

## Волоконно-оптические компоненты СКС

Линии волоконно-оптической связи используются в основном для организации магистральных подсистем СКС. Структурная схема линии связи, применяемой для создания подсистемы внешних магистралей, изображена на рис. 84. На схеме показаны основные элементы этой линии, которые подробно рассмотрены ниже.

### 4.1. Оптические кабели

#### 4.1.1. Области применения и классификация

Волоконно-оптические кабели, применяемые в СКС, предназначены для передачи оптических сигналов внутри зданий и между ними. На их основе могут быть реализованы все три подсистемы СКС, хотя в горизонтальной подсистеме волоконная оптика пока находит очень ограниченное применение для обеспечения функционирования ЛВС. В подсистеме внутренних магистралей оптические кабели применяются одинаково часто с кабелями из витых пар, а в подсистеме внешних магистралей оптические решения играют доминирующую роль. В зависимости от основной области применения волоконно-оптические кабели подразделяются на три основных вида:

- кабель внешней прокладки (outdoor cables);
- кабель внутренней прокладки (indoor cables);
- кабель для шнуров.

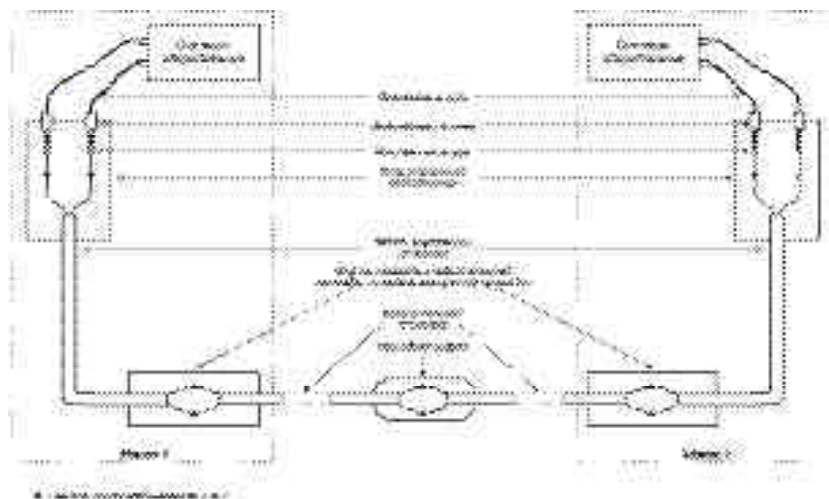


Рис. 84. Схема организации линии волоконно-оптической связи внешней магистральной подсистемы

Кабели внешней прокладки используются при создании подсистемы внешних магистралей и связывают между собой отдельные здания. Основной областью использования кабелей внутренней прокладки является организация внутренней магистрали здания, тогда как кабели для шнуров предназначены в основном для изготовления соединительных и коммутационных шнуров, а также для выполнения горизонтальной разводки при реализации проектов класса fiber to the desk — «волокно до рабочего места» и fiber to the room — «волокно до комнаты».

#### 4.1.2. Конструктивные особенности и оптические параметры оптических кабелей

Основой волоконно-оптического кабеля являются волоконные световоды из кварцевого стекла. Кварцевое стекло отличается весьма низкой механической прочностью и устойчивостью к внешним атмосферным воздействиям. Поэтому все остальные элементы конструкции оптических кабелей предназначены для обеспечения защиты волокон от внешних механических воздействий и влаги в тех условиях эксплуатации, на которые рассчитан оптический кабель.

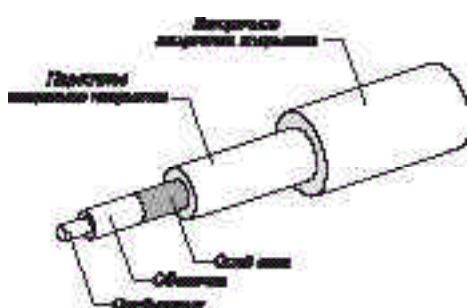


Рис. 85. Конструкция волоконного световода

Типовая конструкция волоконного световода показана на рис. 85. Световод имеет цилиндрическую форму и состоит из ряда концентричных слоев, основными из которых являются сердцевина и оболочка. Сердцевина одно-модовых световодов, согласно стандарту IEC-793 и рекомендации G.652 Международного союза электросвязи (ITU), имеет диаметр  $9,3 \pm 0,5$  мкм, некоторые изготовители волокон используют другие диаметры в пределах 7-10 мкм при тех же самых допусках. Диаметр сердцевины многомодовых световодов, со-

