет величины 1 Гбит/с. Согласно стандартам СКС в ОК могут применяться многомодовые и одномодовые волокна. В параграфе 13.2.2 обосновано, что в указанном диапазоне скоростей использование одномодовой техники экономически оправдано при длине формируемого тракта не менее 1200–1300 м. Отсюда немедленно следует заключение о том, что потребность в реализации проводки на уровне рабочих мест пользователей на одномодовой элементной базе будет появляться только в исключительных случаях¹.

В области многомодовой техники стандартами СКС допускается использование ОВ категорий OM1, OM2 и OM3 типа 62,5/125 и 50/125 мкм. Однако на уровне магистральных подсистем эффективно могут использоваться только широкополосные волокна категории OM3, параметры которые позволяют поддерживать функционирование интерфейсов 1G и 10G Ethernet при длине трактов не менее единиц сотен метров. Технически эта разновидность световодов может быть реализована лишь в варианте 50/125. В соответствии с данным ограничением с целью обеспечения необходимой функциональной гибкости за счет поддержки возможности формирования составных трактов передачи в новых СКС с развитой оптической подсистемой на уровне рабочих мест также наиболее целесообразно применение ОВ типа 50/125.

В процессе построения части кабельной системы, непосредственно обслуживающей рабочие места пользователей, расходуется примерно 80% всех людских и материальных ресурсов, необходимых для реализации проекта проводки. Отсюда следует, что на уровне горизонтальной подсистемы должна использоваться элементная база, стоимостные параметры которой оптимальным образом соответствуют области применения.

Централизованные оптические архитектуры не получили широкого распространения в практике реализации проектов, и большинство СКС, в которых возникает потребность в применении оптических линий, строится по иерархическому принципу. В таких кабельных системах при необходимости прямого подключения некоторых пользователей непосредственно к центральному коммутатору тракт естественным образом имеет составную схему. С учетом данного обстоятельства на уровне горизонтальной подсистемы при наличии технической возможности целесообразно применять ОК с волокном категории OM2, так как они примерно в 1,5 раза дешевле по сравнению со своими аналогами, построенными на основе ОВ категории OM3.

¹ Одной из возможных ситуаций, в которой практически обязательно возникает необходимость в доведении одномодового ОК непосредственно до рабочего места пользователя, является потребность установки там оконечного терминала для прямого подключения к услугам внешнего телекоммуникационного оператора.

Принимая во внимание необходимость получения большой продолжительности срока службы проводки без ее морального устаревания, в том числе за счет обеспечения поддержки функционирования интерфейсов 1G Ethernet, допустимая величина ширины полосы пропускания составного тракта должна быть установлена на уровне не менее 1000 МГц¹.

Из формулы 46 для случая двух участков получаем ширину полосы пропускания тракта:

$$\Delta F = \frac{\Delta F_2}{l_2 \left(1 + \frac{l_1}{l_2} \frac{\Delta F_2}{\Delta F_1}\right)}, \quad (44)$$

где ΔF_1 и ΔF_2 — коэффициенты широкополосности ОВ категории OM2 и OM3; l_1 и l_2 — длины стационарных линий, реализованных на ОК с волокнами категории OM2 и OM3.

Результаты расчетов по формуле 44 приведены на рис. 205 в виде зависимости ширины полосы пропускания составного тракта от его протяженности $l = l_1 + l_2$. Из них следует, что при длине ОК с ОВ категории OM2 не свыше 50–100 м гигабитный поток может быть передан непосредственно на рабочее место пользователя без использования для этого выделенного коммутатора уровня рабочей группы при общей протяженности тракта вплоть до 1300–

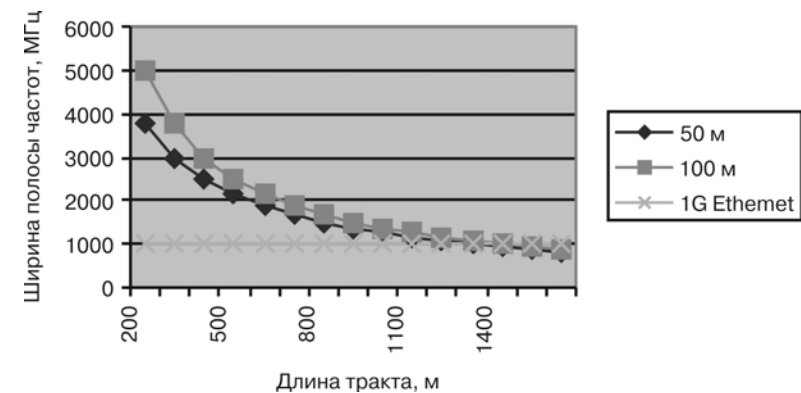


Рис. 205. Зависимость ширины полосы пропускания от длины комбинированного тракта, реализованного на кабелях с коэффициентом широкополосности 500 МГц·км (горизонтальная подсистема) и 1500 МГц·км (магистральная часть проводки)

¹ Расширение фактической полосы пропускания оптического тракта на основе многомодовых ОВ за счет применения высоконаправленных лазерных излучателей в передающих блоках трансиверов сетевых интерфейсов и возможность ее ограничения ниже уровня тактовой частоты без ухудшения качественных показателей канала связи в данном случае рассматривается как запас расчета.

1400 м, то есть в том диапазоне длин, в пределах которого использование многомодовой техники является экономически целесообразно.

ОВ категорий OM2 (в варианте 50/125) и OM3 являются полностью совместимыми по оптическим и механическим параметрам. Одновременно ОК с волокнами категорий OM2 и OM3 полностью эквивалентны по своим механическим, массогабаритным и эксплуатационным характеристикам. Как результат такого положения дел можем констатировать, что обсуждаемый составной тракт легко может быть реализован на практике, а его формирование не вызывает проблем в процессе текущей эксплуатации.

13.5.2. Определение величины расхода линейного кабеля

Расчет величины расхода ОК выполняется по тем же правилам, в соответствии с которыми производится расчет горизонтальных кабелей из витых пар. В процессе расчета величины расхода линейных кабелей привлекаются следующие предположения:

- рабочие места пользователей равномерно распределены по обслуживаемой рабочей области;
- трассы прокладки линейных кабелей устроены однотипно;
- оптический кабель поступает на объект монтажа в одинаковых упаковках;
- отбор упаковки для реализации конкретного проброса осуществляется по схеме: первая случайная, в которой кабеля достаточно для реализации проброса.

В соответствии с этой моделью алгоритм расчета выглядит следующим образом.

1. По формуле $L = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} \times 1,1 + 2 \times 1$ м, где L_{\max} и L_{\min} — протяженности (с учетом всех подъемов и спусков) в метрах пробросов с максимальной и минимальной длинами, соответственно, определяем среднюю длину проброса.
2. По формуле $n = L_0 / L$, где L_0 — длина кабеля в стандартной упаковке (обычно 300–500 м), с округлением вверх до ближайшего целого вычисляем количество пробросов, которое в среднем реализуется с одной упаковки кабеля.
3. По количеству рабочих мест и числу оптических портов на каждом из них определяем общее количество пробросов M .
4. Делением M на n с округлением результата до ближайшего целого вверх находим количество упаковок N' кабеля.
5. Умножением N' на длину упаковки находим расход оптического кабеля, который необходим для реализации проекта.

13.6. Расчет оптических параметров тракта передачи информации

Необходимыми условиями поддержания заданного качества передачи информации любого вида являются наличие у тракта определенной ширины полосы пропускания и обеспечение требуемого отношения сигнала к шуму. В связи с тем, что мощность оптического сигнала, вводимого в ОВ, нормируется спецификациями интерфейсов сетевой аппаратуры, вместо определения отношения сигнала к шуму достаточно проверить соблюдение норм на величину затухания.

Стандарты СКС гарантируют выполнение указанных параметров только на уровне стационарных линий и простых трактов. При этом дополнительно выдвигается требование соответствия определенного приложения классу линии (см. табл. 2), построенной с использованием стандартизованной элементной базы. В случае выхода за пределы этих ограничений (например, по допустимой длине) расчет оптических параметров выполняется обязательно.

13.6.1. Оценка ширины полосы пропускания многомодового оптического тракта

Ширина W полосы пропускания оптического тракта длиной l определяется расчетным путем. Для этого привлекается информация о коэффициенте ΔF широкополосности, которая содержится в спецификации ОК, используемого для реализации отдельных стационарных линий. При расчетах принимается во внимание также рабочая длина волны интерфейсов сетевой аппаратуры, которые работают по кабельным трактам СКС.

Необходимость в оценке ширины полосы пропускания многомодового оптического тракта возникает в том случае, если:

- для соединения двух интерфейсов сетевого оборудования применяется составной тракт, линейные кабели которого реализованы на ОВ с различными частотными свойствами (например, с использованием волокон одного типа, но различных категорий);
- для передачи сигналов аппаратуры определенных приложений применяются ОК с волокнами, частотные свойства которых отличаются от требований, приведенных в стандартах;
- общая длина тракта превышает ту величину, которая нормируется для конкретного приложения через параметр класса линии.

Максимальная длина кабельного тракта СКС ограничивается стандартами значением 2000 м. Указанная величина существенно меньше длины установления связи мод (параграф 2.3). С учетом данного обстоятельства с СКС при-

нимается линейный закон зависимости ширины W полосы пропускания тракта от его длины l . Поэтому ширина полосы пропускания тракта произвольной длины оценивается следующим простым соотношением:

$$W = \Delta F / l. \quad (45)$$

В общем случае тракт может иметь составную форму реализации. Случаем, эквивалентным с точки зрения оценки частотных свойств линейного объекта СКС, является формирование стационарной линии из нескольких строительных длин ОК, соединенных последовательно в промежуточных муфтах. В данной ситуации согласно рекомендации G.651 ITU-T полоса пропускания определяется как

$$W_{\Sigma} = \left(\sum_{j=1}^n W_j^{-1} \right)^{-1}, \quad (46)$$

где n — количество стационарных линий или строительных длин кабеля;
 W_j — ширина полосы пропускания j -й стационарной линии или строительной длины, измеренная по уровню 3 дБ.

13.6.2. Оценка величины затухания оптического тракта

Основными параметрами, которые привлекаются для оценки величины затухания оптического тракта, являются:

- структура оптического тракта;
- рабочая длина волны интерфейсов сетевой аппаратуры;
- коэффициент затухания ОК;
- технология оконцевания ОВ линейных кабелей стационарной линии элементами ОР;
- величины потерь в разъёмных и неразъёмных соединителях различных видов.

Расчетное соотношение, используемое при определении затухания в общем случае составного тракта протяженностью L при выполнении ограничений стандартов на допустимые длины кабельных изделий, записывается в следующей форме:

$$A = \sum_{j=1}^n \alpha_j(\lambda) L_j + \sum_{i=1}^m C_i + \sum_{k=1}^p S_k \text{ дБ}, \quad (47)$$

где $\alpha_j(\lambda)$ — коэффициент затухания j -й строительной длины ОК⁶ на длине волны λ ;

L_j — длина j -й строительной длины линейного ОК, причем $L = \sum_{j=1}^n L_j$;

n — количество строительных длин ОК, из которых сформированы стационарные линии, входящие в состав тракта;

C_i — затухание i -го ОР;

m — количество ОР в тракте;

S_k — затухание k -го неразъёмного соединителя;

p — количество неразъёмных соединителей в тракте.

Из структуры СКС следует, что в тех ситуациях, когда в кабельной системе отсутствуют резервные линии, при условии формирования любой стационарной линии с использованием всего одной строительной длины линейного кабельного изделия $1 \leq n \leq 6$. С учетом того, что разъёмы, с помощью которых к СКС осуществляется подключение активного оборудования, согласно стандартам организационно не входят в состав структурированной проводки, имеем $m = 2n$. Структуры, в которых это условие не выполняется, рассмотрены в параграфе 1.4.3, а их появление в реальном проекте следует рассматривать скорее как исключение. При использовании для монтажа всей СКС однотипной технологии оконцевания линейных ОК с помощью монтажных шнуров для наиболее часто встречающихся на практике случаев прокладки всех стационарных линий одной строительной длиной линейного кабеля можно принять $p = m$.

Числовые значения параметров, входящих в уравнение формулы 47, приведены в табл. 95.

В случае применения для построения кабельных трактов СКС стандартной однотипной элементной базы формула 47 преобразуется в формулу 1.

13.6.3. Расчет предельной длины многомодового тракта

Нормативными документами СКС в зависимости от типа ОВ и рабочей длины волны каждому приложению на основании спецификаций сетевых интерфейсов поставлена в соответствие определенная максимально допустимая длина тракта (см. табл. 2). В идеологию стандартов СКС положено разбиение всей совокупности многомодовых трактов на три класса: OF-300, OF-500 и OF-2000¹, причем максимальная длина тракта в метрах численно равна цифровому индексу класса. Соблюдение норм стандартов по максимальной протяженности тракта в случае его реализации на стандартной элементной базе гарантирует (иногда с определенными оговорками) получение заданного качества передачи, требуемого спецификациями сетевых интерфейсов по критерию обеспечения необходимого уровня дисперсионных искажений и/или максимально допустимого затухания.

Введенное в стандартах СКС разбиение трактов на классы вполне применимо в отношении подсистемы внутренних магистралей, для которых характерны относительно небольшие протяженности линейной части. Однако, принцип ранжирования линий, применяемых в нормативных документах, не в полной мере удовлетворяет тем потребностям практики, которые возникают в ходе проектирования подсистемы внешних магистралей. Оценка предельно допустимой длины оптического тракта на основе параметра класса тракта

¹ Формально данное разбиение относится также к трактам, реализованным на основе одномодовой техники. В реальности для всех известных и перспективных сетевых приложений обеспечивается параметр тракта на уровне OF-2000.

Таблица 95. Величины затухания отдельных компонентов оптического тракта СКС

Тип компонента	Длина волны, нм	Единица измерения	Обозначение	Величина потерь	
				По ISO/IEC 11801:2002	Фактическая *
Оптический кабель внешней прокладки, многомодовый с волокном типа 62,5/125	850	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	3,5	2,56/0,20
	1300	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	1,5	0,62/0,18
Оптический кабель внешней прокладки, многомодовый с волокном типа 50/125	850	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	3,5	2,45/0,20
	1300	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	1,5	0,53/0,18
Оптический кабель внутренней прокладки, многомодовый с волокном типа 62,5/125	850	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	3,5	2,70/0,24
	1300	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	1,5	0,76/0,25
Оптический кабель внутренней прокладки, многомодовый с волокном типа 50/125	850	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	3,5	2,64/0,26
	1300	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	1,5	0,68/0,25
Оптический кабель внешней прокладки, одномодовый	1310	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	1,0	0,32/0,005
	1550	дБ/км	$\alpha(\lambda)$	1,0	0,19/0,005
Оптические разъемы с керамическим наконечником	–	дБ	C_i	0,75	0,3/0,1
Механические сплайсы	–	дБ	S_k	0,3	0,1/0,06
Сварные соединения	–	дБ	S_k	0,3	0,05/0,03

*Среднее значение/среднеквадратичное отклонение.

Информация по коэффициентам затухания кабелей получена по результатам обработки регистрационных документов кабельной системы Айти-СКС и заводских паспортов одного из отечественных кабельных заводов (в последнем случае отбирались изделия только с однопольным ОВ одного производителя).

Таблица 96. Допустимая протяженность простого многомодового тракта СКС для некоторых приложений в зависимости от рабочей длины волны и категории ОВ (по стандарту/фактическая)

Приложение	Тактовая частота линейного сигнала, МГц	Тип многомодового волокна	Энергетический потенциал сегевого интерфейса, дБ	Категория волокна многомодового оптического кабеля					
				OM1 (62,5/125) OM2 (50/125)					
				850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм
10Base-FL, FP, FB	20	50/125 62,5/125	6,8 12,5	–	–	2000/3450	–	1514/1690	–
Token Ring 4 & 16 Мбит/с	32	50/125 62,5/125	8,0 13,0	–	–	2000/3462	–	1857/2086	–
ATM 52 Мбит/с	65	50/125 62,5/125	–	5,3 10,0	–	–	2000/6192	–	2000/3280
ATM 155 Мбит/с	194	50/125 62,5/125	7,2 7,2	5,3 10,0	–	–	–	1000/1570	2000/2198
ATM 622 Мбит/с	777	50/125 62,5/125	4,0 4,0	2,0 6,0	–	–	–	300/595	330/405
Fibre Channel 133 Мбит/с	133	50/125 62,5/125	–	6,0 6,0	–	–	1500/1895	–	2000/2984
Fibre Channel 266 Мбит/с	266	50/125 62,5/125	12,0 12,0	6,0 5,5	–	–	–	2000/2586	2000/2194
Fibre Channel 531 Мбит/с	531	62,5/125 и 50/125	8,0	–	350/762	–	–	500/1278	–
Fibre Channel 1062 Мбит/с	1062	62,5/125 и 50/125	5,0	–	300/390	–	–	500/756	–
1000Base-SX	1250	62,5/125 и 50/125	7,5	–	275/370	–	–	500/740	–

Таблица 96. Допустимая протяженность простого многомодового тракта СКС для некоторых приложений в зависимости от рабочей длины волны и категории ОВ (по стандарту/фактическая) (продолжение)

Приложение	Тактовая частота линейного сигнала, МГц	Тип многомодового волокна	Энергетический потенциал сетевого интерфейса, дБ	Категория волокна многомодового оптического кабеля				
				ОМ1 (62,5/125)				
				850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм	850 нм 1300 нм
1000Base-LX	1250	62,5/125 и 50/125	7,5	–	–	1000/950	–	500/962
FDDI-LCF	125	50/125 62,5/125	2,0 7,0	–	–	–	550/4474	– 500/1186
FDDI	125	50/125 62,5/125	6,0 11,0	–	–	–	2000/5805	– 2000/3050
100Base-FX	125	50/125 62,5/125	6,0 11,0	–	–	–	2000/5805	– 2000/3050
10GBase-SR	10310	62,5/125 и 50/125	7,3	–	33/50	–	82/123	–

Таблица 96. Допустимая протяженность простого многомодового тракта СКС для некоторых приложений в зависимости от рабочей длины волны и категории ОВ (по стандарту/фактическая) (продолжение)

Приложение	Тактовая частота линейного сигнала, МГц	Тип многомодового волокна	Энергетический потенциал сетевого интерфейса, дБ	Категория волокна многомодового оптического кабеля				
				ОМ3 (50/125)				
				850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм	850 нм 1300 нм
10Base-FL, FP, FB	20	50/125 62,5/125	6,8 12,5	–	–	1514/1690	–	1514/1840 –
Token Ring 4 & 16 Мбит/с	32	50/125 62,5/125	8,0 13,0	–	–	1857/2086	–	1857/2280 –
ATM 52 Мбит/с	65	50/125 62,5/125	–	5,3 10,0	–	2000/3280	–	–
ATM 155 Мбит/с	194	50/125 62,5/125	7,2 7,2	5,3 10,0	1000/1822	2000/2198	1000/1822	2000/1822
ATM 622 Мбит/с	777	50/125 62,5/125	4,0 4,0	2,0 6,0	300/1000	330/405	300/1093	330/405
Fibre Channel 133 Мбит/с	133	50/125 62,5/125	–	6,0 6,0	–	2000/2984	–	2000/2984
Fibre Channel 266 Мбит/с	266	50/125 62,5/125	12,0 12,0	6,0 5,5	2000/3184	2000/2194	2000/3184	2000/3184
Fibre Channel 531 Мбит/с	531	62,5/125 и 50/125	8,0	–	1000/1909	–	1000/2080	–
Fibre Channel 1062 Мбит/с	1062	62,5/125 и 50/125	5,0	–	550/1403	–	500/1633	–
1000Base-SX	1250	62,5/125 и 50/125	7,5	–	500/1449	–	550/1721	–

Таблица 96. Допустимая протяженность простого многомодового тракта СКС для некоторых приложений в зависимости от рабочей длины волны и категории ОВ (по стандарту/фактическая) (продолжение)

Приложение	Тактовая частота линейного сигнала, МГц	Тип многомодового волокна	Энергетический потенциал сетевого интерфейса, дБ	Категория волокна многомодового оптического кабеля				
				ОМ3 (50/125)				
				850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм	850 нм
1000Base-LX	1250	62,5/125 и 50/125	7,5	-	-	500/962	-	500/918
FDDI-LCF	125	50/125 и 62,5/125	2,0 7,0	-	-	500/1186	-	500/1186
FDDI	125	50/125 и 62,5/125	6,0 11,0	-	-	2000/3050	-	2000/3050
100Base-FX	125	50/125 и 62,5/125	6,0 11,0	-	-	2000/3050	-	2000/3050
10GBase-SR	10310	62,5/125 и 50/125	7,3	-	300/422	-	-	300/703

в данной области является слишком грубой. Причина этого заключается в том, что при реализации подсистемы внешних магистралей на крупных предприятиях средняя длина стационарной оптической линии на основании статистики реализованных проектов составляет примерно 1 км (см. рис. 211). В то же время стандарты не предусматривают отдельного класса трактов с аналогичной или близкой протяженностью. Особое внимание, которое необходимо оказывать именно этому диапазону, обусловлено тем, что при длинах трактов до 1000 м для построения линий оптической связи ИВС экономически более выгодно использовать многомодовую технику.

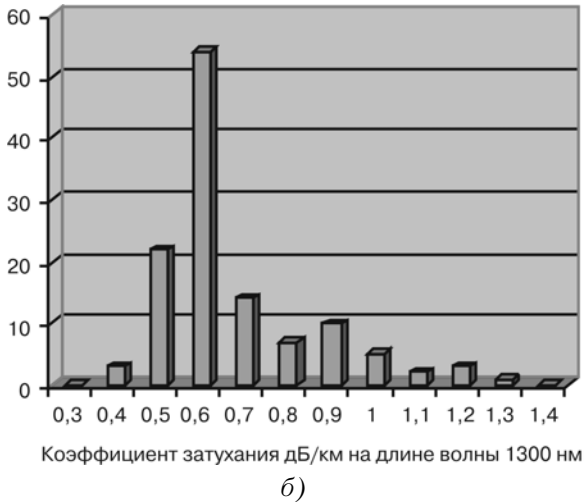
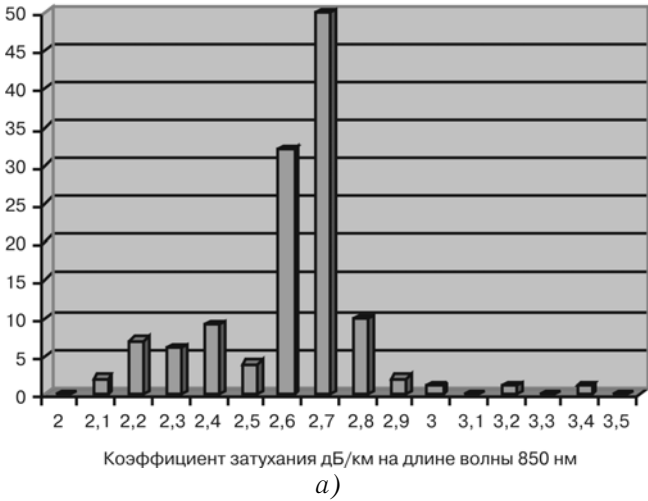


Рис. 206. Распределение затухания многомодовых кабелей внешней прокладки с волокном типа 62,5/125 (модульная конструкция, срок эксплуатации 8 лет): а) длина волны 850 нм; б) длина волны 1300 нм

Нестыковка нормативных документов и потребностей практики может быть достаточно успешно устранена за счет того, что возможности техники СКС позволяют в определенных пределах в случае необходимости увеличить предельную длину тракта по сравнению с теми значениями, которые следуют из данных табл. 2 и табл. 3. При этом используются как внутренние резервы основных нормативных документов СКС, обусловленные особенностями их построения, так и имеющееся на практике заметное превышение параметров элементной базы на нормируемыми значениями, см. рис. 206.

Метод определения предельно допустимой длины многомодового тракта согласно стандарту IEC TR 61282-2 [298] базируется на расчете бюджета мощности (power budget). На основании результатов, полученных в параграфе 2.4.3, уравнение бюджета, решение которого дает максимальную длину тракта, имеет следующую форму:

$$E = A(l) + r_d(l) + r_{nd}, \quad (48)$$

где E — энергетический потенциал оптического сетевого интерфейса;

$A(l)$ — затухание сигнала в тракте длиной l ;

r_d — параметр дисперсионного штрафа по мощности,

r_{nd} — недисперсионный штраф по мощности.

Величина недисперсионного штрафа по мощности принимается равной $r_{nd} = 1$ дБ. Исключение составляют интерфейсы, энергетический потенциал E которых не превышает 4 дБ. Для этого оборудования данная разновидность потерь считается уже учтенной при определении E , и поэтому для них $r_{nd} = 0$ дБ. Значение f_T зависит от информационной скорости V передачи и типа кодирования линейного сигнала. В частности, для интерфейсов Ethernet стандартами нормируется применение блочных линейных кодов 4B5B для Fast Ethernet, 8B10B для Gigabit Ethernet и 64B66B для 10G Ethernet [299]. Поэтому для них $f_T = \epsilon V$, причем $\epsilon = 1,25$ для оборудования Fast Ethernet и Gigabit Ethernet и $\epsilon = 1,031$ для оптической сетевой аппаратуры 10G Ethernet. Значения f_T приведены в табл. 2. Величина f_0 аналогично параграфу 2.4.3 находится как $f_0 = \Delta F/l$, где ΔF — коэффициент широкополосности линейного кабеля. Возможное превышение ΔF над требованиями стандартов в явном виде не учитывается и рассматривается как запас расчета. Численное значение дисперсионного штрафа по мощности согласно параграфу 2.3.4 оценивается как $r_d = 2,24 f_T/f_0 - 0,6$ дБ. Энергетический потенциал E сетевых интерфейсов заимствовался из их спецификаций. При отсутствии этих данных в качестве оценки E принимались величины допустимого затухания в тракте, приведенные в приложении к стандарту ISO/IEC 11801:2002.

Величины потерь в отдельных компонентах, последовательное соединение которых образует стационарные линии и тракты, являются независимыми случайными величинами с законами распределения, близкими к нормальному. Само затухание стационарной линии и тракта, для формирования которых использовано n различных компонентов, также будет случайной величиной с за-

коном распределения, который по вероятности стремится к нормальному. С учетом этого значения математического ожидания и дисперсии затухания выражаются в следующей форме:

$$MA = \sum_{i=1}^n A_i, DA = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2,$$

где A_i — математическое ожидание;

σ_i^2 — дисперсия затухания i -го компонента.

Для определения величины дисперсии затухания линейной части тракта при ее отличии от 1 км используется соотношение $\sigma_i^2(l) = l\sigma_{i0}^2$, где σ_{i0}^2 — дисперсия затухания ОК длиной 1 км.

Ожидаемая величина затухания A в форме оценки сверху, выполненной с привлечением правила «трех сигм» (вероятность превышения не свыше 0,3% при условии нормального распределения оцениваемой случайной величины) выглядит следующим образом: $A = MA + 3\sqrt{DA}$.

Результаты решения уравнения формулы 48 приведены в табл. 2.

13.7. Определение нагрузок, действующих на кабель в процессе его затягивания в каналы кабельной канализации, и способы их минимизации

13.7.1. Разновидности нагрузок

В составе подсистемы внешних магистралей могут организовываться линии связи достаточно большой протяженности, максимальная длина которых в соответствии со стандартами может достигать 2–3 км. В реальных условиях близкие к предельным длины трасс встречаются достаточно редко, однако практика свидетельствует о том, что значения порядка 1–1,5 км могут считаться типовыми. Для подтверждения этого положения на рис. 205 представлена статистика длин ОК подсистемы внешних магистралей Айти-СКС, полученная на основе выборки из примерно ста различных проектов, реализованных в период 2001–2002 г.

В процессе затягивания в каналы канализации любой кабель СКС неизбежно подвергается воздействию различных механических нагрузок, величина которых сильно варьируется в зависимости от характера трассы, ее состояния, используемой технологии прокладки и возрастает по мере увеличения ее длины. Это сопровождается возникновением напряжений в конструктивных элементах ОК, которые могут привести к изменению его передаточных характеристик. Так, в частности, его чрезмерное растяжение и сжатие могут привести к увеличению потерь и обрыву волокон. Значительное превышение механическими нагрузками допустимого уровня приводит к повреждению и разрушению отдельных компонентов сердечника и оболочек, а в тяжелых случаях — даже к обрыву кабеля.

Всю совокупность механических воздействий, которые испытывает кабель в процессе прокладки в канале канализации, можно разделить на усилия растяжения и сдвливания.

- Основными факторами, определяющими растягивающее усилие, являются:
- такие механические параметры ОК, как его погонная масса P_0 , коэффициент трения k_t и длина ℓ ;
 - состояние трассы кабельной канализации (наличие в канале других кабельных изделий, качество строительства, загрязнения и т. д.);
 - характер трассы кабельной канализации (угол α наклона поднимающегося и опускающегося участка трассы, а также угол β поворота в горизонтальной плоскости).

При протяжке ОК по незанятому прямолинейному каналу на него действуют сила трения и дополнительное тормозящее или ускоряющее усилие, зависящее от угла наклона трассы в данной конкретной точке. Соппротивление тяжению, которое создает участок кабеля длиной L , на основании эскиза рис. 207а можно рассчитать как

$$T_\alpha = \int_0^L P_0 g [k_t(\ell) \cos \alpha(\ell) + \sin \alpha(\ell)] d\ell \text{ Н,} \tag{49}$$

где g — ускорение свободного падения,
 $\alpha(\ell)$ — угол отклонения наклона данного участка трассы от горизонтали, причем $\alpha > 0$ соответствует подъему трассы, а $\alpha < 0$ — ее уклону.

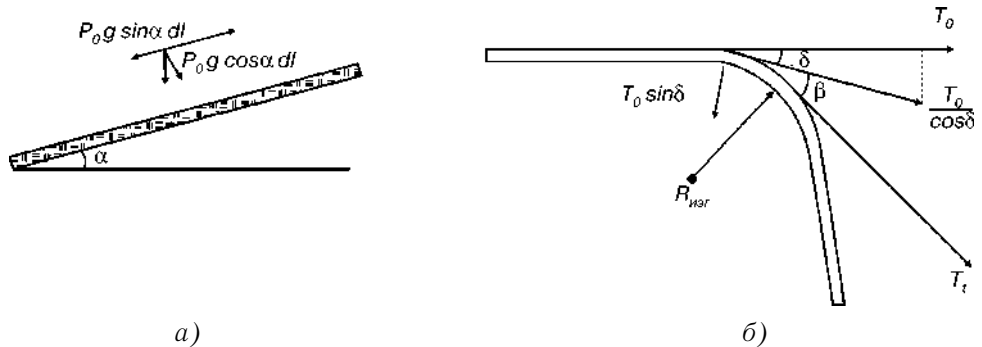


Рис. 207. К расчету величины усилия тяжения:

а) на прямолинейном участке трассы с уклоном; б) на изгибе трассы в горизонтальной плоскости

Коэффициент трения определяется в первую очередь материалами, использованными для изготовления внешней оболочки ОК и внутренней поверхности канала канализации, а также зависит от состояния и засоренности последней. В существенно меньшей степени этот параметр зависит от диаметра кабеля и скорости его протягивания по каналу. Таким образом, с большой до-

лей достоверности можно принять, что коэффициент трения мало меняется по длине трассы и $k_t(\ell) = k_t$. Значения этого параметра для наиболее популярных при изготовлении ОК внешней прокладки ПЭ оболочек и свободного незасоренного канала приведены в табл. 97.

Таблица 97. Зависимость коэффициента трения от материала трубы кабельной канализации

Материал трубы	Коэффициент трения
Полиэтилен	0,29
Асбоцемент	0,32
Бетон	0,38
Поливинилхлорид	0,30
Полимер со слоем твердой смазки	0,10

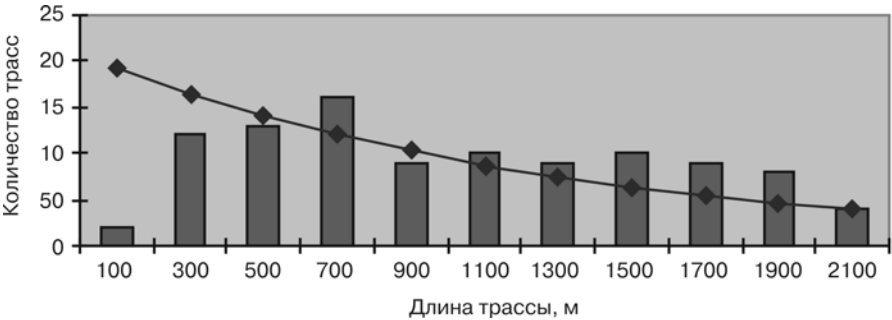


Рис. 208. Частотное распределение длин кабельных трасс подсистемы внешних магистралей

Угол наклона канала постоянно испытывает небольшие флуктуации вокруг среднего значения α . В случае выполнения правил строительства кабельной канализации можно в первом приближении принять, что эти флуктуации равномерно распределены в интервале $[-\epsilon, k\epsilon]$ с плотностью $\psi(\epsilon) = \frac{1}{\epsilon(k+1)}$. При этом $k > 1$ соответствует трассе с подъемом, а $k < 1$ — трассе с уклоном. Величина наклона находится как среднее значение $\alpha(\ell)$ и равна в данном случае

$$\alpha = \frac{1}{\epsilon(k+1)} \int_{-\epsilon}^{k\epsilon} x dx = \frac{\epsilon}{2} (k-1).$$

На основании правил строительства кабельной канализации можно утверждать, что при характерных для ее каналов уклонах порядка единиц миллиметров на метр длины ожидаемые среднеквадратичные значения углов $\alpha(\ell)$ на неровных участках будут составлять единицы градусов. При таких ограничениях

выражение формулы 49 может быть упрощено. Действительно, с учетом того, что отношение

$$\frac{\int_{-\varepsilon}^{k\varepsilon} \psi(x) T_{\alpha}(x) dx}{T_{\alpha}(\alpha)} = \frac{\sin \frac{\varepsilon(k+1)}{2}}{\frac{\varepsilon(k+1)}{2}}$$

при характерных для реальных трасс подсистемы внешних магистралей значениях $k \approx 1$ заметно отличается от единицы при углах ε только порядка нескольких десятков градусов, можем констатировать, что локальные флуктуации угла наклона канала пренебрежимо мало влияют на величину усилия тяжения в свободном прямолинейном канале. В свою очередь, это означает, что на участке с постоянным наклоном величина тянущего усилия рассчитывается как

$$T_{\alpha} = P_{\alpha} g \ell (k_i \cos \alpha + \sin \alpha), \quad (50)$$

то есть основными факторами, определяющими усилия тяжения, кроме угла α являются погонная масса ОК и коэффициент трения.

В некоторых случаях возникает необходимость прокладки ОК в каналах, в которых уже находятся другие кабели. Часто это удешевляет строительство, а иногда является единственной возможностью его осуществления. Наличие других кабельных изделий затрудняет процесс протяжки и вынуждает дополнительно увеличивать усилия, прикладываемые к вновь прокладываемому кабелю даже в случае идеально ровного и строго горизонтального канала. Величина увеличения усилия в достаточно широких пределах варьируется в зависимости от конкретных местных условий. Например, в [300] указывается на то, что в случае трех кабелей наиболее удобной для затягивания конфигурацией является их рядное расположение с протягиваемым кабелем посередине (наряду с трением о стенку канала возникает дополнительное трение о соседние кабели). Кроме того, состояние канализации в реальных условиях нередко бывает достаточно далеким от идеального. Влияние на процесс протяжки совокупности перечисленных выше факторов учитывают введением обобщенного интегрального параметра под названием коэффициента заклинивания [301], имеющего физический смысл увеличения тягового усилия в частично занятом, построенном с отступлением от правил и/или засоренном канале по сравнению с идеальным. Проведенные измерения показывают, что эффект заклинивания может увеличивать усилие, прикладываемое к ОК в процессе его протяжки, в несколько раз, хотя обычные значения этого коэффициента не превышают 2 [302]. Зависимость типового значения коэффициента заклинивания от количества других однотипных кабелей, проложенных в том же канале, приводится в табл. 98.

Результаты расчетов величин усилия тяжения при различных длинах трассы при условии прокладки одного кабеля в идеальном канале приведены на рис. 209.

Таблица 98. Зависимость коэффициента заклинивания k_{zkl} от числа кабелей в канале [303]

Количество кабелей	1	2	3	4
Коэффициент заклинивания	1	1,5–2	2–4	4–9

В реальных условиях любая достаточно протяженная трасса, по каналам которой осуществляется протяжка ОК, не является строго прямолинейной. Отклонения от прямой линии возникают:

- при необходимости обхода каналом подземного препятствия, расположенного между двумя смотровыми устройствами (колодцами);
- в угловых и разветвительных колодцах.

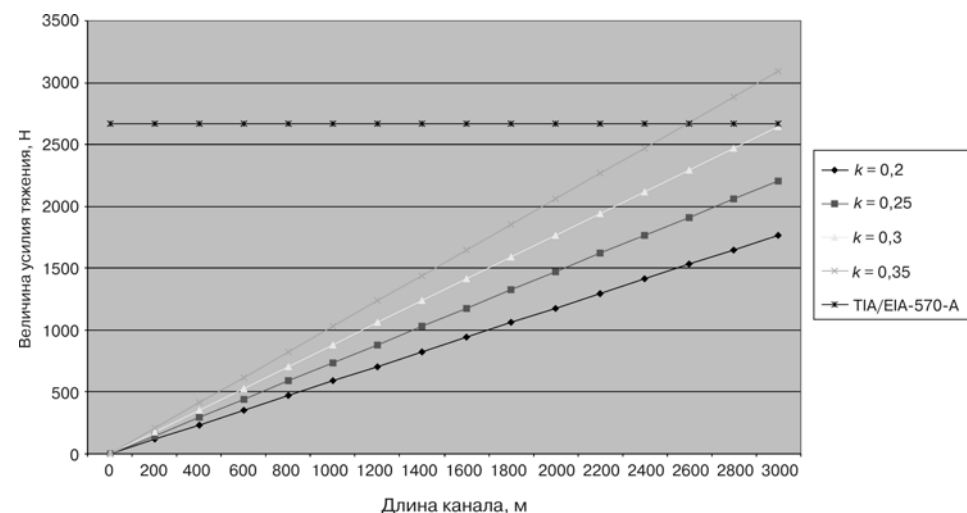


Рис. 209. Величина тягового усилия кабеля с погонной массой 300 кг/км при различных длинах канала идеальной прямолинейной канализации

Любые изменения направления канала канализации неизбежно сопровождаются увеличением растягивающего усилия, прикладываемого к ОК. Первопричиной является отклонение от первоначального направления вектора силы тяжения в точке поворота. Это имеет своим следствием как уменьшение осевой составляющей тянущего усилия, так и возникновение прижимающего воздействия и появление вызываемой им дополнительной силы трения, которая не зависит от погонной массы кабеля. Одна из возможных расчетных моделей прохождения поворота под действием осевого натяжения изображена на рис. 207б. На основании этого эскиза величина тягового усилия сразу пос-

ле единичного изгиба трассы под углом в радиан с постоянным радиусом $R_{\text{изг}}$ составляет

$$T_{\beta} = \lim_{\delta \rightarrow 0} T_{\gamma} \left(\frac{1}{\cos \delta} + k_i \sin \delta \right)^{\frac{\beta}{\delta}} = T_{\gamma} e^{\beta k_i}, \quad (51)$$

где T_{γ} — величина тягового усилия до изгиба.

Из формулы 51, в частности, следует, что единичный изгиб трассы под углом 90° при $k_i = 0,3$ увеличивает силу тяжения примерно в 1,6 раза.

Любые изменения направления трассы приводят также к динамическому сжатию ОК в области поворота. Значение бокового давления на кабель согласно модели рис. 207б составляет $P_{\beta} = T_{\beta}/R_{\text{изг}}$. Для ОК отечественного производства с однослойной броней из круглой стальной проволоки и упрочняющим покрытием из стальной гофрированной ленты при внешнем диаметре 12–15 мм типовая величина допустимого раздавливающего усилия составляет примерно 500 Н/см (см., например, ТУ 3387-007-13173860-98 завода «Оптен», г. Санкт-Петербург). Фактически при максимальном тянущем усилии $T_{\beta} = 3000$ Н и радиусе изгиба в 20 внешних диаметров кабеля получаем $P_{\beta} = 125$ Н/см. Таким образом, можно констатировать, что основным средством обеспечения допустимой величины раздавливающего усилия в процессе прокладки является соблюдение норм на радиус изгиба. Имеющийся достаточно значительный запас обеспечивает сохранение работоспособности ОК в случаях, которые не предусмотрены технологией прокладки (например, при наездах транспортных средств, сдавливаниях щекой барабана и аналогичных им).

Расчет на основе соотношений формул 50 и 51 положен в основу рекомендаций ИТУ-Т по определению величин механических воздействий на ОК при их прокладке в кабельной канализации [304].

13.7.2. Расчет ожидаемого усилия тяжения

При строительстве подсистемы внешних магистралей крупных СКС практический интерес представляет длина трассы, по которой ОК может быть протянут через канал одной строительной длиной без риска его механического повреждения.

Введем следующую расчетную модель трассы прокладки ОК подсистемы внешних магистралей. Предположим, что:

- трасса прокладки не имеет уклонов и подъемов (на основании соотношения формулы 50 их наличие не оказывает существенного влияния на величину тянущего усилия);
- повороты трассы происходят исключительно в угловых или разветвительных колодцах (поворот выполняется в точке).

При выполнении этих условий трасса может быть представлена состоящей из $n + 1$ прямолинейных участков длиной l_i , каждый из которых (за исключением последнего) заканчивается поворотом на угол β_i . На основании соотношений формул 50 и 51 общее усилие, прикладываемое к концу ОК на выходе такой трассы, составит

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=0}^n P_0 g k_i k_{\Sigma i} l_i \exp \left(\sum_{i=j, j>0}^n \beta_i k_{ii} \right), \quad (52)$$

причем $\sum_{i=0}^{n-1} l_i \leq L \leq \sum_{i=0}^n l_i$, где L — общая длина трассы той части подсистемы внешних магистралей, на которой прокладка кабеля выполняется одной строительной длиной.

В выражении (52) нумерация участков ведется от конца трассы к ее началу в смысле направления прокладки. Это позволяет получить единообразие записи.

Выражение (52) включает в себя три случайные величины (l_i , β_i и k_{ii}), и поэтому его анализ в общем случае затруднен. Для его упрощения воспользуемся данными рис. 210, согласно которым в реальных условиях наиболее вероятен поворот на угол, близкий к 90° , то есть в качестве оценки угла поворота можно принять среднее значение $\beta_i = \text{const} = 77^\circ$. Если угол поворота в каждом разветвительном или угловом колодце одинаков, а условия прокладки мало меняются по длине трассы ($k_{ii} \approx \text{const}$), то соотношение формулы 52 несколько упрощается и принимает вид

$$T_{\Sigma} = P_0 g k_i k_{\Sigma i} [l_n \exp(n \beta k_i) + l_{n-1} \exp((n-1) \beta k_i) + \dots] = \\ = P_0 g k_i k_{\Sigma i} \sum_{i=0}^n l_i \exp(i \beta k_i). \quad (53)$$

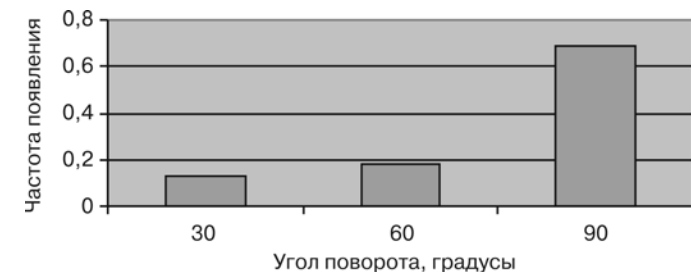


Рис. 210. Распределение углов поворота кабельной канализации (по данным АО Мостелефонстрой)

На рис. 211 показана статистика зависимости длин каналов кабельной канализации между двумя угловыми или разветвительными колодцами. Она по-

казывает, что распределение длины прямолинейной части канала достаточно хорошо описывается показательным законом с параметром $\lambda = 0,4 \text{ км}^{-1}$. Кабельная канализация подсистемы внешних магистралей СКС строится по правилам, одинаковым с применяемыми на ГТС. Поэтому можно предполагать, что данное положение будет выполняться также в области СКС.

Функция плотности суммы членов ряда в квадратных скобках выражения (53) при $n > 0$ находится в виде свертки функций плотностей отдельных слагаемых и при показательном законе распределения длин l_j с параметром λ имеет следующую форму:

$$\varphi_n(L) = \lambda \sum_{i=0}^n \frac{C_i^{n-1}}{\prod_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^n (C_i - C_k)} \exp\left(-\frac{\lambda L}{C_i}\right), \quad (54)$$

где $C_j = \exp(j\beta k_j)$,
 n — количество поворотов.

Математическое ожидание случайной величины с плотностью, задаваемой формулой 54, составляет $M_n = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=0}^n C_j$. Если на трассе такой же длины повороты отсутствуют ($C_j = 1$), то $M_n = \frac{n}{\lambda}$.

Величину $L_T = \sum_{j=0}^n l_j \exp(j\beta k_j)$ можно рассматривать как эффективную или

приведенную к прямолинейной длину трассы с физической длиной $L = \sum_{j=0}^n l_j$ и n поворотами. Ее использование удобно тем, что она позволяет учесть влияние наличия поворотов на ожидаемое усилие, прикладываемое к концу прокладываемого ОК.

Для удобства расчетов математического ожидания величины тяжения введем понятие локального и общего коэффициентов удлинения протяженности трассы. Локальный коэффициент удлинения относится к трассе заранее заданной длины L с фиксированным количеством n поворотов и определяется следующим образом:

$$k_{un} = \frac{L_T}{L} = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^n C_j.$$

Из физического смысла процесса появления на трассе подсистемы внешних магистралей углового и/или разветвительного колодца немедленно следует, что этот поток событий обладает свойствами стационарности и отсут-

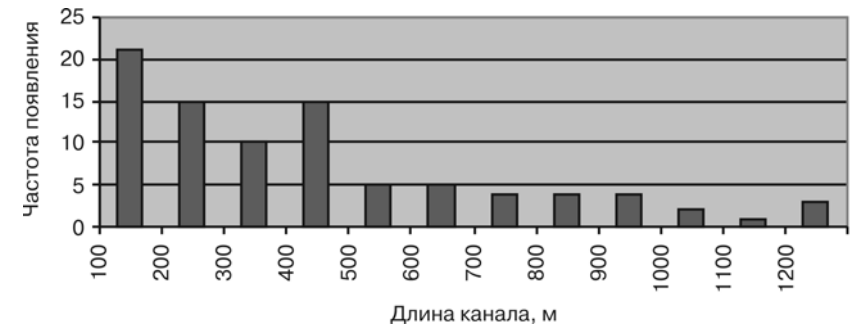


Рис. 211. Распределение длин каналов кабельной канализации между двумя точками поворота (по данным АО Мостелефонстрой)

вия последствия. Кроме того, колодцы на трассе кабельной канализации никогда не располагаются вплотную друг к другу, то есть поток их появления обладает свойством ординарности. Поэтому последовательность появления на трассе точек поворота, которые согласно введенной модели приходятся на угловые и разветвительные колодцы, можно рассматривать как простейший поток событий. В соответствии с этим вероятность наличия на трассе длиной L

ровно n точек поворота задается формулой Пуассона $P_n(n) = \frac{(\lambda L)^n e^{-\lambda L}}{n!}$.

С учетом данных обстоятельств общий коэффициент удлинения целесообразно задать в форме

$$k_u(L) = \sum_{n=0}^{\infty} k_{un} P_n(n).$$

Ожидаемое значение усилия, прикладываемое к концу кабеля на выходе трассы длиной L , найдем в результате как

$$T = P_0 g k_l k_{zkl} k_u(L) L. \quad (55)$$

Результаты расчетов по формуле 55 приведены на рис. 212 и свидетельствуют, в частности, о том, что в случае хорошо подготовленной трассы кабельной канализации (коэффициент заклинивания k_{zkl} близок к единице) свободные от других кабельных изделий каналы длиной до 1300—1700 м могут быть пройдены одной строительной длиной ОК без применения специальных мер по минимизации усилия тяжения.

13.7.3. Методы уменьшения усилия тяжения

В тех ситуациях, когда в силу местных условий k_{zkl} оказывается существенно больше единицы, величины тягового усилия снижаются до допустимого уровня с помощью различных приемов. Полную совокупность используемых для этого способов можно разделить на строительные и технические.

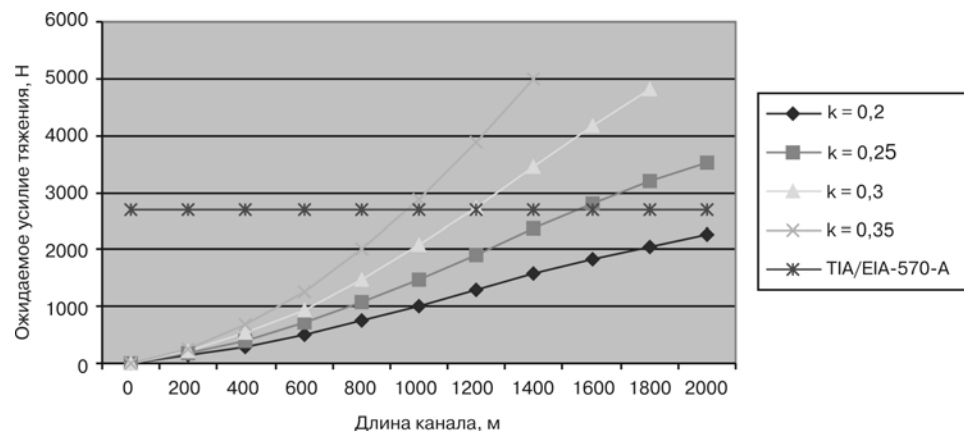


Рис. 212. Зависимость ожидаемого усилия тяжения, прикладываемого к концу кабеля с погонной массой 300 кг/км от длины трассы при среднем расстоянии между точками поворота в 800 м при различных коэффициентах трения k и единичном коэффициенте заклинивания

Строительные приемы основаны на минимизации произведения $k_u(L)L$ за счет уменьшения различными способами параметра n в формуле 53 и заключаются в следующем:

- разбиение трассы на несколько участков с последовательной прокладкой ОК через каждый из них и вытягиванием петель в промежуточных точках;
- прокладка ОК с центральной точки трассы в обе стороны к ее концам (это примерно удваивает длину трассы, которая может быть пройдена одной строительной длиной);
- подтяжка ОК в промежуточных точках трассы вручную и/или с помощью установленной в них вспомогательной лебедки (этот прием известен под названием метода разделения динамической нагрузки).

В первых двух случаях в качестве пунктов начала прокладки обычно используются угловые или разветвительные колодцы. Это дополнительно уменьшает на единицу количество точек поворота и способствует тем самым увеличению общей допустимой длины канала, проходимого одной строительной длиной ОК.

Еще один строительный прием непосредственно следует из анализа общего вида соотношения (53). При $l_j \approx \text{const}$ выражение в квадратных скобках оказывается достаточно близким к геометрической прогрессии со знаменателем $\exp(\beta k_i) > 1$. В результате величина усилия, прикладываемого к концу ОК, определяется в основном теми членами ряда, которые описывают процессы, происходящие на первых двух по направлению прокладки участках трассы. При этом при $\beta = 90^\circ$ доля уже первого из этих членов является преобладающей. В результате для минимизации усилия тяжения необходимо стремиться

к уменьшению l_n , то есть направление прокладки выбирается таким образом, чтобы первая точка поворота располагалась максимально близко к началу трассы.

В основу технических приемов положено уменьшение коэффициентов трения и заклинивания. Для минимизации коэффициента трения используется:

- установка в угловых и разветвительных колодцах направляющих роликов для минимизации k_i ; в этом случае вместо трения скольжения приходится преодолевать существенно меньшее трение качения;
- смазка оболочки ОК нейтральным для ее материала минеральным маслом.

Последний метод, несмотря на кажущуюся внешнюю привлекательность, крайне ограниченно применяется в процессе строительства, так как достаточно сложен в практической реализации и вызывает загрязнение колодцев и каналов. Кроме того, смазка может резко увеличить усилия, прикладываемые к ОК после промежуточной остановки процесса прокладки в момент возобновления движения за счет его прилипания к стенкам канала и к соседним кабелям (увеличение статического значения k_i).

Известен также не получивший широкого распространения из-за сложностей практической реализации способ, основанный на предварительном вдувании в канал микрошариков. При его применении трение скольжения заменяется на несколько меньшее трение качения в линейной части трассы, что сопровождается уменьшением результирующего тягового усилия.

Уменьшение коэффициента заклинивания достигается за счет:

- прокладки ОК в свободных и не полностью загруженных каналах канализации;
- предварительного прохода (заготовки) каналов с помощью устройства заготовки каналов УЗК или аналогичного бужа иной конструкции.

На основании данных рис. 205 средняя длина кабельной трассы подсистемы внешних магистралей имеет значение примерно 980 м и может быть пройдена одной строительной длиной. В свою очередь, это означает, что:

- введение в состав штатного оборудования СКС промежуточных муфт и технологических инструментов для их установки не является первоочередной необходимостью;
- в процессе строительства подсистемы внешних магистралей целесообразно использовать кабельные изделия, аналогичные применяемым на сетях связи общего пользования и имеющие допустимое растягивающее усилие около 3 кН;
- на трассах длиной свыше 600 м прокладку целесообразно осуществлять преимущественно в свободные каналы кабельной канализации; должны широко применяться строительные и технологические приемы по минимизации усилий протяжки.

13.8. Проектирование коммутационного поля в технических помещениях

13.8.1. Общие положения

Во время выполнения проектных работ на этапе определения структуры коммутационного поля и расчета объемов поставки отдельных его элементов решаются следующие основные задачи:

- задается тип коммутационного оборудования, которое устанавливается на рабочих местах пользователей и из которого формируется оптическая часть коммутационного поля в технических помещениях;
- рассчитывается количество функциональных единиц отдельных разновидностей коммутационного оборудования;
- рассчитывается количество аксессуаров, применяемых в процессе монтажа оптических информационных розеток и кроссов в технических помещениях.

Перечисленные выше действия выполняются для каждого технического помещения, в которые вводится хоть один ОК. Расчет на уровне рабочих мест осуществляется в случае реализации проектов классов FTTH и FTTO.

13.8.2. Расчет коммутационного оборудования

Расчет коммутационного оборудования выполняется по двухшаговой схеме. На первом шаге конкретизируется его тип. Основной целью второго шага является определение количества функциональных единиц отдельных разновидностей этого оборудования.

13.8.2.1. Обоснование выбора типа коммутационного оборудования

На рабочих местах пользователей оптическое коммутационное оборудование применяется в случае реализации проектов класса FTTH. Его функции могут выполнять оптические ИР в различных формах их конструктивного исполнения, розетки мультимедиа и групповые многопользовательские розетки (см. параграфы 6.4.3 и 6.4.4). Конструктивное исполнение этих элементов определяется местными условиями монтажа, а их количество рассчитывается по числу обслуживаемых рабочих мест. Определение количества рабочих мест, обслуживаемых оптической горизонтальной подсистемой и структурами с централизованным администрированием, осуществляется аналогично медножильной части СКС: для одного пользователя в помещениях офисного типа для размещения работников органов управления согласно СНиП 2.09.04-87 требуется 4 м² рабочей площади. В том случае, если СКС поддерживает работу КБ, норма на одного работника увеличивается до 6 м².

Основным типом коммутационного оборудования, которое предназначено для установки в технических помещениях, является стоечный оптический кросс (оптическая полка). Такое положение дел обусловлено тем, что ресурсы оптической подсистемы расходуются преимущественно для обеспечения работы ЛВС. Активное оборудование различного уровня данной части ИВС в подавляющем большинстве случаев устанавливается в 19-дюймовом монтажном конструктиве с использованием штатных элементов крепления, и соответственно из соображений обеспечения удобства текущей эксплуатации к нему функционально привязываются коммутационные панели структурированной проводки.

Настенные оптические муфты используются для подключения по оптическому каналу небольших выделенных рабочих групп, коммутационные панели которых достаточно часто устанавливаются без применения закрытого монтажного конструктива непосредственно на стене. Еще одним случаем, для которого характерна высокая вероятность применения настенной муфты, является организация соединительных линий между УПАТС и ее выносами или подстанциями.

13.8.2.2. Выбор типа разъема

Основные критерии, которые используются при выборе типа ОР коммутационного оборудования, заключаются в следующем:

- соответствие типа разъема требованиям действующих редакций стандартов СКС;
- хорошие экономические показатели;
- обеспечение удобства текущей эксплуатации проводки.

Согласно стандартам предпочтительным типом оптического соединителя считается разъем типа SC. Разъем типа ST, начиная с 2002 г., исключен из списка разрешенных для применения в оптической подсистеме СКС. Однако при модернизации или расширении уже построенных кабельных систем, в которых он применялся ранее, допускается использовать его дальше. В связи с ростом объемов применения оптической техники в процессе реализации структурированной проводки при проектировании СКС с развитой оптической подсистемой и связанной с этим необходимостью увеличения плотности портов активного и пассивного оборудования ИВС целесообразно рассмотреть возможность применения современных малогабаритных разъемов из группы SFF. Данная разновидность соединителей без конкретизации их типа допускается для использования на практике последними редакциями американской и международной версий основных стандартов СКС.

В практике реализации СКС согласно действующим редакциям стандартов находят использование ОК с волокнами трех основных типов: 62,5/125, 50/125 и 9/125. При соединении различных кабельных изделий с несоответствующими геометрическими параметрами ОВ появляются значительные поте-

ри сигнала. Для предотвращения ошибочной коммутации в процессе формирования составного тракта и подключения активного сетевого оборудования стандартами предусмотрено цветовое кодирование визуально видимых пользователю элементов разъемов, которые устанавливаются на волокна различных типов. Это позволяет использовать в процессе текущей эксплуатации кабельной системы интуитивно понятный большинству пользователей принцип «цвет к цвету».

Для дополнительного увеличения удобства эксплуатации и сведения практически до нуля рисков неправильного подключения шнуров различного назначения рекомендуется по возможности дополнить цветовую кодировку также механической блокировкой.

Подавляющее большинство ОР не имеет штатных конструктивных средств механической блокировки. Поэтому наиболее просто данное положение реализуется на практике за счет использования для оконцевания ОВ с различным диаметром световедущей сердцевины разных типов ОР. Пример такого подхода: для установки на кабель с волокном 50/125 используют разъем типа SC, разъемы типа ST относятся к волокнам 62,5/125. Для работы с одномодовым ОВ применяется разъем типа FC. Отход от требований стандарта относительно последнего типа ОР обосновывается относительно небольшими объемами применения одномодовой элементной базы при реализации проектов СКС и достаточно широким распространением разъемов FC в технике сетей связи общего пользования.

13.8.2.3. Расчет объемов поставки

Количество функциональных единиц оборудования, из которого собирается оптическая часть коммутационного поля в конкретно взятом техническом помещении, зависит от следующих факторов:

- емкости отдельных ОК, входящих в данное техническое помещение;
- общего количества ОК, обслуживаемых коммутационным оборудованием в данном техническом помещении, и их конструктивных особенностей;
- схемы размещения оборудования в монтажных конструктивах.
- наличия резервных трактов передачи информации и схемы их формирования.

Суммарная емкость ОК, которая используется в качестве одного из критериев при конкретизации типа коммутационного оборудования, определяется на основании перечня кабелей, которые вводятся в данное техническое помещение. Стандарты СКС не разрешают оставлять часть волокон линейных ОК без их подключения к панельному компоненту ОР. С учетом этого положения сразу следует вывод о том, что при отсутствии транзитного соединения ОВ с использованием методов сварки или механических сплайсов данный параметр однозначно задает минимальное количество розеток пользовательского интерфейса коммутационных устройств.

Часть производителей СКС, исходя из соображений увеличения эстетических характеристик поставляемой продукции и некоторого снижения объемов работ на объекте монтажа, предлагают своим партнерам оптические полки с уже установленными в них розетками ОР. При таком подходе производящей компании к комплектации элементной базы потенциально может возникнуть ситуация, когда количество розеток превышает количество ОВ оконцовываемых ОК. В этом случае неиспользованные розетки в соответствии со стандартами на администрирование должны быть снабжены соответствующей маркировкой.

Определенное влияние на объем поставки коммутационного оборудования оказывают также общее количество и конструктивное исполнение ОК, вводимых в данное техническое помещение. Кабельные вводы в оптические полки и настенные муфты имеют вполне определенную и достаточно ограниченную емкость (см. параграф 6.1.3.4). Обычно оптическая полка позволяет ввести в нее два ОК внешней прокладки на 1U своей монтажной высоты. Для распределительных кабелей внутренней прокладки, имеющих уменьшенный внешний диаметр и массу, а также большую гибкость, в известных конструкциях величина данного параметра может возрасти даже в два–четыре раза.

С учетом данной конструктивной особенности следует дополнительный вывод о предпочтительности применения одного кабеля большей емкости вместо нескольких кабелей меньшей емкости.

Учет влияния схемы размещения оборудования в монтажных конструктивах на объем и номенклатуру поставки различных оптических кроссов производится на уровне КЭ и осуществляется следующим образом. В данном техническом помещении известны две такие схемы: основная и альтернативная. Максимальное количество рабочих мест, обслуживаемых коммутационным оборудованием КЭ при выполнении требований отечественных нормативных документов относительно площади, выделяемой на одного сотрудника, составляет не более 250. Согласно параграфу 13.1.1 один up-link-порт коммутаторов уровня рабочей группы обслуживает 10–15 рабочих мест, то есть общее количество волокон в магистральных ОК, входящих в КЭ со стороны технических помещений более высокого уровня, не превысит 50. В случае применения основной схемы размещения оборудования коммутаторы ЛВС распределяются по конструктивам поровну, альтернативная схема предполагает размещение активного сетевого оборудования в одном конструктиве. Современные оптические полки обеспечивают плотность до 24 дуплексных розеток ОР на 1U монтажной высоты, то есть обслуживают примерно 50 волокон. Отсюда следует, что при основной схеме применяются две 24-волоконные полки, при альтернативной — одна 48-волоконная, обычно имеющая высоту 2U.

В технических помещениях более высокого уровня используется аналогичный подход: оптические полки размещаются в тех конструктивах, в которых располагается оборудование ЛВС.

В крупных СКС, имеющих трехуровневую структуру, процесс определения объема коммутационного оборудования, устанавливаемого в кроссовой здания и внешних магистралей, обычно не требует выполнения отдельных расчетов. В данном случае можно воспользоваться свойством симметрии магистральных линий. Под этим понимается то, что линейный кабель любой магистральной линии в основной массе случаев заводится на обоих концах в однотипное коммутационное оборудование. За счет этого применительно к кроссовой здания искомый объем коммутационного оборудования оптической подсистемы численно равен объему оптического коммутационного оборудования, устанавливаемого в КЭ и аппаратной (кроссовой внешних магистралей) и обслуживающего те ОК, которые входят в рассматриваемую кроссовую здания.

Указанный принцип полностью распространяется на аппаратную в зависимости от структуры СКС (двухуровневая или трехуровневая). Для этого технического помещения количество различных оптических коммутационных панелей в первом приближении численно равно сумме панелей в непосредственно обслуживаемых им технических помещениях более низких уровней.

В техническом помещении более высокого уровня можно воспользоваться наличием определенной избыточности коммутационного оборудования по количеству обслуживаемых волокон. Это позволяет несколько уменьшить объем поставки для кроссовой здания и аппаратной. Принцип реализации этого подхода для случая подключения с помощью двух 8-волоконных кабелей двух КЭ к одной аппаратной изображен на рис. 213. Расчет панелей, обслуживающих резервные тракты передачи информации, осуществляется аналогично основным линиям.

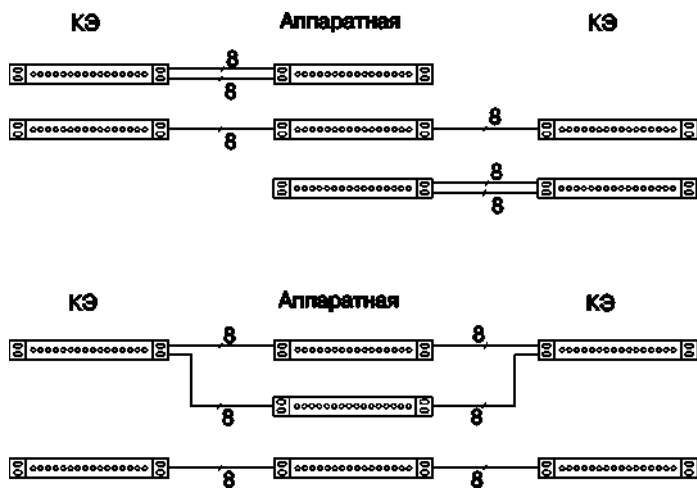


Рис. 213. Варианты организации стационарных линий, соединяющих две КЭ с аппаратной, в случае наличия избыточности по оптическим розеткам

13.8.3. Расчет аксессуаров коммутационного оборудования и шнуровых изделий

На перечень аксессуаров, включаемых в спецификацию поставляемого оборудования, необходимого для реализации оптической подсистемы СКС, достаточно сильное влияние оказывает технология, применяемая в процессе установки вилок ОР на линейные кабели, а также конструктивное исполнение коммутационных устройств. В табл. 99 приведен ориентировочный перечень монтируемых компонентов и технологического оборудования, которые необходимы при сборке оптических коммутационных устройств. Параметром при этом является тип технологии установки вилок разъемов.

Таблица 99. Расходные материалы, монтажные компоненты и технологическое оборудование, применяемые при установке оптических коммутационных устройств

Технология	Наклейка	Механические коннекторы	Механические сплайсы	Сварка
Монтируемые элементы и расходные материалы	Вилки оптических разъемов Клеевые составы Шкурки для полировки	Вилки механических коннекторов	Монтажные шнуры Сплайсы	Монтажные шнуры Гильзы КДЗС
Элементы организации	–	–	Корпус сплайс-пластины Крышка корпуса Держатели сплайсов	Корпус сплайс-пластины Крышка корпуса Держатели гильз КДЗС
Технологическое оборудование	Комплект инструмента для работы с волокном Печка (в случае эпоксидных клеев) Измеритель оптических потерь	Комплект инструмента для работы с волокном Скалыватель Измеритель оптических потерь	Комплект инструмента для работы с волокном Скалыватель Измеритель оптических потерь	Комплект инструмента для работы с волокном Скалыватель Сварочный аппарат Измеритель оптических потерь

Дополнительным элементом, требующим подбора конфигурации при определении объемов поставки, является сплайс-пластина (см. параграф 6.1.3.5). Этот компонент применяется в случае организации транзитных со-

единений внутри корпуса оптического кросса и оконцевания линейных ОК классическими монтажными шнурами.

Корпуса сплайс-пластин импортного производства обычно рассчитываются на установку в них 12 держателей сростков (механических сплайсов и гильз КДЗС). Сплайс-пластины отечественного производства иногда имеют емкость до 16 держателей. Сам держатель может являться интегральной составной частью корпуса сплайс-пластины или же быть выполненным в виде съемного компонента. Первый вариант характерен для сплайс-пластин отечественного производства. Емкость съемных держателей механических сплайсов и гильз КДЗС в основной массе присутствующих на рынке изделий составляет 6 или 8 фиксируемых сростков, в корпусе сплайс-пластины обычно размещаются два держателя.

13.9. Обеспечение надежности магистральных трактов передачи информации

13.9.1. Организационные и проектные мероприятия

Кабельные тракты передачи информации, организуемые на уровне магистральных подсистем СКС, используются в подавляющем большинстве случаев активным сетевым оборудованием ЛВС коллективного пользования. Они также обеспечивают множество отдельных потребителей централизованными информационными ресурсами (УПАТС). В таких условиях выход из строя линейной части тракта передачи, наиболее подверженный опасности повреждения, имеет достаточно тяжелые последствия, так как сразу лишает по крайней мере части информационного сервиса достаточно большую группу пользователей. На основании этого уже на этапе проведения проектных работ необходимо уделять повышенное внимание обеспечению эксплуатационной надежности магистральных подсистем. Мероприятия, реализуемые в процессе решения этой задачи, обычно носят комплексный характер и делятся на технические и организационные. На практике находят использование достаточно многочисленные разновидности таких мероприятий, основными из которых являются:

- применение кабельной продукции и коммутационного оборудования только ведущих изготовителей, имеющих соответствующие сертификаты и гарантийные обязательства производителя, то есть потенциально и изначально обладающих большим временем наработки на отказ (иначе — меньшей интенсивностью отказов);
- выбор элементной базы, трасс прокладки и технических решений, в максимально полной степени отвечающих условиям строительства и эксплуатации на конкретном объекте;
- резервирование наиболее критичных с точки зрения отказов компонентов кабельной системы (более подробно этот вопрос рассмотрен в параграфе 1.3.1);

- использование средств ограничения доступа посторонних лиц к линейным и коммутационным компонентам кабельной системы, а также к оконечному активному сетевому оборудованию;
- установка панелей коммутационного поля СКС и активного сетевого оборудования даже в технических помещениях в 19-дюймовых шкафах с закрывающимися на замок дверьми;
- применение для прокладки линейных кабелей каналов кабельной канализации, трубной разводки, декоративных коробов и других элементов, обеспечивающих дополнительную защиту от механических повреждений; при непосредственной прокладке ОК в грунт в качестве одного из решений данной группы используется увеличение глубины заделки относительно нормативных значений;
- регулярное выполнение профилактических измерений параметров магистральных трактов передачи информации для раннего выявления потенциальных отказов.

Быстрота восстановления функционирования в полном объеме ИВС предприятия при наступлении аварийной ситуации применительно к СКС в общем и ее оптической подсистеме обеспечивается:

- наличием резервных трактов передачи информации, предусматриваемых еще на этапе выработки технических требований к СКС;
- обучением персонала, обслуживающего кабельную проводку, правилам, принципам и приемам обнаружения неисправностей и восстановления работоспособности линий связи;
- наличием ЗИП, в состав которого вводятся линейные кабели, коммутационное оборудование и шнуры в объеме, достаточном для восстановления связи при авариях с уровнем тяжести вплоть до средней силами обслуживающего персонала без привлечения внешних организаций;
- включением в состав дополнительного оборудования СКС, передаваемого заказчику после сдачи системы в эксплуатацию, технологических приспособлений и измерительных приборов, позволяющих выполнить необходимую диагностику и ремонт силами сотрудников отдела автоматизации или службы эксплуатации кабельных сетей предприятия;
- заключением договоров с внешними организациями о выполнении ими профилактических измерений и о гарантированном времени восстановления связи в случае аварии.

13.9.2. Резервирование в СКС

Резервирование в технике связи в общем случае применяется с целью увеличения живучести сети [305]. Наличие резервных трактов передачи информации дополнительно увеличивает также гибкость кабельной системы. Резервирование всего комплекса технических средств структурированной проводки

предусмотрено на уровне основных нормативных документов СКС. Так, в частности, в области реализации этого принципа стандарт ISO/IEC 11801 : 2002 (рис. 214) допускает:

- установку дополнительных ИР на рабочем месте с их подключением к коммутационному оборудованию в различных КЭ;
- применение нескольких технических помещений не только на уровне КЭ, но и выше (КЗ, КВМ и аппаратные);
- организацию резервных связей между техническими помещениями одного уровня.

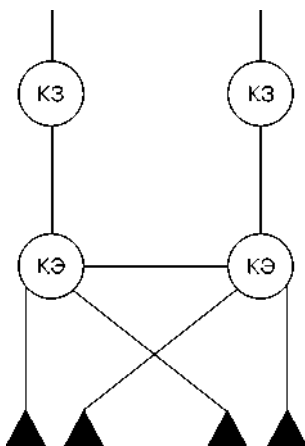


Рис. 214. Отдельные функциональные элементы СКС в случае применения резервирования на уровне горизонтальной и магистральных подсистем

Реализация принципа резервирования оказывается в общем случае более простой операцией в случае оптической подсистемы, ОК которой:

- накладывают существенно менее жесткие ограничения на количество промежуточных разъемных и неразъемных соединителей в тракте передачи высокоскоростных сигналов по сравнению с кабелями на основе витой пары;
- имеют практически постоянные массогабаритные показатели в широком диапазоне изменения емкости¹.

Для организации резервных связей на практике применяется:

- строительство стационарных линий, непосредственно соединяющих оконечные пункты;

¹ Например, согласно ТУ К04.037-98, наиболее популярные на практике кабели внешней прокладки с однослойной броней из стальной гофрированной ленты или круглой оцинкованной стальной проволоки имеют неизменные диаметр и погонную массу при количестве волокон до 72.

- транзитные соединения двух или более стационарных линий, организованных между промежуточными пунктами формируемого тракта.

Каждый из указанных способов решения задачи резервирования реализуется в двух основных вариантах. В простейшем случае резервирование обеспечивается увеличением емкости ОК сверх пределов, необходимых для обеспечения нормальной эксплуатации СКС. Более эффективным с точки зрения достигаемого уровня живучести, хотя и требующим больших затрат, является применение в рамках этого принципа нескольких отдельных ОК, проложенных по пространственно разнесенным трассам (например, по каналам двух различных стояков здания). Это гарантирует сохранение связи в случае физического повреждения или даже полного разрушения одной из кабельных трасс.

Стандарт ISO/IEC 11801:2002 в явном виде допускает прокладку резервных кабелей в области магистральных подсистем только между техническими помещениями одного уровня. Какие-либо запреты на подключение к техническим помещениям более высокого уровня в этом и других нормативных документах отсутствуют. Задача увеличения живучести ИВС в целом и кабельной проводки в этом случае может быть решена двумя способами, каждый из которых может иметь два основных варианта, см. рис. 215.

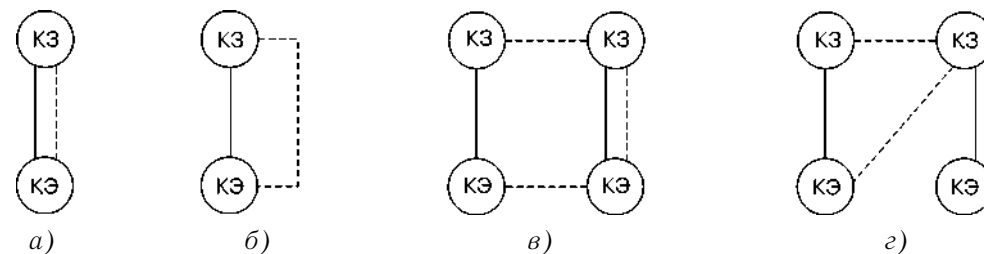


Рис. 215. Варианты организации резервных связей между двумя техническими помещениями различного уровня

Первый способ не предполагает прохождения линейных кабелей через другие технические помещения. Это может быть как прямое увеличение емкости кабелей, соединяющих два различных технических помещения, так и прокладка резервных кабелей по пространственно разнесенным трассам, рис. 215а–б. Характерным отличительным признаком второго способа является ввод линейных кабелей, образующих тракт передачи сигнала, в одно или несколько дополнительных технических помещений. Варианты реализации в этом случае появляются из-за того, что резервный тракт может организовываться через техническое помещение того же уровня, что и один из связываемых узлов, или не заходить в него, рис. 215в–г.

Способ на основе транзитного соединения очевидным образом может быть выполнен обычными коммутационными шнурами, см. рис. 216а. Данный прием является основным при организации электрических трактов. В оптической

подсистеме дополнительно применяется пользующийся достаточно большой популярностью на практике принцип прямого сращивания отдельных ОВ. Эта процедура выполняется сваркой или механическими сплайсами внутри корпуса муфты без оконцевания ОВ вилками и вывода розеток на лицевую или боковую панель, см. рис. 213б. На основании того, что один ОР по действующим стандартам может вносить затухание 0,75 дБ, а одно сращивание сваркой или сплайсом — только 0,3 дБ, сразу же следует вывод о том, что применение неразъемных соединителей является более предпочтительным по вносимым потерям. При этом потенциально улучшение будет составлять $2 \times 0,75 - 0,3 = 1,2$ дБ, по гарантируемым техническим параметрам элементной базы оно будет равно $2 \times 0,4 - 0,1 = 0,7$ дБ, а фактически в подавляющем большинстве случаев этот выигрыш составит $2 \times 0,3 - 0,05 = 0,55$ дБ. Дополнительно метод с использованием сварки обеспечивает несколько меньшую стоимость решения, а также повышенную эксплуатационную надежность за счет отсутствия коммутационного шнура. Последнее свойство немедленно определяет также основной недостаток, который заключается в меньшей функциональной гибкости получаемой структуры и необходимости наличия у компании-интегратора соответствующего достаточно дорогостоящего технологического оборудования для проведения работ по сращиванию ОВ.

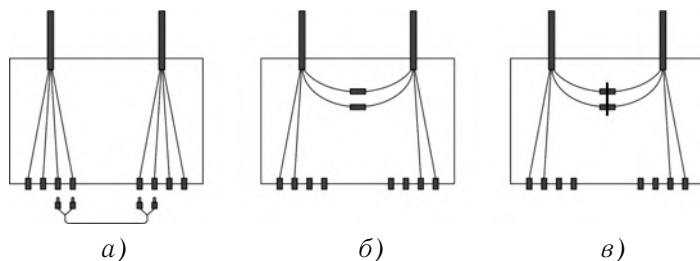


Рис. 216. Варианты соединения линейных кабелей в процессе организации резервных оптических трактов: а) с коммутацией шнурами; б) с фиксированным соединением внутри корпуса коммутационного устройства; в) с разъемным соединением внутри корпуса коммутационного устройства

Кроме рассмотренных выше вариантов резервирования, основанных на использовании однотипных ОК, в случае проектирования трактов длиной не свыше 90 м и предназначенных для поддержки функционирования аппаратуры ЛВС, возможно применение так называемого неоднородного резервирования. Данный прием основан на предоставлении возможности, в случае необходимости, среды передачи другого типа, то есть фактически основные линии оптической связи резервируются линиями из витых пар. Технической основой популярности такого решения является легкость перехода с одного типа среды передачи на другой у подавляющего большинства типов совре-

менного оборудования ЛВС. При этом в качестве резервных целесообразно использовать четырехпарные кабели категории не ниже 5е. Обоснованием такого выбора является возможность построения на их основе трактов передачи аппаратуры вплоть до Gigabit Ethernet 802.3ab, популярность которой быстрыми темпами начала расти после принятия в 1999 г. стандарта этого интерфейса. Один резервный кабель данной разновидности при 100%-ном резервировании оптических трактов приходится на 10 рабочих мест, то есть их количество определяется с расчетом на ожидаемое число концентраторов или коммутаторов ЛВС, которые могут быть оборудованы up-link-модулем с интерфейсами Ethernet в различных вариантах его конструктивного исполнения.

Дополнительно отметим, что резервирование кабельных трактов с использованием трасс прокладки по разным маршрутам настоятельно рекомендуется в тех достаточно часто встречающихся на практике случаях создания СКС у крупного корпоративного заказчика, когда прокладка ОК выполняется в кабельную канализацию ГТС. Разовые затраты на строительство резервной линии и повышенная (хотя и остающаяся достаточно умеренной) арендная плата быстро окупаются при первой же серьезной аварии на трассе основного кабеля, вероятность которой, как показывает опыт, не может считаться в наших российских условиях пренебрежимо малой¹. Это объясняется как достаточно большой продолжительностью процедуры самого восстановления канализации, так и сложностью организации ремонтных работ из-за необходимости получения разрешений, допусков и согласований.

13.10. Оценка целесообразности применения разветвительной муфты при построении оптических линий подсистемы внешних магистралей

Канонический принцип построения СКС в форме иерархической звезды приводит к тому, что ОК подсистемы внешних магистралей больших кабельных систем, охватывающих несколько отдельных зданий, достаточно часто прокладываются по одним и тем же кабельным трассам. В такой ситуации рассматривается вариант построения линейной части подсистемы внешних магистралей, основанный на прокладке по общему участку трассы ОК увеличенной емкости и установки в конце общего участка разветвительной муфты. Данный компонент фактически выполняет функции точки консолидации магистраль-

¹ В центральном офисе компании АйТи за 7 лет эксплуатации при общей протяженности трасс подсистемы внешних магистралей около 5 км были две серьезные аварии с обрывом магистральных оптических кабелей.

ной подсистемы. В качестве обоснования применения такого решения можно привести следующие аргументы:

- более экономичное использование емкости кабельных трасс, в частности каналов кабельной канализации, так как ОК внешней прокладки обладают примерно постоянными массогабаритными показателями в достаточно широком диапазоне изменения количества световодов;
- снижение затрат на проектные и строительные работы, которые при длинах кабельных трасс, характерных для подсистем внешних магистралей СКС, пропорциональны длине прокладываемых кабелей;
- некоторое уменьшение эксплуатационных расходов за счет снижения арендной платы в случае использования кабельных трасс, арендуемых у внешних организаций.

Технической основой возможности применения муфты является то, что современные изделия этой разновидности обеспечивают прочностные и прочие эксплуатационные параметры, практически не уступающие аналогичным характеристикам кабельных компонентов при минимальном увеличении внешних габаритов (см. параграф 8.4.1). Кроме того, используемые при ее монтаже технологии сращивания (сварка или реже механические сплайсы) позволяют получить дополнительные вносимые потери на уровне 0,1 дБ или даже менее, что практически не оказывает влияния на параметры тракта передачи оптического сигнала.

Критерием экономической выгоды установки разветвительной муфты при наиболее часто встречающемся на практике коэффициенте ветвления 1 : 2 является выполнение следующего неравенства:

$$C_1 + C_2 > C + M, \quad (56)$$

где C_1 , C_2 , C — стоимость реализации участка трассы совместной прокладки на основе N_1 , N_2 и $(N_1 + N_2)$ -волоконного ОК с учетом стоимости элементной базы, затрат на проектирование трассы и выполнение строительно-монтажных работ;
 M — стоимость разветвительной муфты с учетом работ по ее монтажу.

Зависимость стоимости ОК от числа волокон N при $N < 24$, как показывает анализ, может быть с достаточно высокой точностью аппроксимирована показательной функцией вида

$$C = C_0 \exp\{\gamma(N-4)\},$$

где C_0 — стоимость 4-волоконного кабеля.

Значения параметра γ для продукции различных отечественных кабельных заводов представлены в табл. 100. При этом обрабатывалась информация об одномодовых (SM) и многомодовых (MM) кабелях с числом ОВ не более 24. Во внимание принимались только изделия с упрочняющим покрытием из гофрированной стальной ленты и броней из круглой стальной проволоки, то есть продукция, наиболее популярная в практике реализации подсистемы

внешних магистралей. Приведенные в табл. 100 параметры рассчитаны с использованием метода наименьших квадратов в результате обработки официальных заводских прайс-листов производителей по состоянию на середину 2000 г. Можно констатировать, что величина γ мало зависит как от типа и конструктивного исполнения кабеля, так и от завода-изготовителя. Таким образом, полученные далее результаты являются инвариантными по отношению к типу кабеля, то есть носят общий характер.

Таблица 100. Значение параметра γ аппроксимации стоимости оптических кабелей различных отечественных производителей

Фирма-производитель	Тип защитного покрытия			
	Гофрированная		Круглая стальная	
	металлическая лента		проволока	
	SM	MM	SM	MM
Саранскабель Оптика, Саранск	0,0598	0,126	0,0598	0,0127
НФ Электропровод, Москва	0,0571	0,0586	0,0570	0,0583
ВОКК, г. Воронеж	—	—	0,0580	—
Москабель- Фуджикура, Москва	0,0618	—	0,0615	—
Эликс-кабель, Москва	0,0619	0,0621	0,0611	0,0622

Стоимость $C_{\text{смп}}$ проектирования и линейных строительно-монтажных работ из-за уже отмеченных выше возможности протяжки кабелей между конечными пунктами трассы одной строительно-монтажной длиной и постоянства массогабаритных и прочностных характеристик оптической кабельной продукции в широком диапазоне изменения ее емкости мало зависит от емкости ОК. На основании этого принимаем, что она линейно растет по мере увеличения длины трассы:

$$C_{\text{смп}} = KL,$$

где L — длина трассы;

K — коэффициент пропорциональности, который представляет собой стоимость проектных и строительно-монтажных работ, отнесенную к единице длины трассы. Он зависит от условий прокладки, необходимости и объема изыскательских и строительных работ при достройке кабельной канализации, вида трассы (подземная, воздушная) и других аналогичных факторов.

Стоимость M муфты складывается из стоимости ее корпуса с соответствующими аксессуарами и расходными материалами и стоимости работ по сварке

отдельных ОВ с их последующим тестированием, а также монтажа муфты и ее установки на рабочее место. Для случаев сращивания в муфте не более чем 24 волокон, наиболее часто встречающихся в практике построения внешних магистралей СКС, первая составляющая является преобладающей или, по крайней мере, не уступающей по величине затратам на проведение работ по сварке ОВ и сборке корпуса муфты. Это позволяет констатировать, что параметр M меняется в зависимости от емкости входящих и исходящих ОК в достаточно небольших пределах. В силу этого для упрощения расчетов величина M принимается постоянной. На основании сделанных предположений формула 56 принимает следующий вид:

$$2KL + L C_0 \exp\{\gamma(N_1 - 4)\} + L C_0 \exp\{\gamma(N_2 - 4)\} \geq L C_0 \exp\{\gamma(N_1 + N_2 - 4)\} + KL + M.$$

С учетом данных табл. 100 следует, что при $N \leq 24$ имеем $\gamma \leq N < 1$, и поэтому для упрощения дальнейших выкладок можно пользоваться известным разложением в ряд $\exp \alpha = 1 + \alpha + \alpha^2/2 + \dots$. После выполнения элементарных преобразований получаем окончательно:

$$L \geq \frac{M}{C_0(1 - \gamma^2 N_1 N_2) + K}. \quad (57)$$

Анализ формулы 57 показывает, что при сложившихся к началу 2000-х гг. ценовых параметрах оборудования для построения линейного тракта волоконно-оптических линий связи и затратах на выполнение работ (стоимость муфты отечественного производства вместе с ее монтажом принимается равной $M = 400$ долл., а стоимость работ по прокладке с проектированием оценивается величиной $K = 2500$ долл./км) для наиболее популярных на практике 8-волоконных ОК ($N_1 = N_2 = N/2 = 8$), см. рис. 217, применение разветвительной муфты становится экономически целесообразным уже при длинах участка трассы совместной прокладки несколько более 100 м как для одностороннего, так и для многомодового ОК. Кроме того, дополнительным доводом

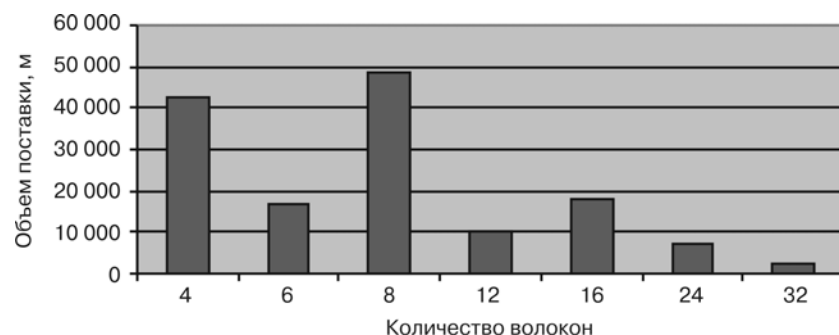


Рис. 217. Распределение по количеству волокон объемов поставки волоконно-оптических кабелей внешней прокладки (по данным компании АйТи за 2001 г.)

в пользу применения разветвительной муфты являются также уменьшение вдвое стоимости аренды кабельной канализации на части трассы и возможные сложности получения ТУ на прокладку по одному маршруту одновременно двух ОК.

На практике указанное выше значение при принятии окончательного решения о применении муфты достаточно часто увеличивается в два-три или даже большее число раз. Так, в частности, пособие [306] рекомендует принимать расстояние между муфтами (в данном случае между оконечной и разветвительной) не менее чем в 300 м. Причины этого заключаются в следующем:

- применение муфты сопровождается некоторым увеличением затухания в тракте передачи сигнала;
- на коротких отрезках ОК, длина которых меньше длины установления регистрируемого рефлектометром сигнала обратного отражения, измерение затухания в сращениях не может быть выполнено с требуемой точностью без применения специальных технических средств;
- учитывается определенная сложность заказа коротких отрезков многомодового ОК;
- работы по монтажу муфты отличаются достаточно большой продолжительностью и организационными сложностями особенно в осенне-зимний период (необходимость установки обогреваемой палатки или наличия специально оснащенного автомобиля-лаборатории);
- технологическое оборудование, делающее выполнение процедуры сращивания ОВ в процессе монтажа муфт наиболее эффективным (в первую очередь сварочный аппарат и оптический рефлектометр), из-за своей относительно высокой стоимости имеется далеко не у всех компаний, занимающихся реализацией СКС, а привлечение для производства этих работ субподрядной организации сопряжено с необходимостью решения определенных проблем финансового и организационного плана.

В случае принятия положительного решения о применении разветвительной муфты осуществляется ее привязка к конкретной точке трассы, которая согласно ГОСТ 21603-80 [307] в обязательном порядке указывается в проектной документации. При возникновении такой необходимости производятся строительство, доработка и/или подготовка инженерных сооружений кабельных трасс под установку муфты. Основные параметры современных муфт различных разновидностей, которые могут быть использованы для выполнения этих операций, приведены в табл. 64.

13.11. Выводы

При проектировании линейной части кабельных трактов СКС целесообразно пользоваться высококачественной элементной базой с минимально возможным затуханием. Выигрыш по величине общего затухания, достигнутый за

счет запасов по значению коэффициента затухания и вносимых потерь, может быть направлен на введение в тракт передачи дополнительных точек коммутации, что позволяет в случае необходимости существенно увеличить функциональную гибкость решения в целом.

Максимальная протяженность оптической части магистрали в случае наличия особых условий конкретного проекта может быть увеличена относительно тех значений, которые указаны в нормативных документах. Величина увеличения обычно составляет несколько десятков процентов, а в некоторых случаях может достигать нескольких раз.

В основу расчета емкости линейных оптических кабелей подсистемы внутренних магистралей СКС целесообразно положить постулат о наличии выраженной статистической связи между количеством линейных портов и up-link-интерфейсов сетевых устройств (соотношение 10...15 : 1), а также о двухволоконной схеме построения основной массы оптических трактов передачи информации.

На современном этапе развития техники на уровне подсистемы внешних магистралей имеет смысл использовать оптические кабели емкостью 8—16 волокон, обеспечивающие пропускную способность магистрали не менее 10 Гбит/с.

В процессе реализации проектов класса «волоконно до рабочего места» горизонтальную подсистему структурированной проводки целесообразно строить на оптических кабелях с многомодовым волокном категории OM2, применение которого позволяет существенно улучшить экономические характеристики решения без ухудшения его технических параметров.

Основным типом световодов оптических кабелей структурированной проводки являются волокна 50/125 категории OM2. Одномодовая техника используется преимущественно для формирования линий длиной свыше 500—1200 м (в зависимости от поддерживаемого приложения), а кабели с волокном типа 62,5/125 применяются главным образом для расширения построенных ранее кабельных систем.

Независимость массогабаритных показателей от емкости, характерная для современных оптических кабелей внешней прокладки, открывает широкие возможности применения разветвительных муфт в линейной части магистрали при наличии совпадающих участков двух или более трасс прокладки. Безусловная экономическая выгода данного технического решения проявляется при длине совместной прокладки 200 м и более.

Удобство эксплуатации СКС с развитой волоконно-оптической подсистемой возрастает в том случае, если в коммутационных устройствах для оконцевания волокон различных типов линейных кабелей используются механически несовместимые разновидности разъемов.

Живучесть информационно-вычислительной системы может быть увеличена при введении в структурированную проводку резервных линий. Примене-

ние резервирования является наиболее выгодным на магистральной части СКС. Наличие многочисленных возможностей формирования резервных трактов позволяет очень гибко адаптировать выбираемое решение к конкретным местным условиям проекта и технологическим возможностям реализующего его системного интегратора.

Основная масса трасс подсистемы внешних магистралей СКС может быть пройдена одной строительной длиной кабеля внешней прокладки. В случае необходимости в условиях конкретного проекта для снижения усилий тяжения до безопасного уровня привлекается широкий арсенал строительных и технологических приемов.

ГЛАВА 14

СТРОИТЕЛЬСТВО ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ СКС

14.1. Общие положения

14.1.1. Задачи и особенности строительства

Под строительством волоконно-оптической подсистемы СКС понимается комплекс организационных и технических мероприятий, конечной целью которых являются практическая реализация линий оптической связи структурированной проводки и передача их в текущую эксплуатацию. При этом строительство оптической подсистемы рассматривается как неотъемлемая составная часть строительства СКС.

В процессе строительства осуществляются следующие мероприятия:

- организуются и выполняются подготовительные работы;
- осуществляется прокладка линейных ОК подсистемы внутренних и внешних магистралей, а также кабелей горизонтальной подсистемы и централизованных архитектур в рамках реализации проектов FTTD («волоконно до рабочего места»);
- выполняется монтаж разъемов и неразъемных соединителей в коммутационных устройствах и муфтах различного назначения;
- производятся приемо-сдаточные и сертификационные испытания с последующей передачей оптической подсистемы как части СКС в текущую эксплуатацию.

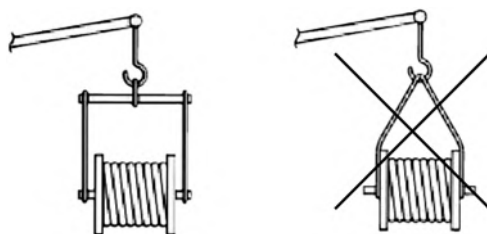


Рис. 218. Правила перемещения кабельного барабана краном

Организация и технология проведения работ во многом совпадают с аналогичными работами по строительству медножильной части структурированной проводки. Имеющиеся отличия обусловлены особенностями ОВ как среды передачи сигнала и конструкцией ОК. Под конструктивными факторами понимаются критичность ОК к сдавливающим и чрезмерно большим растягивающим усилиям, его малые поперечные сечения и погонная масса в сочетании с большими строительными длинами, проблемы с обеспечением служебной связи из-за отсутствия металла к конструкции, необходимость применения дорогостоящего оборудования для монтажа неразъемных соединителей и ОР, а также измерений оптических параметров.

14.1.2. Подготовительные работы

Основной целью подготовительных работ является обеспечение возможности прокладки и последующей эксплуатации линейных кабелей, а также установки муфт различного назначения и коммутационных устройств. В организационной части этого этапа строительства осуществляется создание условий для взаимодействия организаций, принимающих участие в строительстве.

В процессе подготовки к строительству должны быть проведены следующие организационные мероприятия:

- проработана проектная документация;
- изучены трассы, осмотрены места установки промежуточных муфт и оконечных коммутационных устройств;
- в случае необходимости заключены договоры с субподрядными организациями;
- определена потребность в людских и материальных ресурсах;
- подготовлены технологическое оборудование и необходимые механизмы.

Технологические мероприятия могут быть разделены на архитектурные и телекоммуникационные. Архитектурные мероприятия сводятся в основном к созданию новых и ремонту существующих трасс прокладки линейных кабелей и строительной подготовке мест установки промежуточных муфт и оконечных коммутационных устройств. Под телекоммуникационными мероприятиями понимается выполнение входного контроля ОК внешней прокладки, применяемого при реализации линейной части подсистемы внешних магистралей.

14.1.3. Транспортировка и хранение оптических кабелей

Транспортировка ОК допускается всеми известными типами транспортных средств на любое расстояние в соответствии с теми правилами перевозки груза, которые действуют на данном виде транспорта. При этом в обязательном порядке соблюдаются ТУ погрузки и крепления груза.

В процессе транспортировки ОК необходимо выполнять следующие основные правила:

- кабельные барабаны во время транспортировки должны быть надежно зафиксированы;
- ни при каких условиях нельзя допускать, чтобы щека соседнего барабана ударялась в ОК, намотанный на другие барабаны;



Рис. 219. Правила применения погрузчика при перемещении кабельных барабанов

- кабельные барабаны должны перевозиться только в вертикальном положении. Запрещается перевозить барабаны, уложенные на бок;
- для установки барабанов на транспортное средство и их съема оттуда следует использовать погрузчики и краны различной конструкции [308]. Запрещается сбрасывать барабаны на землю.

Основные правила хранения ОК заключаются в следующем

- температурный диапазон хранения и транспортировки ОК указывается в ТУ их производителей. В частности, для ОК внешней прокладки он обычно составляет от -40 до $+60...70$ °С;
- в процессе хранения ОК их следует предохранять от прямого воздействия солнечных лучей, а также попадания на кабельные барабаны дождя и снега, паров кислот, щелочей и других агрессивных сред;
- барабаны должны храниться на твердом основании, под навесом и на территории с ограниченным доступом посторонних лиц. На концы ОК необходимо надеть герметичные колпачки, защищающие сердечник от проникновения влаги.

14.1.4. Техника безопасности и охрана труда при проведении монтажных работ

Выполнение различных технологических операций на этапах строительства и последующей эксплуатации волоконно-оптической подсистемы сопряжено с потенциальной опасностью нанесения вреда здоровью человека. Основным отечественным нормативным документом, положения которого необходимо соблюдать в процессе выполнения монтажных работ, являются Правила по охране труда ПОТ РО-45-009-2003 [309]. Согласно этим правилам:

- освещенность рабочего стола при проведении монтажных работ должна составлять как минимум 70 лк;

- на рабочем столе должны быть предусмотрены приспособления для крепления концов монтируемого кабеля;
- все операции по разделке кабеля должны производиться с помощью специализированного инструмента и обязательно в хлопчатобумажных рукавицах или перчатках;
- отходы, образующиеся при разделке ОК, необходимо собирать в специальный ящик;
- процесс работы должен быть организован таким образом, чтобы осколки ОВ не попадали на пол, монтажный стол и спецодежду;
- сварочный аппарат в процессе работы должен быть заземлен и иметь блокировку подачи высокого напряжения на электроды при открытой ветрозащитной крышке.

Условия работы с волокном в процессе строительства оптической подсистемы заметно отличаются от тех условий, которые являются типовыми при строительстве сетей доступа, а также линий связи масштаба города и выше. Данная особенность приводит к тому, что, кроме положений, приведенных в ПОТ РО-45-009-2003, должны соблюдаться также следующие правила:

- из-за наличия на рабочем месте легковоспламеняющихся жидкостей (спирт для протирки ОВ, различные смывки гидрофобного геля и т. д.), которые горят с высокой температурой и практически бесцветным пламенем, в рабочей зоне должна быть исключена возможность появления открытого огня и искр;
- частицы сигаретного дыма и табачные смолы оседают на всех окружающих предметах, в том числе на электродах сварочного аппарата и освобожденной от защитных покрытий внешней поверхности стеклянной оболочки ОВ, что снижает качество обработки и приводит к появлению дополнительных потерь в ОР. Отсюда следует запрет на курение при выполнении любых видов работ непосредственно с волокном;
- составы, используемые для работы, часто содержат вредные для здоровья агрессивные химические материалы. С учетом данного обстоятельства очень важна хорошая вентиляция в зоне проведения работ [310]. При появлении аллергических реакций на органах дыхания пострадавшего следует удалить на свежий воздух, при покраснении кожных покровов пораженное место обмывается большим количеством теплой воды. При продолжении симптомов химического поражения на протяжении более 15 мин необходимо обратиться за медицинской помощью;
- при укорачивании ОВ ножницами оно режется только в той части, которая содержит защитное покрытие [311];
- для обеспечения максимальной контрастности между рабочей поверхностью и оголенным волокном покрытие стола должно быть черного цвета;
- температура на рабочем месте должна составлять примерно 22 °С. Такое значение температуры обеспечивает нормальную чувствительность

и гибкость пальцев, необходимую для работы с мелкими предметами, и в то же время достаточно комфортно для поддержания работоспособности на протяжении всего рабочего дня [312];

- для дополнительного предотвращения опасности попадания осколков стекла внутрь организма через органы пищеварения во время работы запрещается есть и пить. Не стоит также протирать глаза, а после завершения работы необходимо обязательно вымыть руки;
- при работе с ОВ целесообразно пользоваться специальными очками с защитными экранами, которые блокируют попадание отскочивших осколков стекла в глаза не только спереди и снизу, но и сверху и сбоку.

14.2. Прокладка оптических кабелей подсистемы внешних магистралей

14.2.1. Общие положения

Современные оптические и медножильные кабели имеют идентичные или достаточно близкие массогабаритные, прочностные и эксплуатационные характеристики. Это позволяет использовать в процессе прокладки ОК большинство приемов, применяемых при монтаже электропроводных кабелей. Тем не менее оптические кабели являются более критичными даже к кратковременному превышению максимально допустимого усилия тяжения, что может потребовать применения специальных мер при выполнении работ по прокладке. В наибольшей степени эта особенность проявляется при прокладке больших строительных длин по трассам со сложным профилем [313]. В общем случае процесс прокладки ОК подсистемы внешних магистралей состоит из двух этапов: подготовительного и основного.

Подготовительный этап включает в себя обязательный входной контроль строительных длин и, в случае необходимости, их группировку.

Входной контроль заключается во внешнем осмотре кабеля с целью выявления механических повреждений и измерения его оптических характеристик. В процессе измерений проверяются длина, отсутствие обрывов и соответствие коэффициента затухания паспортным данным. При построении подсистемы внешних магистралей СКС входной контроль ОК согласно стандарту ISO/IEC TR 14763-3 является обязательным. Для измерения затухания используется метод обрыва или рефлектометрический метод.

В случае отрицательных результатов входного контроля составляется акт, на основании которого предъявляется рекламация производителю или поставщику оборудования.

Группировка отдельных строительных длин применяется с целью минимизации количества отходов. Сравнительно небольшие протяженности кабель-

ных трактов подсистемы внешних магистралей СКС позволяют в подавляющем большинстве случаев реализовать их одной строительной длиной, что делает процедуру группировки излишней.

В процессе прокладки в независимости от формы реализации кабельных трасс необходимо соблюдать следующие правила:

- перед, в процессе и после завершения прокладки конец кабеля должен быть защищен от проникновения в него влаги;
- во время прокладки должна быть обеспечена механическая целостность влагозащитного колпачка;
- перекачивание транспортировочного барабана к месту сматывания с него кабеля следует осуществлять только в направлении, указанном стрелкой, которая наносится на щеку (рис. 220);

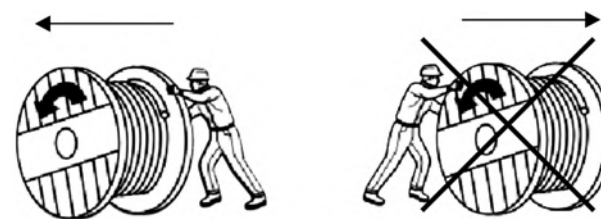


Рис. 220. Правила перекачивания барабанов

- в процессе протяжки запрещается превышать максимальное усилие тяжения и должны контролироваться минимальные радиусы изгиба; в рамках соблюдения этого принципа не допускается сматывание кабеля с барабана петлями;
- работы по строительству линейной части магистрали необходимо производить при температурах не ниже допустимой ТУ на кабельную продукцию; допускается выполнение работ при меньших температурах при условии заранее подготовленной трассы и предварительного выдерживания кабельного барабана в отапливаемом помещении на протяжении не менее 24 ч;
- при прокладке ОК с барабана он должен равномерно и без рывков вращаться приводом или вручную, но не тягой прокладываемого кабеля;
- при использовании для протяжки кабельного чулка его сетка должна охватывать порядка 1 м конца кабеля;
- для обеспечения надежной защиты от термических и механических повреждений должны соблюдаться нормы по минимально допустимой величине сближения с другими инженерными сооружениями.

Прокладка ОК может быть выполнена методом протаскивания в кабельную канализацию и коллектор, путем непосредственной укладки в грунт или путем подвески на опорах различных типов.

14.2.2. Прокладка оптических кабелей в кабельную канализацию

Применение кабельной канализации является основным видом реализации линейной части подсистемы внешних магистралей. Прокладка может осуществляться в кабельной канализации ГТС в населенных пунктах и на территории различных предприятий. При реализации оптической подсистемы СКС наиболее предпочтительно использовать для выполнения данной операции крайние каналы, расположенные в середине блока кабельной канализации по вертикали.

Перед укладкой осматриваются и при необходимости ремонтируются и оснащаются кабельные колодцы. Каналы канализации проверяются на проходимость и при необходимости ремонтируются. Оптические кабели целесообразно прокладывать в тех каналах канализации, в которых отсутствуют медножильные кабели. Для более эффективного использования емкости кабельной канализации ОК могут прокладываться в одном канале с медножильными кабельными изделиями при условии применения защитных ПЭ труб.

Прокладка ОК осуществляется методом протаскивания с затяжкой вручную или механизированным способом с помощью лебедки. Крепление кабеля к тросу лебедки выполняется за силовой элемент. Для предотвращения закручивания целесообразно использовать компенсатор кручения. В лебедке должен быть предусмотрен фрикционный ограничитель усилия тяжения.

Прокладка кабеля на коротких участках осуществляется от первого колодца. При длине трассы свыше 1 км и на трассах со сложной топологией прокладка выполняется в обе стороны от одного из промежуточных колодцев.

Барaban с кабелем устанавливается на расстоянии примерно 2 м от лаза колодца. Для ввода ОК в колодцы применяются направляющие устройства в форме разрезной гофрированной трубы и желоба, также люкооггибающие ролики, которые предотвращают повреждение оболочки и уменьшают коэффициент трения. В транзитных колодцах с этой же целью на входе и выходе каналов устанавливают разрезные направляющие воронки. В случае прокладки ОК в субканале на его трубу дополнительно монтируется противоугон.

В процессе прокладки используют те же методы, которые применяются при работе с медножильными кабелями. Наиболее существенным отличием является необходимость более тщательного:

- контроля величины тянущего усилия;
- соблюдения допустимой величины радиуса изгиба.

При этом в рамках реализации данных положений целесообразно соблюдать следующие правила:

- тяговое усилие, прикладываемое к концу ОК, не должно превышать значения, нормируемого ТУ; если эти данные отсутствуют, то используется эмпирическое правило: максимальное усилие тяжения равно массе 1 км

кабеля [314]; в случае необходимости используется комплекс мероприятий по его уменьшению в соответствии с параграфом 13.7.3;

- на трассах большой протяженности в транзитных колодцах возможно проводить вспомогательную подтяжку кабеля;
- заталкивание ОК в канал кабельной канализации не допускается, за исключением случаев прокладки в субканале [315];
- при прокладке ОК из центрального пункта сначала проходится более длинная часть трассы. Оставшаяся длина сматывается с барабана на поверхность грунта в виде «восьмерки» или укладывается на специальное устройство типа «Figaro»;
- выкладка ОК по форме колодцев и его укладка на консоли осуществляются после завершения его прокладки; данная операция выполняется от середины трассы в обе стороны в направлении к концам;
- при реализации линейной части магистрали может понадобиться установка промежуточных или разветвительных муфт; в этой ситуации запас длины, оставляемый в колодцах для последующего монтажа (в соответствии с требованиями параграфа 13.4.4), сворачивается кольцами диаметром 1200 мм. Эти кольца крепятся к кронштейнам в горизонтальном или вертикальном положении таким образом, чтобы в случае необходимости кабель можно было легко извлечь из колодца.

Метод пневматической прокладки, применяемый в некоторых случаях на ГТС и при строительстве сетей доступа, при создании подсистемы внешних магистралей СКС практически не используется из-за малой протяженности трасс.

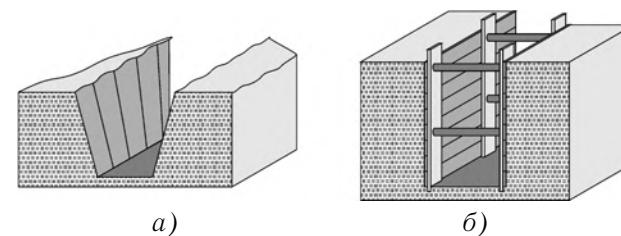


Рис. 221. Правила устройства траншеи для прокладки кабеля:
а) без укрепления стенок; б) с дополнительным укреплением стенок

14.2.3. Прямая прокладка кабеля в грунт

14.2.3.1. Обычные условия прокладки

Непосредственная прокладка кабеля в грунте используется на практике достаточно редко. Данный вид организации линейной части подсистемы внешних магистралей применяется в основном там, где сооружение кабельной канализации по тем или иным причинам является невозможным или нецелесообразным. Основными недостатками метода прямой прокладки в грунте

является необходимость использования конструкций с усиленной броней и прочими защитными покрытиями из-за жестких условий эксплуатации, а также сложность организации ремонта и эксплуатационного обслуживания. В подавляющем большинстве случаев для прокладки кабелей в грунте ручным или механизированным способом вырывается траншея. Известно также использование методов горизонтального и горизонтально-направленного бурения, который применяется в первую очередь для организации переходов через дороги, реки и в других аналогичных ситуациях.

Предпочтительным способом рытья траншеи является применение землеройных механизмов, ручной способ используется в стесненных условиях и при небольшой протяженности трассы. Габариты траншеи для прокладки кабелей связи при ручном способе разработки приведены в табл. 101. Ширина траншеи, разрабатываемой механизированным способом, определяется размерами рабочего органа механизма (фрезы, ковша и т. д.) и составляет обычно 0,4–0,7 м.

Таблица 101. *Ширина траншеи для укладки кабелей связи*

Глубина траншеи, м	Ширина траншеи по верху, м, при числе кабелей			
	1	2	3	4
0,5	0,35	0,35	0,40	0,40
0,6–0,7	0,35	0,40	0,45	0,45
0,9	0,40	0,40	0,45	0,50
1,0	0,45/0,55	0,45/0,55	0,50/0,60	0,55/0,65
1,2	0,50/0,60	0,50/0,60	0,55/0,65	0,60/0,70

Примечание.

1. В числителе указана ширина траншеи без крепления, в знаменателе – с креплением.
2. Ширина траншеи по низу должна быть на 0,1 м меньше ширины траншеи по верху.

Глубина прокладки должна быть не менее 0,7 м, при прокладке на меньшей глубине применяется дополнительная защита в виде слоя бетона, бетонных плит, кирпича (кроме силикатного) и т. д. При пересечении проезжей части дорог, улиц и площадей кабель углубляется до 1 м.

Для предохранения кабеля, уложенного в грунт, от повреждений при мерзлотных деформациях в зимний период настоятельно рекомендуется выполнять его укладку на постель с верхним покрывающим слоем из разрыхленной земли или песчаного грунта толщиной по 10 см каждый. Последнее требование согласно Нормам РД 45.120-2000, пункт 12.3.3, является обязательным в случае скальных или твердых каменных грунтов группы V и выше, а также в грунтах IV группы, разрабатываемых взрывным способом, отбойными молотками и другими аналогичными механизмами. Перед закладкой кабеля из траншеи удаляют воду, камни, строительный мусор и другие посторонние предметы.

Прокладка ОК в подготовленную траншею осуществляется:

- способом укладки непосредственно в траншею с барабана, который устанавливается в кузове автомашины, передвигающейся вдоль трассы со скоростью 1–2 км/ч;
- одним из вариантов предыдущего способа, имеющим самостоятельное значение, является предварительная укладка кабеля на бровку с последующим спуском в траншею;
- за счет выноса строительной длины кабеля, сматываемого с барабана.

При использовании способа выноса дополнительно соблюдаются следующие ограничения:

- масса кабеля, приходящаяся на одного рабочего, не должна превышать 35 кг¹;
- кабель при переноске не должен волочиться по земле.

Кабель в траншее укладывается без напряжений и существенных отклонений от осевой линии (величина увеличения длины за счет непрямолинейности укладки при ручной и механизированной прокладке приводится в табл. 94). В частности, он должен плотно прилегать ко дну траншеи. При прокладке нескольких кабелей в одной траншее согласно Отраслевым нормам ОСТН-600-93, пункт 3.65, их следует располагать параллельно на расстоянии 50 мм друг от друга без перекрещиваний.

Над кабелем, уложенным в грунт, желательно проложить сигнальную ленту. Лента предназначена для предупреждения о наличии кабельной линии при производстве земляных работ. Обычно лента имеет оранжевый цвет, который рекомендуется American Public Works Association, с предупреждающими надписями черного цвета. Отечественными нормами цвет ленты не нормируется. Глубина укладки ленты в грунт согласно отечественным нормам выбирается из такого расчета, чтобы расстояние между лентой и наружным покровом составляло 250 мм. Американские нормы устанавливают минимальную величину этого параметра в 450 мм.

Лента может быть выполнена из металлизированного и неметаллизированного материала. Параметры полимерной неметаллизированной ленты приведены в табл. 102. В случае использования ОК без металлических элементов рекомендуется применять ленту, изготовленную из металлизированного материала. Это существенно облегчает поиск кабеля в случае необходимости проведения ремонтных работ.

Засыпка уложенного кабеля производится мелкой землей с последующей трамбовкой. Земля, которой засыпается траншея с уложенным в нее кабелем, не должна содержать камней, строительного мусора, кусков металла и шлака, которые могут повредить кабель при падении и трамбовке. Из аналогичных

¹ Несложно убедиться в том, что для оптических кабелей СКС, которые отличаются хорошими массогабаритными показателями (масса не свыше нескольких сотен килограмм на километр даже в случае применения проволоочной брони), данное положение выполняется практически автоматически.

соображений в соответствии со СНиП 3.05.06-85, пункт 3.72, запрещается засыпка кабеля комьями мерзлой земли.

Таблица 102. *Параметры сигнальной ленты*

Материал	Полиэтилен и поливинилхлорид
Ширина, мм	150, 250
Толщина, мм	0,6–1,0
Цвет	Оранжевый
Температура хрупкости, °С, не более	–30
Относительное удлинение материала при разрыве	> 200%

После завершения прокладки кабеля при наличии такой необходимости осуществляется рекультивация земли. Этот процесс заключается в восстановлении плодородного слоя почвы, нарушенного при выполнении земляных работ. Точно так же в полном объеме восстанавливаются дорожные и тротуарные покрытия, вскрытые при прокладке, стены здания в местах вводов и т. д.

14.2.3.2. Особые условия прокладки

Траншея для прокладки кабеля не должна содержать веществ и материалов, оказывающих разрушительное действие на оболочки и металлические элементы его конструкции (солончаки, известь, насыпной грунт со шлаком или строительным мусором). Из аналогичных соображений траншея согласно СНиП 3.05.06-85, пункт 3.66 также не должна проходить ближе 2 м от выгребных и мусорных ям. При невозможности обхода этих мест прокладка кабеля осуществляется в чистом нейтральном грунте в безнапорных асбоцементных трубах, покрытых внутри и снаружи битумным составом. При засыпке кабеля нейтральным грунтом указанный выше СНиП требует, чтобы траншея должна быть дополнительно расширена с обеих сторон на 0,5–0,6 м и углублена на 0,3–0,4 м.

На склонах с уклоном свыше 30° траншея для укладки кабеля должна иметь зигзагообразную форму с отклонениями от оси трассы в 1,5 м через каждые 5 м.

При прокладке кабеля в вечномерзлых грунтах¹ он подвергается воздействию мерзлотно-грунтовых явлений (пучения, морозобойные трещины, оползни, просадка грунта в местах термокарста и т. д.). Возникающие при этом так называемые силы пучения достигают величин 100–150 кН, что сопровождается разрывом кабелей и разрушением каналов канализации [316]. Поэтому согласно СНиП 3.05.06-85, пункт 3.85, следует дополнительно соблюдать следующие правила:

- кабели прокладываются в так называемом деятельном слое, который оттаивает в летний период и промерзает в холодное время года;

¹ Грунты, имеющие отрицательную температуру и содержащие в своем составе лед.

- целесообразно применение кабелей с броней из круглой стальной проволоки;
- местный грунт, используемый для обратной засыпки траншеи, должен быть размельчен и уплотнен;
- грунт для засыпки следует брать из мест, удаленных от оси трассы кабеля не менее чем на 5 м.

На расстоянии 2–3 м от оси траншеи устраиваются водоотводные каналы или прорезы глубиной до 0,6 м. Кабельная трасса обсеивается травами, а также обсаживается кустарниками. Используется обваловка трассы путем насыпки грунта толщиной в 0,6 м и более. Ширина обваловки по верху составляет 1500–3000 мм, крутизна откосов — 1 : 1,5.

14.3. Прокладка оптических кабелей внутри здания

14.3.1. Общие положения

Аналогично подсистеме внешних магистралей в процессе прокладки ОК внутри здания могут применяться такие же методы и приемы, которые используются при работе с медножильными кабелями. Имеющиеся отличия не носят принципиального характера. Основные правила работы заключаются в следующем:

- кабель необходимо сматывать с катушки или вытягивать из упаковочной коробки таким образом, чтобы он не имел закручиваний и заломов, в частности в рамках соблюдения данного принципа запрещается сбрасывание кабеля с барабана кольцами;
- процесс сматывания с катушки или вытягивания из коробки должен происходить равномерно и без рывков;
- для уменьшения опасности повреждения кабеля целесообразно после его сматывания с катушки или вытягивания из коробки выложить на полу в начальном пункте трассы в форме восьмерки;
- при прокладывании по линейной части трассы тянущее усилие должно воздействовать преимущественно на нити упрочняющего слоя; прикладывать тянущее усилие только к оболочке не рекомендуется из-за повышенной опасности проскальзывания оболочки относительно сердечника;
- в процессе прокладки следует соблюдать ограничения по минимальному радиусу изгиба и

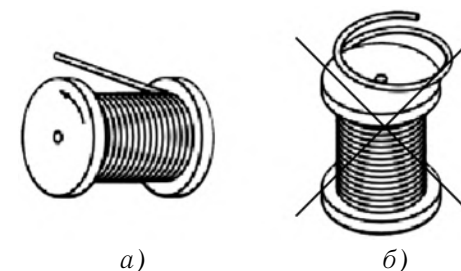


Рис. 222. Принцип сматывания кабеля с катушки:
а) правильно; б) неправильно

максимальному усилию тяжения; при отсутствии этих данных в спецификации изделия можно руководствоваться правилом о том, что минимально допустимый радиус изгиба под нагрузкой должен по меньшей мере в 15 раз превышать внешний диаметр кабеля и быть как минимум в 10 раз больше внешнего диаметра без нагрузки;

- для увеличения эффективности выполнения монтажных работ в случае трубчатых каналов часто используется групповая протяжка нескольких кабелей; при формировании жгута в случае использования вспомогательного протяжного шнура его крепление должно осуществляться только к силовым и упрочняющим элементам ОК;

14.3.2. Особенности прокладки по различным видам каналов

Кабель в канале любого вида должен лежать свободно и без натяжения.

Прокладка отдельных кабелей и сформированных из них пакетов на лотках производится параллельно бортам и симметрично относительно оси симметрии.

В том случае, если в одном лотке одновременно прокладываются ОК и кабели их витых пар, сначала в лоток укладываются более тяжелые кабели из витых пар, а затем сверху на них ОК [317]. При этом сама прокладка должна производиться таким образом, чтобы ОК не оказывались между кабелями из витых пар и не сжимались ими. Данное положение должно особенно строго выполняться в отношении ОК внутренней прокладки, облегченные упрочняющие покрытия которых обеспечивают лишь минимальный уровень защиты элементов сердечника от сдавливающих усилий. Допускается распространение приведенных выше положений также на закрытые трубчатые каналы.

При прокладке кабеля методом протяжки через трубчатые каналы последние предварительно проверяются на отсутствие острых кромок и заусенцев.

Вполне возможно, хотя и крайне редко встречается в практике реализации проектов, использование трубчатых субканалов для кабелей внутренней прокладки.

Силовые кабели и кабели СКС желательно прокладывать по разным кабельным каналам. Допустима их прокладка в различных секциях одного короба. В этом случае они в обязательном порядке отделяются друг от друга перегородкой, обеспечивающей их непрерывное пространственное разделение. Перегородка должна быть выполнена из негорючего материала с пределом огнестойкости $1/4$ ч.

При работе на вертикальных участках трассы применяется преимущественно прокладка в направлении сверху вниз. После завершения прокладки вертикальный участок кабеля в обязательном порядке механически фиксируется в рабочем положении.

После завершения прокладки все монтажные проемы в противопожарных перегородках должны быть заделаны легко пробиваемыми негорючими материалами.

14.3.3. Крепление кабелей

При прокладке ОК на вертикальном участке трассы в обязательном порядке выполняется его крепление. Отечественный СНиП 3.05.07-85 в пункте 3.141 задает расстояние в 1 м между точками крепления на несущих конструкциях по всей длине. Отраслевые нормы ОСТН-600-93 [318], пункт 2.125, рекомендуют крепить кабели, прокладываемые в вертикальных трубопроводах, на каждом этаже, но не реже чем через каждые 10 м. Если же длина участка вертикальной прокладки превышает 10 м и отсутствует возможность крепления кабеля на каждом этаже, то согласно пункту 3.338 упомянутых выше Отраслевых норм кабель должен быть предварительно скреплен со стальным канатом перевязочной проволокой диаметром 1,5 мм или фиксирующей стяжкой через каждые 500 мм. Концы стального каната следует надежно прикрепить к стене или иным капитальным конструкциям.

Конкретное конструктивное исполнение элемента крепления выбирается в зависимости от типа кабеля с учетом допустимого раздавливающего усилия. Общим требованием для их конструкции наряду с эффективностью и удобством фиксации является необходимость равномерного распределения усилия прижатия по всей площади рабочего органа этого элемента.

Расстояние между точками крепления в открытых лотках (желобах) согласно Отраслевым нормам ОСТН-600-93, пункт 2.119, должно составлять не свыше 1 м. На поворотах или ответвлениях крепления должны располагаться на расстоянии 0,5 м до и после поворота или ответвления. В закрытых коробах на горизонтальных участках согласно пункту 2.120 упомянутых норм прокладка кабелей и проводов осуществляется без крепления.

Технологический запас длины ОК располагается в непосредственной близости от оконечного коммутационного устройства. Для этого кабель сворачивается кольцами, которые:

- при разделке в настенной муфте крепятся на стене рядом с ее корпусом (обычно снизу);
- при разделке в оптическом кроссе стоечного исполнения кольцо запаса длины часто укладывается в боковой полости шкафа с креплением к усиливающей поперечине, а также к переднему и заднему монтажному рельсам;
- при наличии фальшпотолка или фальшпола соответствующей конструкции данные строительные объекты часто используются для укладки свернутых в кольцо запасов длины линейных кабелей (по возможности в непосредственной близости с областью ввода в настенную муфту или монтажный конструктив).

14.4. Монтаж элементов оптических разъемов на линейных кабелях

Аналогично прокладке линейных кабелей процедуру монтажа панельных элементов ОР, входящих в состав стационарной линии, организационно можно разделить на подготовительный и основной этапы.

14.4.1. Подготовительный этап монтажа

Целью подготовительного этапа является разделка ОК с удалением защитных покрытий ОВ и упрочняющих элементов. Общей характерной чертой данного этапа в независимости от используемой технологии оконцевания является то, что ОВ освобождается от всех защитных покрытий вплоть до поверхности стеклянной оболочки.

Длина снимаемых защитных покрытий и удаляемых упрочняющих элементов достаточно сильно зависит от конструкции ОР и применяемой технологии оконцевания. Так, при использовании оконцевания с помощью монтажных шнуров вполне достаточно свободного конца линейного кабеля длиной 70–80 см. При непосредственной установке вилок по клеевой технологии данное значение увеличивается в 1,5–2 раза. Для предотвращения ошибок целесообразно строго следовать фирменным инструкциям производителя элементной базы и пользоваться разметочными шаблонами. Для выполнения данных технологических операций используются несколько разновидностей специализированного инструмента. Применение этого инструмента позволяет:

- снимать внешние и промежуточные шланги поясной изоляции, а также трубчатое и плотное защитное покрытие ОВ;
- отрезать различные броневые, силовые и упрочняющие элементы конструкции ОК;
- удалять первичное защитное покрытие ОВ.

Шланги поясной изоляции разрезаются с помощью обычного или плужкового ножа. При этом при работе с кабелями внешней прокладки материал изоляции прорезается полностью или почти полностью. При работе с ОК внутренней прокладки из-за повышенной жесткости материала достаточно просто надсечь оболочку и сломать ее по месту надреза за счет изгиба. Образовавшийся кусок шланга в распределительных кабелях внутренней прокладки снимают целиком (оболочка хорошо скользит по кевларовым нитям), на кабелях внешней прокладки для удаления на оболочке достаточно часто приходится делать продольный надрез.

Для отрезания упрочняющих элементов применяются преимущественно различные бокорезы, тросокусы и другие аналогичные инструменты. Проре-

зание упрочняющих покрытий из гофрированной или гладкой стальной ленты часто выполняется труборезом, используемым сантехниками для резки стальных водопроводных труб.

Инструмент для удаления трубчатых полимерных покрытий может быть построен по различным конструктивным схемам. Наиболее часто он реализует схему клещей и использует боковой ввод удаляемого элемента. Инструменты в виде прищепки с торцевым вводом разделяваемого элемента распространены существенно меньше и применяются преимущественно в технологическом приспособлении для удаления первичного защитного покрытия. Особенностью инструментов этой группы является то, что в их конструкции определенную популярность получил принцип подогрева рабочих кромок. Такой прием позволяет уменьшить уровень механических воздействий на поверхность ОВ.

Воздействие влаги на незащищенную поверхность стеклянной оболочки даже в тех небольших количествах, которые содержатся в атмосферном воздухе, сопровождается быстрым ухудшением механической прочности волокна. С учетом этого обстоятельства зачищенное ОВ должно как можно быстрее армироваться элементом ОР или соединяться другим волокном в механическом сплайсе или сварном сростке.

14.4.2. Основной этап монтажа

Основной этап монтажа предусматривает собственно установку элементов ОР на ОВ. Из-за большого разнообразия типов разъемов и используемых на практике технологий оконцевания (см. раздел 5.7) данная операция осуществляется в соответствии с фирменными инструкциями производителей элементной базы.

Обязательным требованием к монтажным работам на основном этапе является надежная механическая фиксация оконцовываемого ОК. Легкие безбронные кабели внутренней прокладки для этого достаточно поместить в зажим ввода в корпус коммутационного устройства. При работе с жесткими кабелями внешней прокладки их обязательно дополнительно фиксируют на рабочем столе с помощью струбцины или часовых тисков.

При выполнении основного этапа монтажа в обязательном порядке учитываются два обстоятельства:

- радиус изгиба технологического запаса ОВ в защитном покрытии диаметром не свыше 0,9 мм, используемого в процессе монтажа и укладываемого затем кольцами в корпусе коммутационного устройства при его сборке, не должен быть менее 40 мм. Для поддержания заданной величины этого параметра применяются штатные организаторы;
- гильзы КДЗС и корпуса механических сплайсов должны быть в обязательном порядке надежно механически зафиксированы на своих рабочих местах. Для этого используются штатные держатели сплайс-пластины.

Вилки ОР, которыми оконцовываются линейные кабели (вилки стационарной линии), подключаются к розеткам внутри корпуса коммутационного устройства. Перед подключением в соответствии с фирменными инструкциями производителя СКС осуществляется очистка торцевых поверхностей их центрирующих наконечников. При выборе порядка подключения учитываются требования проектной документации, а также нумерация ОВ оконцовываемого ОК. Для упрощения последующей эксплуатации на волокно непосредственно в области его выхода из хвостовика вилки целесообразно установить наклейку-флажок с нанесенным на него идентификационным номером.

14.5. Выводы

Любой вид работ по строительству оптических линий СКС целесообразно разделить на два этапа: подготовительный и основной. Такое деление является одним из необходимых условий по обеспечению качества реализации линий и позволяет ставить проводку на гарантию производителя кабельной системы с продолжительностью не менее 10 лет.

Основные строительные приемы, применяемые в процессе практической реализации линейной части волоконно-оптической и медножильной подсистем структурированной проводки, совпадают. Это обусловлено очень большим сходством массогабаритных и прочностных характеристик электропроводных и оптических кабелей СКС.

В процессе прокладки кабелей внутри здания и на трассах подсистемы внешних магистралей используются практически одинаковые технические приемы. Отличия между ними обусловлены преимущественно несколько большей гибкостью кабелей внутренней прокладки и их заметно меньшей погонной массой.

Основополагающим принципом, которого необходимо придерживаться в процессе выполнения монтажных работ в линейной части, наряду с соблюдением требований по минимальной величине радиуса изгиба является ограничение сдавливающих условий, действующих на кабель во время монтажа и последующей эксплуатации.

Перед прокладкой должна быть осуществлена подготовка трассы, целью которой являются обеспечение ее проходимости и устранение опасности механического повреждения оболочки кабелей.

Процесс установки элементов разъемов на оптические кабели требует значительно большей технической оснащенности монтажной бригады, наличия соответствующей профессиональной квалификации персонала и особого внимания к соблюдению правил техники безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный выше материал позволяет констатировать следующее.

1. Современное волоконно-оптическое оборудование, применяемое в процессе реализации оптических подсистем структурированной проводки, представляет собой продукт самостоятельного направления развития техники оптических телекоммуникаций, которое имеет ряд существенных особенностей использования, построения и эксплуатации с системной точки зрения, а также обширный перечень уникальных характерных черт применяемых компонентов и решений. Одновременно в указанной области по возможности сохраняется полная или частичная совместимость с сетями связи общего пользования на уровне используемой элементной базы, применяемых правил построения, приемов монтажа и эксплуатации сформированных трактов, используемых схем расчета их характеристик и т. д. Разумное сочетание принципов учета особенностей области использования и поддержания преемственности дает возможность обеспечения максимально полной технико-экономической эффективности реализуемых проектов.
2. Наиболее характерными отличительными чертами оптической подсистемы СКС с технической точки зрения являются массовое применение в повседневной инженерной практике многомодовой элементной базы и широкое использование для работы окна прозрачности 850 нм. В области технологии работы непосредственно с оптическим волокном серьезную конкуренцию сварке, занимающей доминирующее положение в сетях связи общего пользования, оказывают механические методы оконцевания и сращивания световодов. Особенностью измерений оптической части структурированной проводки является то, что рефлектометрия, обязательная на уровне сетей связи общего пользования, является опциональной процедурой, а в качестве основного штатного средства инструментального контроля нормативными документами задается только измеритель оптических потерь. В процессе проектирования из-за особенностей задаваемого стандартами принципа нормирования в большинстве случаев не требуется выполнять оценку частот-

ных свойств формируемых трактов и можно ограничиться только инженерным расчетом ожидаемых потерь оптического сигнала.

3. Согласно действующим редакциям международного и региональных стандартов, структурированная проводка на всех уровнях без ограничений может реализовываться на оптической и медножильной элементной базе. Тем не менее при комплексной оценке альтернативных вариантов решения задачи с привлечением обобщенного критерия достижения максимальной технико-экономической эффективности основной областью применения волоконно-оптической техники являются магистральные подсистемы. Именно на магистральных уровнях структурированной проводки в наиболее полной степени проявляются технические преимущества оптического волокна, как среды передачи информационного сигнала и, в частности, такие его фундаментальные свойства как потенциально высокая пропускная способность формируемого тракта передачи и гальваническая развязка соединяемого сетевого оборудования. Наиболее перспективным средством массового внедрения оптических решений в область горизонтальной подсистемы представляется применение техники полимерных волокон, удачно сочетающей в себе невысокую стоимость элементной базы и простоту выполнения инсталляционных работ с достаточно хорошими передаточными параметрами.
4. Передаточные, механические и эксплуатационные характеристики отдельных элементов, а также стационарных линий и трактов, реализуемых на их основе, полностью соответствуют тем требованиям, которые предъявляются к физическому уровню современной информационно-вычислительной системы. Принципы, положенные в основу нормирования важнейших параметров отдельных оптических компонентов, из которых формируются стационарные линии и тракты передачи структурированной проводки, позволяют ведущим производителям техники СКС добиваться заметных запасов по величине затухания и полосе пропускания. Полученный за счет этого выигрыш расходуется на практике на увеличение длины тракта и/или количества промежуточных кроссов.
5. Уровень стандартизации оптических компонентов и их конструктивное исполнение позволяют использовать при создании оптической и медножильной подсистем структурированной проводки одинаковые правила построения, эквивалентные технические решения и типовые приемы монтажа линейных кабелей и коммутационного оборудования. Проблема заметно более высокой сложности установки элементов разъемов на линейные кабели успешно обходится за счет предложения инсталляторам и владельцам проводки существенно более широкой номенклатуры кабельных изделий, оконцованных в заводских условиях. Остальные отличия обусловлены спецификой оптического волокна как среды передачи информации и меньшей пластичностью кварцевого стекла по

сравнению с медью, однако с практической точки зрения не носят принципиального характера.

6. Профессиональная подготовка инженерно-технического персонала, в функции которого входит эксплуатация оптической подсистемы структурированной проводки, а также монтажников, специализирующихся на ее инсталляции, должна быть в обязательном порядке выведена в отдельный курс. Это обусловлено в первую очередь заметным отличием принципов работы с оптическим волокном по сравнению с проводниками витых пар в процессе их соединения и установки элементов разъемов на объекте монтажа кабельной системы, а также необходимостью применения значительно более широкой номенклатуры сложного технологического инструмента, эффективное использование которого требует более продолжительной тренировки и изучения специальных приемов. Напротив, из-за близких эксплуатационных, массогабаритных и инсталляционных параметров оптической и медножильной элементной базы подготовка проектировщиков может вестись в рамках единого курса.
7. Доминирующим типом волокна ОК, используемых в новых проектах, становятся световоды с 50-микронной сердцевиной, что обусловлено в первую очередь возможностью получения на их основе существенно лучших характеристик тракта передачи по дисперсионным искажениям при работе в окне прозрачности 850 нм. Возврат к массовому применению волокон 62,5/125 возможен только в случае появления быстродействующих лазерных излучателей диапазона 1300 нм со стоимостными параметрами, аналогичными современным VCSEL-лазерам.
8. Топологическое увеличение зоны предоставления современного информационного сервиса в реализуемых информационно-вычислительных системах и развитие сетей доступа оказывают стимулирующее влияние на объемы применения в проектах одномодовой элементной базы. При сохранении ограничений стандартов на максимальную протяженность кабельного тракта в 2000 м масштабы использования одномодовой техники в общем объеме оборудования волоконно-оптической подсистемы не могут по крайней мере заметно превысить 50%-ный рубеж. Это обусловлено тем, что многомодовые тракты уже в настоящее время поддерживают передачу информационных потоков со скоростями до 10 Гбит/с на расстояние до 550–600 м, с перспективой увеличения этого значения до 1 км, то есть в той области, где многомодовые решения оказываются предпочтительнее по обобщенному критерию обеспечиваемой ими технико-экономической эффективности.
9. Из-за большого разнообразия условий реализации проектов и последующей эксплуатации оптической подсистемы структурированной проводки применение на практике только универсальной элементной базы оказывается экономически и технически нецелесообразным. С учетом

этого обстоятельства производители кабельных систем как технического объекта и рыночного продукта руководствуются принципом использования специализированных изделий, ориентированных на решение задач определенного класса. В рамках практической реализации этого принципа в технику СКС внедрены, например, линейные кабели внутренней и внешней прокладки, оптические кроссы в настенном и стоечном исполнениях и т. д. Изделия с расширенными функциональными возможностями (кабели для соединения зданий, наборные панели и т. д.) могут применяться в отдельных нишевых ситуациях, когда одновременное использование двух функционально аналогичных изделий с различным конструктивным исполнением оказывается технически и/или экономически менее эффективным.

10. Для увеличения конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет расширения ее функциональных возможностей производители СКС широко практикуют выход за пределы зоны действия основных стандартов. Проявлением такого подхода является массовое предложение компонентных и системных решений, улучшающих разнообразные потребительские качества оптической подсистемы конкретной СКС на этапах ее создания и эксплуатации (активное сетевое оборудование нижнего уровня, системы интерактивного управления и идентификации, тестирующие приборы и т. д.).
11. Разработчиками создан и внедрен в широкую инженерную практику полный спектр методик проверки передаточных параметров разнообразных компонентов оптической подсистемы и собранных на их основе комплексных объектов, а промышленностью налажен серийный выпуск реализующего их тестирующего оборудования. Это позволяет осуществлять все виды измерений, дающих возможность сделать адекватный вывод о состоянии проводки и обеспечиваемых ею характеристиках в процессе строительства, сдачи готовой системы и ее текущей эксплуатации. В случае применения для производства тестирования современных сертифицирующих приборов наряду с увеличением эффективности работы технических специалистов системного интегратора и эксплуатирующей организации за счет гармонизации правил выполнения измерений оптической и медножильной подсистем резко сокращается время, необходимое для осуществления измерений параметров, обработки и оценки результатов и последующего документального представления. В аварийных ситуациях функциональные возможности измерительного оборудования массового применения дают возможность быстро локализовать место неисправности. При наличии других специализированных пассивных и активных технических средств восстановление связи по постоянной или временной схеме осуществляется за минимальное время.

70%-го возбуждения метод. Метод достижения квазиравновесного распределения мод при измерении затухания многомодовых световодов, основанный на формировании входного светового потока, заполняющего 70% апертуры волокна и освещающего 70% площади его сердцевины.

Blotwist. Комбинированный кабель из состава продукта Blolite английской компании Brand-Rex. Содержит четырехпарный кабель и трубку системы пневматической прокладки, куда сжатым газом можно одновременно или последовательно проложить от двух до четырех ОВ.

Break-out-кабель. См. Композитивный кабель.

Fun-out-кабель. См. Композитивный кабель.

LID-метод. Метод выравнивания световодов при их сращивании способом сварки, основанный на максимизации мощности тестового сигнала на выходе второго волокна при его вводе в первое волокно.

LPS метод. См. 70%-го возбуждения метод.

PAS-метод. Метод выравнивания световодов при их сращивании способом сварки, основанный на анализе их изображения при освещении параллельным пучком света.

Pig-tail. См. Монтажный шнур.

Zip-cord. Наиболее популярная на практике разновидность двухволоконного оптического кабеля для шнуров, индивидуальные защитные шланги волокон которого связаны в единое целое узкой перемычкой.

Апертура. Максимально возможный угол между оптической осью и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец сердцевины волоконного световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения.

Аттенюатор. Пассивный оптический элемент, вносящий в тракт передачи сигнала заранее заданное фиксированное или регулируемое дополнительное затухание.

Броня кабеля. Элементы конструкции, предназначенные для защиты его сердечника от механических воздействий и повреждения грызунами. Может изготавливаться из металла или полимерных материалов. В случае необходимости достижения повышенного уровня защиты конструкции может иметь многослойную структуру.

Буферное покрытие. Защитная оболочка, предохраняющая ОВ от механических воздействий и доступа влаги. В общем случае различают первичное и вторичное покрытия.

Внутриобъектовый кабель. См. Кабель внутренней прокладки.

Возбуждение световода. Процесс ввода излучения в волоконный световод.

Волноводная дисперсия. Дисперсионная составляющая, обусловленная зависимостью от длины волны фазовой и групповой скорости распространения оптического излучения в волоконном световоде.

Волокно со смещенной дисперсией. Одномодовое волокно, в котором благодаря выбору специального профиля показателя преломления полная дисперсия обращается в нуль в районе длины волны 1550 нм.

Волоконный световод. Диэлектрический волновод, применяемый для передачи оптического излучения и состоящий из сердцевины, окруженной одной или несколькими отражающими оболочками.

Вынесенного интерфейса принцип. Подход к формированию схемы измерения оптических характеристик отдельных компонентов и собранных на их основе комплексных объектов, основанный на выносе точки определения опорного значения за пределы физического интерфейса тестирующего прибора. Применение данного принципа дает ряд технических, эксплуатационных и метрологических преимуществ.

Гидрофобный гель. Желеобразная водоотталкивающая масса, заполняющая внутренние пустоты сердечника и трубки модулей оптического кабеля внешней прокладки. Является основным средством обеспечения продольной герметичности кабеля и защиты световодов от воздействия влаги.

Градиентный волоконный световод. Волоконный световод, профиль показателя преломления которого является монотонно убывающей функцией в пределах его сердцевины.

Дисперсия. Рассеяние во времени спектральных и модовых составляющих оптического излучения в процессе его распространения по волоконному световоду.

Дифференциальная модовая задержка. Максимальная разница во времени между моментами прихода различных модовых групп на выходе волокна определенной длины.

Длина волны нулевой дисперсии. Длина волны оптического излучения, на которой достигается нулевая величина хроматической дисперсии. Обычно находится вблизи длины волны 1300 нм. Является одним из основных параметров одномодовых световодов.

Длина волны отсечки. Наименьшая длина волны, при которой в волоконном световоде реализуется одномодовый режим распространения оптического излучения.

Длина установления. Длина многомодового градиентного световода, после которой модовый состав излучения приобретает стационарное распределение.

Защитное покрытие волоконного световода. Покрытие, наносимое на оболочку волоконного световода для его защиты от внешних воздействий.

Зипкорд. См. Zip-cord.

Иммерсионный гель. Прозрачный желеобразный материал, показатель преломления которого совпадает с показателем преломления материала сердцевины волокна. Используется для минимизации эффекта френелевского отражения.

Инсталляционное устройство. Активное устройство ЛВС, применяемое на нижнем уровне сети на рабочих местах пользователей и устанавливаемое в кабельных коробах, декоративных колоннах и имеющее за счет соответствующих конструктивных решений оптический порт up-link-модуля, физически доступный в режиме нормальной эксплуатации только системному администратору.

Кабель внешней прокладки. Кабель, предназначенный для реализации линейной части подсистемы внешних магистралей. Конструкция изделия обеспечивает эффективную защиту волокон и прочих элементов сердечника от воздействия влаги, сдавливающих и растягивающих механических усилий, а также от повреждений грызунами.

Кабель внутренней прокладки. Кабель для построения линейной части подсистемы внутренних магистралей и горизонтальной подсистемы. Отличается применением облегченных упрочняющих покрытий, не имеет элементов защиты от влаги и отличается повышенной гибкостью и улучшенными массогабаритными характеристиками. К кабелям этой группы предъявляются повышенные требования по пожарной безопасности.

Композитивный кабель. Кабель, представляющий собой сборку нескольких кабельных элементов под одной общей оболочкой, каждый из которых после ответвления может использоваться самостоятельно без применения дополнительных защитных мероприятий.

Композитный кабель. Кабель, содержащий два или более различных типов сред передачи (оптическое волокно, витую пару, коаксиальную трубку и т. д.) или оптические волокна различных типов.

Конструктивной однородности принцип. Подход к конструированию оптического кабеля, основанный на применении для изготовления однотипных компонентов сердечника одинаковых материалов и одинаковой технологии их формирования. Применение данного принципа обеспечивает максимальное удобство монтажа и последующей эксплуатации изделия.

Коэффициент затухания волоконного световода. Количественная мера уменьшения мощности оптического излучения при его прохождении по волоконному световоду определенной длины. В подавляющем большинстве случаев имеет размерность дБ/км.

Коэффициент широкополосности. Параметр широкополосности многомодового световода. Численно равен ширине полосы пропускания световода длиной 1 км. Зависит от рабочей длины волны и условий возбуждения волокна излучате-

лем. В практически интересном для техники СКС диапазоне длин линий может считаться постоянным.

Макроизгиб. Отклонение оси световода от прямой линии, при котором радиус изгиба значительно превышает диаметр световедущей сердцевины.

Максимальное усилие тяжения. Максимальное растягивающее усилие, которое допускает конструкция кабеля в данных условиях эксплуатации.

Материальная дисперсия. Дисперсия оптического сигнала, вызываемая зависимостью показателя преломления материала сердцевины от длины волны.

Межмодовая дисперсия. Дисперсия оптического сигнала, причиной которой является различие скоростей распространения различных модовых составляющих в многомодовом оптическом волокне. Может называться также дисперсией профиля или профильной дисперсией.

Механический сплайс. Механический элемент для соединения волоконных световодов контактным методом с юстировкой по оболочке и использованием иммерсионного геля для минимизации потерь и обратных отражений.

Микроизгибы. Случайные изгибы оси волокна, сравнимые с длиной волны передаваемого оптического излучения. Оказывают влияние на электромагнитное поле на участке длиной не свыше нескольких миллиметров. Их наличие сопровождается ростом затухания за счет рассеяния и выхода части излучения из сердцевины в оболочку.

Микрокабель. Волокно во вторичном буферном покрытии (чаще всего диаметром 0,9 мм), предназначенное для изготовления монтажных шнуров.

Минимальный радиус изгиба. Минимальный радиус изгиба волоконного световода и оптического кабеля, при котором не наступает его повреждение или дополнительные изгибные потери не превышают определенного порогового значения.

Мода. Тип электромагнитной волны в оптическом волокне. Каждой моде может быть поставлено в соответствие одно из решений уравнения Максвелла или траектория световой волны в лучевой трактовке процессора распространения излучения по световоду.

Модовая дисперсия. См. Межмодовая дисперсия.

Модовый фильтр. Конструктивный элемент для достижения в волоконном световоде равновесного распределения мод. Эффективно подавляет моды высокого порядка.

Модуль. Самостоятельный конструктивный элемент оптического кабеля, содержащий один или несколько волоконных световодов.

Монтажный шнур. Отрезок гибкого оптического кабеля с вилкой оптического разъема на одном из его концов, предназначенный для подключения к волокнам линейных кабелей методом сварки или с помощью механических сплайсов.

Муфта промежуточная. Устройство для постоянного соединения и/или ветвления волоконных световодов двух или более отдельных строительных длин опти-

ческого кабеля. Основными конструктивными элементами муфты являются корпус, кабельные вводы и кассеты для хранения технологического запаса волокна и установки гильз сварных сростков или корпусов механических сплайсов.

Нормированная частота. Безразмерный параметр, зависящий от радиуса сердцевины, числовой апертуры и длины волны оптического излучения. Определяет число направляемых мод.

Оболочка волоконного световода. Покрытие сердцевины волоконного световода, создающее условия полного внутреннего отражения, а также обеспечивающее ее оптическую изоляцию и механическую защиту.

Обратное рассеяние. Рассеяние света в направлении, противоположном направлению распространения возбуждающего его светового потока.

Обрыва метод. Разрушающий метод измерения затухания оптических кабелей, основанный на измерении опорного значения на выходе короткого отрезка световода, отламываемого от основного волокна после измерения сигнала на его выходе.

Опорная длина волны. Рабочая длина волны волоконного световода и оптического кабеля, на которой осуществляется нормирование параметров.

Оптический кабель. Совокупность оптических волокон, заключенных в общую защитную оболочку и имеющая, в случае необходимости, дополнительные упрочняющие и влагозащитные покрытия и элементы.

Оптический модуль. Самостоятельный конструктивный элемент оптического кабеля, содержащий одно или несколько оптических волокон, защищающий их от различных внешних воздействий и обеспечивающий стабильность их функционирования при воздействии продольных и поперечных механических усилий.

Оптический разъем. Оптический соединитель, устанавливаемый на конце оптического кабеля и допускающий многократное соединение волоконных световодов.

Оптический шнур. Отрезок гибкого оптического кабеля, оконцованный с обеих сторон шнуровыми элементами оптических разъемов и предназначенный для подключения к кабельной системе активного сетевого оборудования и соединения отдельных стационарных линий в процессе формирования трактов передачи информации.

Ответвитель. Оптическое устройство, предназначенное для ответвления части оптического излучения.

Отнесения потерь принцип. Подход к заданию потерь в оптическом разъеме, основанный на отнесении их фактического значения исключительно к панельной части соединителя. При этом шнуровая часть разъема (вилка) условно считается идеальной. Применение данного принципа обеспечивает определенное упрощение процедур измерения характеристик разъема и текущей администрирования кабельной системы.

Поглощение. Потери света, связанные с различными неоднородностями волокна.

Показатель преломления. Характеристика материала, численно равная отношению скорости света в вакууме к скорости света в данном материале.

Полное внутреннее отражение. Явление полного отражения оптического излучения от границы раздела двух сред. Возникает в том случае, если световой пучок, находящийся в среде с большим показателем преломления, падает на границу под углом, который превышает критический.

Порт. Оптический интерфейс пассивного или активного устройства либо компонента.

Преломление. Явление изменения направления распространения света на границе раздела двух материалов с различными показателями преломления.

Претерминированная сборка. Кабельное изделие, обеспечивающее возможность организации линии оптической связи без установки разъемов на объекте монтажа. Представляет собой строительную длину кабеля, на котором заводским способом установлены вилки разъемов, защищенные оконечной арматурой в виде съемного герметического пластмассового или металлического наконечника.

Простой тракт. Тракт, который содержит в своем составе только одну стационарную линию.

Профиль показателя преломления. Радиальная зависимость показателя преломления материала сердцевины световода.

Рабочий диапазон длин волн. Диапазон длин волн, в котором компонент оптического тракта СКС работает с заданными качественными показателями.

Световод. См. Волоконный световод.

Связь мод. Обмен мощностью между модами в процессе распространения излучения в оптическом волокне.

Сердечник кабеля. Внутренняя часть конструкции оптического кабеля, содержащая оптические волокна.

Сердцевина волоконного световода. Светопроводящая часть волоконного световода со средним показателем преломления, превышающим показатель преломления отражающей оболочки.

Силовой элемент. Элемент конструкции кабеля, увеличивающий его стойкость к воздействию внешних растягивающих и сдвигающих усилий. Может быть осевым (центральным) и периферийным.

Составной тракт. Тракт, который образован двумя или более стационарными линиями.

Сплайс-пластина. Конструктивный элемент оптического коммутационного оборудования и промежуточной муфты, в котором организаторы технологического запаса волокон и сростков образуют единую функциональную единицу.

Сращивание. Метод постоянного или временного соединения двух волоконных световодов. На практике используются сплавное (сварное) и механическое сращивания волокон.

Стационарная линия. Комплекс технических средств, конфигурация которого не меняется в процессе эксплуатации структурированной проводки. Включает в себя линейные кабели, муфты различных видов и коммутационные устройства.

Стриппер. Инструмент для удаления полимерных защитных покрытий волоконных световодов.

Ступенчатый волоконный световод. Волоконный световод, показатель преломления которого в пределах сердцевины и оболочки имеет различное, но постоянное значение.

Темное волокно. Волокно в оптическом кабеле, полностью готовое к эксплуатации, но не используемое в данный момент.

Терминатор. Пассивный оптический элемент, устанавливаемый на оконцованное или обнаженное волокно и предназначенный для подавления обратного отражения и выхода излучения в свободное пространство.

Тонкопленочный фильтр. Разновидность оптического фильтра, в процессе изготовления которого на подложку наносится структура тонких слоев диэлектрика с различными оптическими свойствами.

Тракт передачи. Комплекс технических средств, который включает в себя линейные кабели, муфты различных видов, коммутационные устройства, оконечные и промежуточные шнуры, обеспечивающий передачу оптического сигнала от излучателя одного сетевого интерфейса до приемника другого. Организационно может быть представлен в форме одной или нескольких стационарных линий, соединенных друг с другом и подключенных к сетевым интерфейсам шнурами.

Удлиняющее волокно. Волокно, включаемое на входе и/или выходе тестируемого световода и обеспечивающее увеличение точности и/или разрешающей способности в процессе измерения затухания и выявления различных дефектов.

Упрочняющий элемент. См. Силовой элемент.

Усилие снятия первичного защитного покрытия. Усилие, создаваемое специальным инструментом и направленное вдоль оси волокна, позволяющее удалить первичное защитное покрытие с заданной скоростью на определенной длине.

Френелевское отражение. Отражение части света, падающего на плоскую границу раздела двух однородных сред с различными показателями преломления.

Хроматическая дисперсия. Дисперсионная составляющая, вызываемая зависимостью условий распространения оптического излучения от его длины волны.

Числовая апертура. Синус угла апертуры (см.).

СПИСОК
ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А. Б. Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи. — М.: КомпьютерПресс, 1998. — 302 с.
2. Семенов А. Б., Стрижаков С. К., Сунчелей И. Р. Структурированные кабельные системы. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: ДМК-Пресс, 2002. — 640 с.
3. Семенов А. Б. Проектирование и расчет структурированных кабельных систем и их компонентов. — М.: ДМК Пресс, Компания АйТи, 2003. — 416+16 с.
4. ГОСТ 25462-82. Волоконная оптика. Термины и определения. Государственный комитет СССР по стандартам. — Издательство стандартов, 1988. — 3 с.
5. ГОСТ 26814-86. Кабели оптические. Методы определения параметров. Государственный комитет СССР по стандартам. — Издательство стандартов, 1986. — 34 с.
6. ISO/IEC 11801:2002(E). Information Technologies — Generic cabling for customer premises. International Standard. Second edition 2002-09. — 136 p.
7. TIA/EIA-568-B.1. Commercial Building Telecommunications Cabling Standard (Revision of EIA/TIA-568-A). Part 1: General Requirements. — 2001. — May. — 79 p.
8. Gerschau L. Strukturierte Verkabelung. Komponenten. Ebersichtung Standards. DATACOM Buchverlag GmbH. — Bergheim, 1995. — 276 s.
9. Семенов А. Б. Техника СКС на выставке CeBIT 2001 // Вестник связи. — 2001. — № 5.
10. Яковлев М. Я., Цуканов В. Н., Кузнецов В. А., Великов В. Н. Измерение характеристик компонентов ВОСП // Фотон-Экспресс. — 2005. — № 1(41). — С. 37–39.
11. TIA/EIA TSB-72 Centralized Optical Fiber Cabling Guidelines. — 1995. — October.
12. ISO/IEC TR 14763-2. Information technology — Implementation and operation of customer premises cabling. Part 2: Planning and installation. First edition 2000-07. — 20 p.
13. Локальная сеть на волоконной оптике: Проспект фирмы Corning. — 1998. — 8 с.
14. Семенов А. Б. Проблема «полярности» оптических трактов передачи // LAN: журнал сетевых решений. — 2005. — Т. 11. — № 11 (112). — С. 68–80.
15. Duplex Fiber Polarity Guidelines for LC and SC connectors. White Paper, Issue 2, March 2004. Systimax Structured Connectivity Solutions: Фирменный материал компании Commscope. — 10 p.
16. Recommendations to maintain duplex OF channel polarity. Technical Paper. Nexans Cabling Solutions. Revision 1.0. — 2004. — October. — 24 p.
17. Трусов А. От «классики» к «модерну». Аспекты построения СКС на базе оптоволоконной структуры // Мир связи. — Connect. — 2005. — № 6. — С. 174–181.
18. Trosch R. 10 Gigabit-Ethernet uber Kupfer. White Paper: Фирменный материал компании Reichle & De-Massari, Edition 1.0. — 2003. — Juli / TE015.421 — 15 p.
19. 10 Gigabit Over AMP NETCONNECT Structured Cabling Systems. The XG Copper Cabling Solution: Фирменный материал компании AMP. — 2005. — 10 p.
20. Oehler A M., Schickentanz D. W. Theorie und Messung. Alien Crosstalk unter der Lupe. LANLine Spezial. — 2005. — IV. — S. 28–33.
21. Рид Р. Основы теории передачи информации / пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 320 с.
22. Энгельс И. 10 Gigabit Ethernet по меди // LAN: журнал сетевых решений. — 2005. — Декабрь. — Т. 11. — № 12 (113). — С. 68–73.
23. Dutton H. Understanding Optical Communications. IBM. International Technical Support Organization. — 1998. — September. — 614 p.
24. Гочаренко А. М., Карпенко В. А. Основы теории оптических волноводов. 2-е изд., испр. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 240 с.
25. Mitschke F. Glasfasern. Physik und Technologie. Spektrum Akademischer Verlag. — Neidelberg, 2005. — 299 s.
26. Гитин В. Я., Кочановский П. Н. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. пособие для техникумов связи. — М.: Радио и связь, 2003. — 128 с.
27. Основы волоконно-оптической связи / пер. с англ., под ред. Е. М. Дианова. — М.: Советское радио, 1980. — 232 с.
28. Семенов Н. А. Оптические кабели связи. Теория и расчет. — М.: Радио и связь, 1981. — 152 с.
29. Peng Y. L. 50 mm Optical Fibrer Q&A White Paper: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 2003. — September. — P. 1–6.
30. Premise Optical Fiber Cabling Systems. Laser Certified 50 mkm Multimode Fiber. The High-Performance, Cost-Effective Optical Premises Cabling Solution. AMP NetConnect Solarum System: Фирменный материал компании Tyco Electronics. — 2000. — 10 p.
31. Flatman A. 10 Gigabit Ethernet over Legacy Multimode Fiber: Фирменный материал компании Brandr-Rex. — 2005. — 4 p.
32. Simard M., Carlson M., Babin F., Tremblay M. Understanding launch conditions for multimode connector and cable-assembly testing. Application note 092: Фирменный материал компании EXFO. — 8 p.

33. Вербовецкий А. А. Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи. — М.: Радио и связь, 2000. — 160 с.
34. Элион Г., Элион Х. Волоконная оптика в системах связи. — М.: Мир, 1981. — 198 с.
35. Хмелев К. Оптоволокно: взгляд изнутри // Сети и телекоммуникации. — 2002. — № 8 (27). — С. 70—75.
36. Refi J. J. Polarization Mode Dispersion: Фирменный материал компании Lucent Technologies. — 2001. — 16 April. — 6 p.
37. Гладышевский М. А., Наний О. Е., Сабинин Н. К. и др. Оптическое волокно для систем передачи информации. В кн.: Волоконная оптика: Сборник статей. — М.: Вико, 2002. — С. 9—51.
38. Laferriere J. Chromatic dispersion requirements: Фирменный материал компании Acterna. — 2002. — January. — 8 p.
39. Zullig L., Giorgio F. Einsatz verschiedener Singlemode-Fasertypen. Reichle & De-Massari, White Paper. — 2004. — Marz. — 13 s.
40. Laferriere J. Chromatic dispersion requirements: Фирменный материал компании Acterna. — 2002. — January. — 8 p.
41. Bell Ph., Wiggs T., Yngve K. Characterizing Bandwidth Length Uniformity in High Speed Data Communication Multimode Optical Fiber. White Paper WP4258: Фирменный материал компании Corning. — 2005. — January. — 5 p.
42. Ксенофонов С. Н., Портнов Э. Л. Направляющие системы электро-связи: Сборник задач: учеб. пособие для вузов. — М.: Горячая линия — Телеком, 2004. — 268 с.
43. Критлер Д. Стандартизация методов измерения параметров многомодового волокна, оптимизированного для работы с лазерами // Lightwave Russian edition. — 2004. — № 2. С. 41—43.
44. Fibre Optik Kabel GigaLine fur LAN-Office, LAN-Industrie und Citynetze/Telekom: Фирменный материал компании Kerpen. — 2003. — 55 s.
45. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / Л. М. Андрушко, В. А. Вознесенский, В. Б. Каток и др.; под ред. С. В. Свечникова и Л. М. Андрушко. — Киев: Тэхника, 1988. — 239 с.
46. Волоконно-оптические системы передачи: учеб. для вузов / М. М. Бутусов, С. М. Верник, С. Л. Галкин и др.; под ред. В. М. Гомзина. — М.: Радио и связь, 1992. — 416 с.
47. ITU-T Recommendation G. 651. Characteristics of a 50/125 mm graded index optical fibre cable. — 1997.
48. Pepeljugoski P. K., Kuchta D. H. Design of optical communications data links // IBM Journal of Research and Development. — 2003. — Vol. 47. — № 2/3. — P. 223—237.
49. Cunningham D., Piers D. Review of the 10 Gigabit Ethernet Link Model. ONIDS. White paper: Фирменный материал компании Agilent Technology. — 2002. — 12 p.
50. Anderson M. 10 Gigabit Ethernet uber Glasfaser: Grossere Reichweite als je zuvor: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 7 s.

51. Kanprachar S. Modeling and Analysis of the Effects of Impairments in Fiber Optic Links: Дисс. на соискание степени Masters of Science in Electrical Engineering. — Blacksburg, Virginia, 1999. — 96 p.
52. IEC 60793-1-41. Optical fibre — Part 1-41. Measurement methods and test procedures — Bandwidth. Second edition, 2003-04. — 53 p.
53. Matni Z. A, Chang W., Neagoy Ch. Demonstrating a Fiber Optic Link for 10 Gbs Data Communication: Фирменный материал компании Inphi. — 2002. — 10 p.
54. Бусурин В. И., Носов Ю. Р. Волоконно-оптические датчики: физические основы, вопросы расчета и применения. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 256 с.
55. Делоне Н. Б. Нелинейная оптика. М.: Физматлит, 2003. — 64 с.
56. Чео П. К. Волоконная оптика: Приборы и системы / пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 280 с.
57. Оптическое волокно с рекордно малой величиной затухания. Lightwave Russian edition. — 2003. — № 1. — С. 8—9.
58. Bruckner V. Optische Nachrichtentechnik. Grundlagen und Anwendungen. B.G. Teubner Verlag // GWV Fachverlag GmbH. — Wiesbaden, 2003. — 178 s.
59. Эрне Ж. Материалы для волоконных световодов с малыми потерями В сб.: Фотоника. — М.: Мир, 1978. — С. 383—399.
60. Landers A, Hein H., Haemmerle W. Comparision of Link Length Measurement of Unicabled and Cabled OM3 Fibers: Фирменный материал компании j-fiber. — 4 p.
61. Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. Оптические волокна для линий связи. — М.: ЛЕСАРпт, 2003. — 283 с.
62. Скляр О. К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы. — Солон-Р, 2001. — 238 с.
63. Жерар А. Руководство по технологиям и тестированию систем WDM / пер. с англ., под ред А. М. Бортникова, Р. Р. Убайдуллаева, А. В. Шмалько. — М.: EXFO, 2001. — 194 с.
64. Микилев А. И., Павлычев М. И. OFS в России: перспективные оптические технологии на отечественном рынке // Технологии и средства связи. — 2003. — № 2. — С. 62—64.
65. Микилев А. И., Павлычев М. И. Подробнее об AllWave // Технологии и средства связи. — 2003. — № 4. — С. 54—55.
66. George J. E., Nelson M. Zero vs. Low Water Peak Single-mode Fiber: The difference is in ROI: Фирменный материал компании OFS. — 2005. — 2 p.
67. Барсков А. Г. «Боинг» оптических сетей // Сети и системы связи. — 2003. — 16 декабря. — № 14 (106). — С. 68—71.
68. Андреев В. А., Бурдин В. А. Оптические волокна для оптических сетей связи // Электросвязь. — 2003. — № 11. — С. 50—54.
69. Гальярди Р. М., Карп Ш. Оптическая связь / пер. с англ., под ред. А. Г. Шереметьева. — М.: Связь, 1978. — 424 с.
70. Воловдов А. А. От тактовой частоты до информационной магистрали // Сети и системы связи. — 1999. — №. 9. — С. 13—17.

71. Гянжа Д. Как работает FC-AL // LAN: журнал сетевых решений. — 2000. — Т. 6. — № 1. — С. 19–21.
72. Заркевич Е. А., Скляр О. К., Устинов С. А. Тенденции развития технологий оптической связи // Технологии и средства связи. — 2002. — № 6. — С. 14–18.
73. G.694.2 ITU-T. Spectral Grids for WDM Applications: CWDM Wavelength Grid. Telecommunication standardization sector of ITU. — 06/2002. — 6 p.
74. Наний О. Е. Основы технологии спектрального мультиплексирования каналов передачи (WDM). Lightwave Russian edition. — 2004. — № 2. — С. 47–52.
75. Чернов Б. К., Каминецкий И. С. Технология грубого спектрального уплотнения CWDM. Основы построения и перспективы развития. Lightwave Russian edition. — 2004. — № 2. — С. 20–24.
76. IEC 60793-2-10. Optical fibres — Part 2-10: Product specifications — Sectional specification for category A1 multimode fibres. First edition 2002-03. — 43 p.
77. IEC 60793-2-50. Optical fibres — Part 2-50: Product specifications — Sectional specification for class B singlemode fibres. First edition 2002-01. — 45 p.
78. Питерских С. Э. Оптические волокна нового класса. Анализ рекомендации МСЭ-T G.656. Lightwave Russian Edition. — 2005. — № 3. — С. 25–28.
79. Слепов Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. — М.: Радио и связь, 2000. — 468 с.
80. TIA/EIA-568-B.3-1. Optical Fiber Cabling Components Standard. Addendum 1. Additional Transmission Performance Specifications for 50/125 Optical Fiber Cabling. — 2003. — April. — 3 p.
81. Микилев А., Павлычев М. Универсальное средство широкого применения // Мир связи connect. — 2004. — № 4. — С. 60–62.
82. Premise Optical Fiber Cabling Systems. White Paper: Фирменный материал компании AMP. — 2000. — 10 p.
83. Dhillon A, DiMinico C., Woodfin A. Optical Fiber and 10 Gigabit Ethernet. 10 Gigabit Ethernet Alliance. Version 2. — 2002. — May. — 15 p.
84. Смородинский П. VCSEL: новое поколение лазеров. — Телеком. — 2003. — № 9. — С. 54–58.
85. Скляр О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. — М.: Солон-Пресс, 2004. — 272 с.
86. Акснелл Д. Кабельная альтернатива // Сети. — 2000. — № 5. — С. 65–67.
87. Коммерческие перспективы лазеров с вертикальными резонаторами (VCSEL). Lightwave — Russian edition. — 2003. — № 2. — С. 11.
88. Pleunis P., Boon M., van den Heuvel M. Influences of Profile Variations in PCVD Multimode Fibre on DMD Characteristics for 10 GbE Systems // 50th IWCS proceedings. — 2001. — P. 698–702.
89. Merriam E., Fromenteau J.-M. Technik der laseroptimierten Mehrmodenfasern. Wege des Lichts // LANline. — 2006. — № 2. — S. 74–77.
90. Rubinstein R. Multimode fibre extends the reach // Fibre Systems. — 2006. — January/February. — P. 28–29.

91. Newsletter. — 2003. — November. — Draka Comdeq. Eindhoven. — 4 p.
92. Matthijsse P., Jetten M. P. M., Krabshuis G.-J., Achten F. J., Kuyt G. Wide-window graded-index multimode fiber for Ftt-LAN local loop networks. International Wire & Cable Symposium. — Philadelphia, 2004. — P. 501–506.
93. Hirscher H., Richter T. Gigabit Ethernet über Lichtwellenleiter: Фирменный материал компании Reichle & De-Massari. — 2004. — März. — 16 s.
94. Иоргачев Д. В., Бондаренко О. В., Дощенко А. Ф., Усов А. В. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технологии производства и эксплуатация. — Одесса: Астропринт, 2000. — 536 с.
95. Виноградова Г. Оптические волокна компании «Алкатель» // Фотон-Экспресс. — 2004. — Апрель. — № 3 (35). — С. 10–11.
96. Goff D. R. Fiber Optic reference guide. A practical guide to the technology. Second Edition. Focal Press. — Boston, 2000. — 244 p.
97. Volition. LWL-Installationkabel: Проспект фирмы 3М. — 1998. — Dezember. — 4 s.
98. Введение в волоконно-оптические кабели. Технические заметки FOC № 06: Фирменный материал компании Оптиктелеком. М., 2003. — Октябрь. — 23 с.
99. Семенов А. Б. Оптические кабели СКС // Фотон-Экспресс. — 2003. — Декабрь. — № 6 (32). — С. 20–21.
100. IEC 60794-2-31. Optical fibre cables — Part 2-31: Indoor cables — Detailed specification for optical fibre ribbon cables for use in premises cabling. International standard. First edition. 2005-06. — 18 p.
101. Кемельбеков Б. Ж., Мышкин В. Ф., Хан В. А. Волоконно-оптические кабели. — М.: Международная академия творчества, 1999. — 392 с.
102. EN 60794-1-1. Lichtwellenleiterkabel. Teil 1. Fachgrundspezifikation. — Allgemeines (IEC 60794-1-1:2001). Europäische Norm. — 2002. — Februar. — 33 s.
103. ZN-03 TP SA-005. Kable optotelekomunikacyjne liniowe. Wymagania i badania. Optotelekomunikacyjne linie kablowe. Norma zakładowa. Telekomunikacja Polska. — 48 str.
104. IEC 60794-3-21. Optical fibre cables — Part 3-21: Outdoor cables — Detailed specification for optical selfsupporting aerial telecommunication cables for use in premises cabling. International standard. First edition. 2005-06. — 18 p.
105. IEC 60794-3-12. Optical fibre cables — Part 3-12: Outdoor cables — Detailed specification for duct and directly buried optical telecommunication cables for use in premises cabling. International standard. First edition. 2005-06. — 16 p.
106. Волоконно-оптические системы связи на ГТС: справочник / Б.З. Берлин, А.С. Брискер, В.С. Иванов; под ред. А.С. Брискера и А.Н. Голубева. — М.: Радио и связь, 1995. — 160 с.
107. Шарле Д. Л. Оптические кабели российского производства // Вестник связи. — 2000. — № 9. — С. 68–77.
108. Fibre Optic Cables for Datacom Networks: Каталог фирмы Tyco Electronics. — 2003. — 10 p.

109. Волоконно-оптические кабели: Проспект фирмы NK Cables. — 2002. — 8 с.
110. Шарле Д. Л. Хет-трик в матче с Атлантикой. — М.: МНТИ — Международный центр научной и технической информации, ООО «Мобильные телекоммуникации», 2002. — 248 с.
111. Волоконно-оптические кабели. Информация о продукции: Каталог фирмы Ericsson Cables AB. — 1998. — 60 с.
112. Fiber Components. General Catalogue. Edition 2004: Каталог компании Huhber + Suhner. — 2004. — 210 p.
113. Оптические кабели связи российского производства: справочник / А. С. Воронцов, О. И. Гурин, С. Х. Мифтахетдинов и др. — М.: Эко-Трендз, 2003. — 288 с.
114. Авдеев Б. В., Барышников Е. Н., Стародубцев И. И., Дютров О. В. Об избыточной длине ОВ в оптическом кабеле // Фотон-Экспресс. — 2003. — Декабрь. — № 6 (32). — С. 8–14.
115. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. — М.: Эко-Трендз, 1998. — 268 с.
116. Семенов А. Б. Магистральные кабели внутренней прокладки и их разновидности // Фотон-Экспресс. — 2004. — Апрель. — № 3 (35). — С. 20–22.
117. Hecht J. Understanding Fiber Optics. Second Edition. New Jersey. — Prentice Hall, 1998. — 477 p.
118. Multimode Fibre Optic Cables. Broadband: Каталог компании BV Twentsche Kabelfabriek. — 2005. — 24 p.
119. Миллиган Б. Универсальные кабели // Сети и системы связи. — 2005. — 22 сентября. — № 9 (129). — С. 84–87.
120. Blell B. 10 Gb/s fiber optic cabling for indoor/outdoor installations. Tekbrief Berk-Tek. A Nexans Company: Фирменный материал компании Nexans. — 6 p.
121. Семенов А. Б. Комбинированные кабели // Фотон-Экспресс. — 2004. — № 7–8. — С. 60–62.
122. Boothroyd D. Hybrid cable lives up to a mixed reputation // Cabling Installation & Maintenance Europe. — 2000. — May/June. — P. 9–10.
123. Debiec T., Wagner M. Hybrid fiber-optic cable gets high marks on campus // Cabling Installation & Maintenance. — 1997. — April. — P. 27–32.
124. TIA/EIA-568-B.3 Optical Fiber Cabling Components Standard. Revision of TIA/EIA-568-A — 2000. — April. — 23 p.
125. A Guide to selecting the right cabling infrastructure. Technical Guide. — Anixter, 2003. — 24 p.
126. IEC 60304:1982. Standard colours for insulation for low-frequency cable and wires.
127. ANSI/TIA/EIA-598-A. Optical Fiber Cable Color Coding. TIA/EIA Standard. — 1995. — May. — 12 p.

128. Оптические кабели связи. ООО «Оптен», 2005. — 24 с.
129. Integra: Каталог 2005. Оптический кабель. Дополнительная номенклатура. ЗАО Интегра-Кабель. — 30 с.
130. Мальке Г., Гессинг П. Волоконно-оптические кабели. Основы, проектирование кабелей, проектирование систем / пер. с нем. 2-е изд., перераб. и доп. — Corning Cable Systems. — Новосибирск, 2001. — 352 с.
140. Packaging guide: Фирменный материал компании Acome. — 2004. — 18 p.
141. ГОСТ 18690-82 (СТ СЭВ 3227-81). Кабели, провода, шнуры и кабельная арматура. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. Государственный комитет СССР по стандартам. — М.: Издательство стандартов, 1983. — 19 с.
142. Ларин Ю. Т. Программа разработки нормативно-технической базы оптических волокон и кабелей // Фотон-Экспресс. — 2003. — Сентябрь. — № 4 (30). — С. 31–33.
143. ГОСТ 5151-79. Барабаны деревянные для электрических кабелей и проводов. Технические условия. Государственный комитет СССР по стандартам. — М.: Издательство стандартов, 1986. — 24 с.
144. Семенов А. Б. Оптические разъемы // Фотон-Экспресс. — 2005. — № 4 (44). — С. 57–59.
145. EN 50173-1. Information technology — Generic cabling systems. Part 1: General requirements and office areas. English Version. — 2002. — November. — 126 p.
146. MT-RJ System. Polarity Installation Guidelines. White Paper: Фирменный материал компании AMP. — 2000. — 16 p.
147. Optical Fiber Connector Color Codes. AEN 47, revision 2. Corning Cable Systems Applications Engineering Note. — 2002. — 10 december. — 2 p.
148. L.36 (10/98). Single mode fibre optic connectors. Series L: Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant. ITU-U Recommendation L.36. — 8 p.
149. Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. — М.: Компания Сайрус Системс, 1999. — 672 с.
150. Chomycz B. Fiber Optic Installation. A Practical Guide. — McGraw-Hill, 1996. — 234 p.
151. Вербовецкий А. А. Основы проектирования цифровых оптических систем и сетей связи. — М.: Алекс-Верб, 2004. — 222 с.
152. Fiber Reflection. Applications Engineering Note AEN 4, Revision 3. — 2002. — November. — 3 p.
153. TSB-145 Reliability of Passive Fiber Optic Components: Failure Modes and Mechanisms of Fiber Optics Connectors. TIA Telecommunications System Bulletin. — 2003. — February. — 17 p.
154. Семенов А. Б. Оптические разъемы // Фотон-Экспресс. — 2005. — № 8 (48). — С. 46–48.

155. Семенов А. Б. Элементы и способы крепления вилки к кабелю // Фотон-Экспресс. — 2006. — № 1 (49). — С. 34–36.
156. Fiber Optic Products and Accessories: Каталог фирмы Senko Advanced Components. — 2005. — 16 p.
157. Optical Fiber Connectors LGC, LGA Series. Каталог фирмы Honda Tsushiu Kogyo Co. — 1999. — 62 p.
158. Оптические коннекторы: Проспект фирмы Diamond. — 1998. — 4 с.
159. Optical fiber connector types and termination technologies: Фирменный материал компании Tyco Electronics. — 2000. — 14 p.
160. OPT Division: Каталог фирмы Pacific Rundum Co. — 2003. — 12 p.
161. Dittrich J., Tienen U. Netzwerkinfrastrukturen. — Bonn: mitp-Verlag, 2002. — 588 s.
162. IEC 874-10. Connectors for optical fibres and cables. Part 10 Sectional specification. Fibre optic connector type BFOC/2,5. International standard. First edition 1992-06. — 20 p.
163. IEC 60874-10-1. Connectors for optical fibres and cables. Part 10-1: Detail specification for fibre optic connector type BFOC/2,2 terminated to multimode fibre type A1. First edition 1997-06. — 12 p.
164. IEC 60874-10-2. Connectors for optical fibres and cables. Part 10-2: Detail specification for fibre optic connector type BFOC/2,2 terminated to single-mode fibre type B1. First edition 1997-06. — 13 p.
165. Репин В. Н. Волоконно-оптические соединители. Обзор элементной базы // Фотон-Экспресс. — 2003. — Сентябрь. — № 4 (30). — С. 18–22.
166. Gustedt D., Wiesner W. Fiberoptik Ubertragungstechnik. — Franzis Verlag GmbH, 1998. — 496 s.
167. Вудс Д. Прольем свет на оптические сети // Сети и системы связи. — 2002. — 21 ноября. — № 13 (91). — С. 56–60.
168. La fibre optique dans les reseaux d'entreprise. CREDO. Def 05/02-007FR. — 123 p.
169. Грищенко Г. Мир разъемов СКС на ладонях // Фотон-Экспресс. — 2005. — № 4 (44). — С. 61–64.
170. Wrobel C.P. Optische Ubertragungstechnik in der Praxis. Komponenten, Installation, Anwendungen — 3. aktualisierte und erweiterte Auflage. Huthig Telekommunikation Verlag. — Bonn, 2004. — 329 s.
171. Хэбер Л. Кабельные системы становятся быстрее // Сети и системы связи. — 2000. — 24 апреля. — № 5 (55). — С. 22–25.
172. Иванов П. Обновленный облик кабельных систем // Сети. — 2000. — Февраль (2). — С. 44–47.
173. LC Connector and Adapter. AEN 70, revision 2, 1 november 2002. Applications Engineering Note: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 4 p.
174. «Rear Pivot Latch» LC Connector. A Robust SFF Fiber Optic Connector for High-Density Network Application. White Paper 11/2003: Фирменный мате-

- риал компании Panduit. — 8 p.
175. Shin'ichi Iwano. MU fiber-optic connector system. — Lightwave, 1998. — October. — P. 55–62.
176. Ziobron B. Small-form-factor connectors: Where are they now? Cabling Installation & Maintenance. — 2003. — April. — P. 35–36.
177. В новое тысячелетие с LSH // Сети и телекоммуникации. — 2000. — № 4 (14). — С. 88.
178. E-2000. Systemubersicht: Проспект фирмы Diamond. — 2003. — 14 s.
179. Selecting Small Form Factor Connectors for Fiber Optic Equipment and Infrastructure. The Advantages of a Hybrid PANDUIT FJ/LC Solution. White Paper — 1/2004: Фирменный материал компании Panduit. — 14 p.
180. Panduit Communication Product: Каталог фирмы Panduit. — 1998. — 256 p.
181. Kilmer J. P. Connectors evolve for the premise market // Lightwave. — 1998. — May. — P. 39–42.
182. Tate J., Cole G., Gomilsek I., van der Pijl J. Designing an IBM Storage Area Network. Redbooks. IBM International Technical Support Organization. — 2000. — May. — 283 p.
183. Московченко А. Оптические коннекторы SFF — достойный ответ на современные и перспективные запросы телекоммуникационной индустрии // Электронные компоненты. — 2003. — № 1. — С. 1–5.
184. Зайоброн Б. Положение дел в сегменте рынка миниатюрных оптических разъемов // Сети и системы связи. — 2003. — № 8 (100). — С. 72–74.
185. Стерлинг Д. Д., Бакстер Л. Кабельные системы. 2-е изд. — М.: Лори, 2003. — 313 с.
186. MT-RJ connectors system for sucure networks. White Paper: Фирменный материал компании AMP. — 2001. — 9 p.
187. Каталог фирмы Telegartner. — 2003. — 232 p.
188. Castreel R. LC versus MTRJ connectors: which is the better performer: Фирменный материал компании Commscope. — 2005. — 4 p.
189. Fiber Optic Product Catalog No 1098A Active & Passive Network Solutions. Molex Fiber Optic Inc. — 1997. — 160 p.
190. Грищенко Г. Мир разъемов СКС на ладонях. Оптика // Сети и телекоммуникации. — 2002. — № 8 (27). — С. 64–68.
191. Семенов А. Б. Адаптеры корпусного типа для применения в оптической подсистеме СКС // Вестник связи. — 2003,. — № 10. — С. 35–44.
192. Mayer M., Zisler H. Glasfasernetzwerke in der Praxis. Planung, Beschaffung, Installation. 2, neu bearbeitete Auflage, Huthig & Pflaum Verlag. — Munchen, Heidelberg, 2005. — 135 s.
193. Семенов А. Б. Монтаж оптических разъемов. Технологии установки разъемов при построении волоконно-оптической подсистемы СКС // LAN: журнал сетевых решений. — 2000. — Ноябрь. — Т. 6. — № 11. — С. 59–70.
194. Конгтон Х. Технология оконцевания оптоволокну // Сети и системы связи. — 2004. — 15 июня. — № 7 (113). — С. 76–78.

195. Чанг М. Полировка наконечников, или Самый ответственный момент оконцевания волокна // Сети и системы связи. — 2006. — 9 марта. — № 3 (137). — С. 94–97.

196. Репин В. Н. Оптические кроссы российских производителей // Технологии и средства связи. — 2003. — Сентябрь–октябрь. — № 4. — С. 50–53.

197. РД 45.064-99. Оборудование кабельное оконечное. Общие технические требования. Руководящий документ отрасли. Министерств Российской Федерации по связи и информатизации. — М., 1999. — 11 с.

198. Multimode Fiber in Bending. Application Engineering Note AN 4255: Фирменный материал компании Corning. — 2005. — April. — 3 p.

199. Живулин П. Оптические кроссы и распределительные шкафы для городских оптических сетей. В сб.: Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных сооружений. Третья всероссийская конференция. СПб.: Петеркон, 2004. — С. 61–64.

200. TIA/EIA-606-A Administration Standard for Telecommunications Infrastructure. TIA/EIA Standard. — 2003. — 90 p.

201. Андреев В. А., Бурдин В. А., Попов Б. В. и др. Монтаж муфт и оконечных устройств волоконно-оптических кабелей: учеб. пособие для вузов / под ред. В. А. Андреева. — Самара: СРТЦ ПГАТИ, 2005. — 159 с.

202. Telecommunication Products. PD Telecom Rev. 4: Каталог фирмы HellermannTyton. — 1999. — 94 p.

203. Мифтяхетдинов С. Х. Оптическое кроссовое оборудование // Технологии и средства связи. — 2005. — № 5. — Ноябрь–декабрь. — С. 12–17.

204. Семенов А. Б. Оконцованные оптические кабельные изделия // Вестник связи. — 2004. — № 3. — С. 42–45.

205. Pondillo P. Multimode Fiber for use with Laser sources. White Paper WP4119: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 2001. — October. — 8 p.

206. Авдеевский А. Оптические тенденции. — LAN Magazin, 1999. — № 4.

207. Kutsch K.-H. Aufeinander abgestimmt. — LANline Special, 2004. — IV. — S. 26–27.

208. Гриффен В. Прокладка кабелей в трубках / пер с англ. — Санкт-Петербург: Гипротрансигнальсвязь, 2001. — 138 с.

209. Никольский К. К. О методах пневмопрокладки кабелей связи // Фотон-Экспресс. — 2006. — № 2. — С. 20–22.

210. Семенов А. Б. Системы пневматической прокладки для СКС // LAN: журнал сетевых решений. — 2003. — Ноябрь. — № 11. — С. 64–74.

211. Плахотник А. И. Новые системы прокладки волоконно-оптического кабеля JetNet. В сб.: Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных сооружений. Третья Всероссийская конференция. — Санкт-Петербург, 2004. — С. 14–15.

212. Зайоброн Б. Пневматическая прокладка оптоволокон: за и против // Сети и системы связи. — 2004. — 6 мая. — № 6 (112). — С. 110–114.

213. Харди С. М. Пневматическая прокладка волокон: перспективы развития // Lightwave Russian edition. — 2005. — № 1. — С. 29–33.

214. Ojdana K. System swiatlowodow wdmuchiwanych Laserstream. Technika zwielokrotniania dystansu wdmuchiwania: Фирменный материал компании Molex PN. — 8 str.

215. Кирсанов И. А., Никольский К. К. Прокладка оптического кабеля в зданиях // Вестник связи. — 2000. — № 10. — С. 66–68.

216. Сабинин Н. К. Экономика строительства ВОЛС подземной прокладки // Lightwave Russian edition. — 2003. — № 2. — С. 14–20.

217. Семенов А. Б. Системы интерактивного управления СКС // LAN: журнал сетевых решений. — 2002. — № 2. — С. 65–72.

218. Семенов А. Б. Эволюция и направления развития систем интерактивного управления СКС // Вестник связи. — 2005. — № 10. — С. 37–44.

219. Семенов А. Б. Техника СКС на выставке Cebit 2004 // Вестник связи. — 2004. — № 5. — С. 64–69.

220. Семенов А. Б. Защита от некорректной коммутации в СКС // LAN: журнал сетевых решений. — 2003. — Июль–август. — Т. 9. — № 7–8. — С. 58–69.

221. Семенов А. Б. Модульно-кассетные решения для оптики // LAN: журнал сетевых решений. — 2004. — Ноябрь. — Т. 10. — № 11. — С. 64–78.

222. Кошон Ж. Ф. Модульные компоненты упрощают монтаж оптической кабельной системы. // Сети и системы связи. — 1999. — № 7. — С. 16–20.

223. Комаров О. М., Спиридонов В. Н. Соединительные муфты для оптических кабелей. В кн.: Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы: сб. статей / под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова. — М.: Connect, 2000. — С. 316–330.

224. РД 45.120-2000. Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети. Руководящий документ отрасли. Министерство Российской Федерации по связи и информатизации. ЦНТИ «Информсвязь». — М., 2000. — 168 с.

225. ZN-96 TP S.A-008. Osłony złączowe. Linie optotelekomunikacyjne. Wymagania i badania. Norma zakładowa. — 6 str.

226. ZN-96 TP S.A-006 Złącza spajane światłowodów jednomodowych. Linie optotelekomunikacyjne. Wymagania i badania. Norma zakładowa. — 8 str.

227. Волоконная оптика в приборостроении / М. М. Бутусов, С. Л. Галкин, С. П. Оробинский, Б. П. Пал / под общ. ред. М. М. Бутусова. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1987. — 328 с.

228. Product Guide: Каталог фирмы Raychem. — 1998. — 122 p.

229. Complete Optical Fiber Cabling Solution: Каталог фирмы Panduit. — 1996. — 32 p.

230. IEC 60793-2-40:2002 International Standard. Optical fibres — Part 2-40: Product specifications — Sectional specification for category A4 multimode fibres. First edition 2002-01. — 37 p.

231. Weinert A. Kunststofflichtwellenleiter: Grundlagen, Komponenten, Installation. — Munchen: Public-MCD-Verlag, 1998. — 154 s.
232. Свинцов А. Г. Волоконная оптика на рубеже веков: эволюция оптического волокна // Вестник связи. — 2003. — № 10. — С. 53–58.
233. Портнов Э. Л., Соколов А. Л., Яворский Я. З., Алексеев И. С. Перспективы использования полимерных волокон. В кн.: Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. Серия: Научная сессия, посвященная дню радио. Выпуск LIX-1. — М.: 2004. — С. 167–168
234. Widawski G. Plastic Optical Fibre POF. Nexans Cabling Solutions. White Paper: Фирменный материал компании Nexans. — 2004. — February. — 8 p.
235. Strobel O. Lichtwellenleiter-Ubertragungs- und Sensortechnik. 2., verbesserte und aktualisierte Auflage. VDE Verlag GmbH. — Berlin und Offenbach, 2002. — 288 s.
236. Микроструктурированное градиентное полимерное волокно. Lightwave Russian edition. — 2004. — № 2. — С. 44.
237. Савчук А. М. Медные кабели, оптические волокна... Что дальше? // Вестник связи. — 2004. — № 3. — С. 60–64.
238. IEC 874-17. Connectors for optical fibres and cables. — Part 17. Sectional specification for fibre optic connector Type F-05 (friction lock). First edition 1995-09. — 18 p.
239. Увеличение пропускной способности сетей на основе полимерного многомодового волокна: пространственное мультиплексирование. Lightwave Russian edition. — 2004. — № 2. — С. 11.
240. Семенов А. Б. Новинки техники СКС на выставке Exponet 2003 // Вестник связи. — 2004. — № 1. — С. 15–22.
241. Унгер Г. Г. Оптическая связь / пер. с нем., под ред. Н. А. Семенова. — М.: Связь, 1979. — 264 с.
242. Eberlein D., Glaser W., Kutza C., Labs J., Manzke C. Lichtwellenleiter-Technik. 6 neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Expert-verlag. — 2006. — 346 s.
243. Зайоброн Б. Скалыватели оптоволокна // Сети и системы связи. — 2003. — 31 января. — № 1 (93). — С. 66–69.
244. Оптика и связь: Оптическая передача и обработка информации / пер. с фр. А. Козане, Ж. Флере, Г. Мэтр, М. Руссо. — М.: Мир, 1984. — 504 с.
245. Dittrich J., Thienen U. Moderne Datenverkabelung. — ITP, Bonn, 1998. — 517 s.
246. Хант Д. Средства сращивания оптических волокон // Сети и системы связи. — 2003. — 5 ноября. — № 12 (104). — С. 88–90.
247. Single Fiber Fusion Splicing. Application Note AN103: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 2001. — September. — 10 p.
248. Туркин А. Н., Щербаткин Д. Д. Высококачественная сварка оптических волокон: методы и оборудование. Lightwave Russian Edition. — 2004. — № 1. — С. 37–40.

249. Комаров М. Ю. Сварное соединение оптических волокон. В кн.: Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова. — М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. — С. 322–338.
250. Optical fibre cables for telecommunications and data networks. Helcoma Finland. 1. Edition. — 1999. — 124 p.
251. Accesories for Fiber Optic Networks: Каталог фирмы RXS Kabelgarnituren GmbH. Edition 1. — 1999. — 144 p.
252. Pearson E. R. The complete guide to fiber optic cable system installation. — Pelmar Publishers, 1997. — 238 p.
253. Стирлинг Д. Д., Бакатер Л. Кабельные системы. 2-е изд. — Лори, 2003. — 316 с.
254. ISO/IEC TR 14763-3. Information technology — Implementation and operation of customer premises cabling. Part 3: Testing of optical fibre cabling. First edition 2000-07. — 9 p.
255. Punke T. Optische Messtechnik im LAN. Handbuch zur normkonformen Dämpfungsmessungen bei Glasfaserstrecken. II Aufgabe. A publication of Tyco Electronics. — 2004. — August. — 39 p.
256. Fibre (ISO/IEC) Field Test Specification: Фирменный материал компании Fluke. — Networks, 2005. — 3 p.
257. IEC 60793-1-40. Measurement methods and test procedures — Attenuation. International Standard. First edition 2001 — 07. — 57 p.
258. TIA-526-7. Measurement of Optical Power Loss of Installed Single-mode Fiber Cable Plant. OFSTP-7. February 2002. — 13 p.
259. TSB-140. Additional Guidelines for Field-Testing Length, Loss and Polarity of Optical Fiber Cabling Systems. TIA Telecommunications Systems Bulletin. — 2004. — February. — 17 p.
260. Pressluft für die Reinigung Glasfaseranschlüsse — DTX Cable Analyser, DSP-FTA, Omnifiber, Certifiber, SimpliFiber: Фирменный материал компании Fluke. № EVE-120 905-AY0813 German. — 1 p.
261. MT-RJ Field Test Procedure — For Test Equipment with Fixed Optical Port. Applications Engineering Note AEN 82 Revision 1: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 2002. — 31 December. — 8 p.
262. Field testing procedure of Optical Fibre Cabling. Technical Paper. Nexans Cabling Solutions. — 2004. — April. — Revision 2.0. — 30 p.
263. Семенов А. Б. Определение затухания в оптических кабелях и компонентах // LAN: журнал сетевых решений. — 2006. — Март. — № 3. — С. 58–66.
264. Anderson E. Optical Loss and Reference Measurement Methods: Фирменный материал компании Fluke Networks. — 5 p.
265. IEC 61280-4-1. Fibre-optic communication subsystem test procedures — Part 4-1: Cable plant and links — Multimode fibre-optic cable plant attenuation measurement. First edition 2003-09. — 37 p.

266. IEC 61280-4-2. Fibre-optic communication subsystem test procedures — Part 4-1: Cable plant and links — Singlemode fibre-optic cable plant attenuation measurement. First edition 1999-08. — 27 p.
267. prEN 50346:2001. Information Technology — Cabling installation — Testing of installed cabling. European standard. Draft. July 2001. — 29 p.
268. Андреева Е., Сергеев А. Методы тестирования оптического кабеля // Byte. — 2002. — № 3.
269. Measuring Attenuation. Application Note A10B: Фирменный материал компании Kingfisher International. — 2003. — 3 p.
270. Былина М. С., Глаголев С. Ф., Кочановский Л. Н., Пискунов В. В. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов: учеб. пособие / СПбГУТ. — СПб., 2002. — 132 с.
271. Why LED is the preferred light source for multimode fiber attenuation measurement? White Paper: Фирменный материал компании Agilent Technologies. — 2 p.
272. TIA-526-14-A Optical Power Loss Measurements of Installed Multimode Fiber Cable Plant. TIA Document OFSTP-14. — 1998. — August. — 17 p.
273. Improving Multimode Fiber Testing Accuracy with Mandrel Wrapping. — Applications Engineering Note AEN 68, Revision 2. 1 November 2002: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 3 p.
274. Robertson B., Crook B. Modal Distribution in Multimode Fiber. Kingfisher International Application Note A4: Фирменный материал компании Kingfisher. — 2003. — May. — 3 p.
275. Яковлев М. Я., Цуканов В. Н., Кузнецов В. А., Великов В. Н. Измерение характеристик компонентов ВОСП // Фотон-Экспресс. — 2004. — № 5. — С. 24–26.
276. Андреев В. А., Бурдин В. А., Баскаков В. С., Воронков А. А. Измерения на ВОЛС: учеб. пособие для вузов. — Самара: СРТТЦ ПГАТИ, 2004. — 164 с.
277. Янг М. Оптика и лазеры, включая волоконную оптику и оптические волноводы / пер. с англ. — М.: Мир, 2005. — 541 с.
278. Field Test Procedure for Measuring Optical Power Loss of MTP (Pinless) Links. Applications Engineering Note AEN 78 Revision 1: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 2002. 30 October. — 5 p.
279. Single Direction Attenuation. Using a Sourced & Meter. Application Note A10C: Фирменный материал компании Kingfisher International. — 2003. November. — 2 p.
280. Mode Conditioning Patch Cord Testing. Applications Engineering Note AEN 74 Revision 3: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 2002. — 17 October. — 5 p.
281. MT-RJ / Dual Fiber Field Test Procedure — For Test Equipment with Interchangeable Optical Meter Ports. Applications Engineering Note AEN 83 Revision 1: Фирменный материал компании Corning Cable Systems. — 2002. — 12 November. — 7 p.

282. Robertson B. Optical Detector Characteristics. Kingfisher International Application Note A9: Фирменный материал компании Kingfisher. — 2002. — November. — 9 p.
283. Семенов А. Б. Волоконно-оптическая техника в ЛВС и СКС. В кн.: Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы / под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова. — М.: Connect, 2000. — С. 351–369.
284. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / пер. с англ.; под ред. Н. Н. Слепова. — М.: Техносфера, 2003. — 448 с.
285. Тихомиров С. В., Кравцов В. Е. Измерение параметров ВОСП методами оптической рефлектометрии // Фотон-Экспресс. — 2004. — № 5. — С. 36–38.
286. Hornsteiner A. Durchleuchten von Glasfasern. Klein, kostengünstig und einfach. // De Special. — 2004. — № 21. — S. 26–28.
287. Семенов А. Б. Визуальный контроль качества оптических трактов СКС // LAN: журнал сетевых решений. — 2004. — Август. — Т. 10. — № 8. — С. 74–83.
288. Бакланов И. Г. Тестирование и диагностика систем связи. — М.: Эко-Трендз, 2001. — 266 с.
289. Testing Optical Fiber Links in Premises Networks: Фирменный материал компании Noyes. A Division of Alcoa Fujikura Ltd. — 2002. — November. — 46 p.
290. Full FTTO solution combines the best of fiber and copper installation. В сб.: Cabling Vision. Alcatel Cabling Systems. International Newsletters. — 1998. — September. — P. 72–75.
291. Коффи Д. Медиаконверторы помогают разворачивать оптические горизонтальные подсистемы СКС // Сети и системы связи. — 2002. — 17 октября. — № 11 (89). — С. 43–47.
292. Семенов А. Б. Инсталляционные устройства ЛВС с волоконно-оптическим интерфейсом для применения в технике СКС // LAN Magazin: Русское издание. — 2000. — № 8. — С. 25–30.
293. Willebrand H., Ghuman B. S. Optischer Richtfunk. Optisch Freiraumübertragung in öffentlichen und privaten Netzen. — Heiderberg: Huttig Verlag, 2003. — 172 s.
294. Чернобровцев А. Воздушный дебют DWDM // Computerworld Россия. — 1999. — 7 сентября. — № 33 (194). — С. 39.
295. Аллен Д. Второе пришествие беспроводной оптики // LAN Magazin. — 2001. — № 4. — С. 38–45.
296. Павлов Н. М. Что препятствует внедрению АОЛП? // Фотон-Экспресс. — 2005. — № 4 (44). — С. 45–48.
297. Семенов А. Б. Новинки техники СКС на выставке CeBIT 2003 // Вестник связи. — 2003. — № 5. — С. 62–71.
298. Семенов А. Б. Право на имя. Производители СКС и состав оборудования СКС // LAN: журнал сетевых решений. — 2002. — Март. — Т. 7. — № 3. — С. 69–79.
299. Specifying Fiber in the Horizontal: Фирменный материал компании OFS. — 4 p.

300. Семенов А. Б. Некоторые проблемы внедрения высокоскоростных СКС и пути их решения. В кн.: Современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации линейно-кабельных сооружений. Пятая все-российская конференция // Сборник трудов. — СПб., 2006. — С. 29–33.

301. IEEE Std 802.3ae-2002 (Amendment to IEEE Std 802.3-2002). IEEE Standards IEEE Standard for Information technology — Telecommunications and information exchange between systems — Local and metropolitan area networks — Specific requirements Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation The Institute of Electrical and Electronics Engineers. — 2002. — 30 August. — 529 p.

302. Семенов А. Б. Световоды для оптических кабелей СКС // LAN: журнал сетевых решений. — 2000. — № 3. — С. 81–87.

303. Портнов Э. Л. Оптические кабели связи: Конструкции и характеристики. — М.: Горячая линия — Телеком, 2002. — 232 с.

304. TIA/EIA-570-A Residential Telecommunications Cabling Standard (Revision of EIA/TIA-570). — 1999. — October. — 55 p.

305. Mohawk/CDT A Division of Cable Design Technologies. Master Catalog: Каталог фирмы Mohawk/CDT. — 2000. — 112 p.

306. Кабели, провода и материалы для кабельной индустрии: Технический справочник / сост. и ред. В. Ю. Кузнев, О. В. Крехова. — М.: Нефть и газ, 1999. — 304 с.

307. СНиП 3.05.07-85. Системы автоматизации. Строительные нормы и правила. — М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2000. — 49 с.

308. IEC TR 61282-2. Fibre optic communication system design guides — Part 2: Multimode and single-mode Gbit/s applications — Gigabit Ethernet model. Technical report. First edition 2003-03. — 27 p.

309. 10 Gigabit Ethernet. Technical Note: Фирменный материал компании Anritsu Corporation. — 2002. — 22 p.

310. Иоргачев Д. В., Бондаренко О. В. Волоконно-оптические кабели и линии связи. — М.: Эко-Трендз, 2002. — 282 с.

311. Иванцов И. Укладка кабеля: последний шаг // LAN: журнал сетевых решений. — 2001. — № 4.

312. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи: учеб. для вузов / В. А. Андреев, В. А. Бурдин, Б. В. Попов, А. И. Польников; под ред. Б. В. Попова. — М.: Радио и связь, 1996. — 200 с.

313. Волоконно-оптические системы передачи и кабели: справочник / И. И. Гроднев, А. Г. Мурадян, Р. М. Шарафутдинов и др. — М.: Радио и связь, 1993. — 264 с.

314. Конструкция, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи. Международный союз электросвязи. МСЭ-Т. Сектор стандартизации МСЭ. — Женева, 1994. — 161 с.

315. Семенов А. Б. Резервирование в СКС // Вестник связи. — 2004. — № 10. — С. 67–76.

316. Монтаж и измерение волоконно-оптических линий связи: пос. для измерителей и монтажников ВОЛС. — М.: ЗАО «Связьстройдеталь», 2001. — 24 с.

317. ГОСТ 21.603-80. Связь и сигнализация. Рабочие чертежи. Государственный комитет СССР по делам строительства. — Издательство стандартов. — 16 с.

318. Handling & Installation Guide: Фирменный материал компании Draka USA Cable. — 24 p.

319. ПОТ РО-45-009-2003. Правила по охране труда при работах на линейных сооружениях кабельных линий передачи. — СПб.: ДЕАН, 2004. — 176 с.

320. Миллиган Б. Приоритет — технике безопасности // Сети и системы связи. — 2005. — 14 декабря. — № 14 (134). — С. 90–92.

321. Бессалов И. Е. Безопасность при работе с оптическим кабелем // Lightwave Russian Edition. — 2005. — № 3. — С. 42–44.

322. Самарский П. А. Основы структурированных кабельных систем. — М.: Компания Айти; ДМК Пресс, 2005. — 216 с.

323. Никольский К. К. Прокладка оптических кабелей связи // Фотон-Экспресс. — 2005. — № 2. — С. 45–47.

324. Бейли Д., Райи Э. Волоконная оптика: теория и практика / пер с англ. — М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006. — 320 с.

325. Дмитриев С. А., Шастин Н. Г. Строительство и эксплуатация ВОЛС. В кн.: Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005. — С. 461–508.

326. Грязнов Ю. М., Дубровский Е. П., Караваева С. Ф. Электромонтер линейных сооружений телефонной связи и радиофикации: учеб. для СПТУ. — М.: Высшая школа, 1988. — 295 с.

327. Хейс Д., Розенберг П. Кабельные системы для телефонии, данных, TV и видео / пер с англ. — М.: Кулиц-образ, 2005. — 368 с.

328. ОСТН-600-93. Отраслевые строительные-технологические нормы на монтаж сооружений связи, радиовещания и телевидения. Министерство связи Российской Федерации (Минсвязи России). ССКТБ. Специализированное конструкторско-технологическое бюро строительной техники связи ТОМАСС. — 234 с.

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «АЛЬЯНС-КНИГА» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу: **123242, Москва, а/я 20** или по электронному адресу: **post@abook.ru**.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя. Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в Internet-магазине: **www.abook.ru**.

Андрей Борисович Семенов

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПОДСИСТЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ СКС

Руководитель проекта	<i>Логинова А. Ю.</i> aloginova@it.ru
Главный редактор	<i>Мовчан Д. А.</i>
Корректор	<i>Синяева Г. И.</i>
Верстка	<i>Страмоусова О. И.</i>
Дизайн обложки	<i>Мовчан А. Г.</i>

Подписано в печать 15.09.2006. Формат 70×100¹/₁₆.

Гарнитура «Литературная». Печать офсетная.

Усл. печ. л. 39,5. Тираж 5000 экз. № _____

Академия АйТи, 117218, Москва, ул. Кржижановского, д. 21а
Департамент учебно-методической литературы «АйТи-Пресс»
Электронные адреса: www.academy.it.ru; infobook@it.ru; itpress@it.ru

Издательство «ДМК-Пресс».
Web-сайт издательства: www.dmk-press.ru
Internet-магазин: www.abook.ru