гласно IEC-793 и G.651, составляет 50 или 62,5 мкм при допустимом разбросе  $\pm 3$  мкм. В оптических кабелях СКС, согласно действующим нормативным документам, возможно использование волокон всех трех указанных выше типов. Отметим только, что многомодовое волокно типа 50/125 в международном стандарте ISO/IEC 11801 рассматривается как альтернативное (дополнительное), тогда как американский стандарт TIA/EIA-568-A в действующей редакции его применение не разрешает. По сравнению с волокнами 62,5/125 световод 50/125 имеет заметно лучшие частотные свойства, что является особенно важным в случае передачи сигналов аппаратуры Fibre Channel и Gigabit Ethernet. Поэтому популярность многомодовых оптических кабелей с волокнами этого типа значительно возросла в конце 90-х годов во всем мире, в том числе и в США.

Внешний диаметр оболочки у многомодовых и одномодовых световодов из соображений унификации выбран одинаковым и равным  $125 \pm 2$  мкм. На оболочку наносится слой лака толщиной 2-3 мкм, которая входит в номинальную толщину оболочки. Основным назначением этого покрытия является защита кварцевого стекла от воздействия атмосферной влаги и связанной с ней коррозии. Необходимую для работы гибкость волокна обеспечивает первичное защитное покрытие из эпоксиакрилата с внешним диаметром  $250 \pm 15$  мкм. Световод в таком покрытии считается недостаточно защищенным от механических воздействий, и поэтому его обязательно снабжают дополнительными упрочняющими элементами, которые рассмотрены в параграфе 4.1.3.

С целью облегчения идентификации волокон с обоих концов кабеля производители часто окрашивают внешнее защитное покрытие в различные цвета согласно табл. 35. Эта окраска не влияет на оптические характеристики световодов.

Оптический кабель может содержать только многомодовые, только одномодовые, или и те и другие волокна одновременно. Информация о комбинированных (композитных) кабелях достаточно редко приводится в явном виде в каталогах производителей, однако подобные кабели без каких-либо сложностей могут быть изготовлены на заказ. Данные по количеству одномодовых и многомодовых волокон в типовых композитных кабелях приводятся в табл. 55.

Многомодовые оптические кабели в некоторых случаях применяются при создании горизонтальной подсистемы СКС (обычно в рамках реализации проектов fiber to the desk). Основой подсистемы внутренних магистралей достаточно часто являются многомодовые кабели, однако в дополнение к ним могут быть использованы и одномодовые. В подсистеме внешних магистралей в зависимости от требуемого расстояния и полосы частот прокладываются кабели с многомодовыми или с одномодовыми волокнами.

**Таблица 53.** Предельно допустимые затухание и коэффициент широкополосности многомодовых оптических кабелей СКС

Длина волны, нм	850		1300	
	TIA/EIA-568-A	ISO/IEC 11801	TIA/EIA-568-A	ISO/IEC 11801
Коэффициент затухания, дБ/км	3,75	3,5	1,05	1,0
Коэффициент широкополосности, МГц×км	160	200	400	500

**Таблица 54.** Требование стандарта IEC-793 к многомодовым световодам

Длина волны, нм	850		1300	
	62,5/125	50/125	62,5/125	50/125
Коэффициент затухания, дБ/км	3,2	2,8	0,9	0,8
Коэффициент широкополосности, МГц×км	200	400	500	1000

В табл. 53 приводятся предельно допустимые значения затухания и коэффициента широкополосности многомодовых оптических кабелей, используемых в СКС. Анализ приведенных данных показывает, что международный стандарт предъявляет к оптическим кабелям СКС несколько более жесткие требования по сравнению с американским. Кроме стандартов на СКС требования к оптическим кабелям содержатся в других широко распространенных нормативных документах. Так, в частности, требования к многомодовым световодам, выдвигаемые стандартом IEC 793 (G.651), сведены вместе в табл. 54. Из соображений экономической целесообразности в СКС и сетях связи общего пользования применяется однотипная кабельная продукция. Поэтому сравнение табл. 53 и табл. 54 показывает, что на практике величины затуханий и коэффициента широкополосности будут иметь заметно лучшие значения по сравнению с требованиями стандартов СКС. Данное положение отражается также в фирменных спецификациях производителей этого вида продукции. Так, например, многомодовые кабели фирмы BICSS имеют гарантированный коэффициент широкополосности 900 МГц×км вместо требуемых стандартами СКС 500 МГц×км, кабели компании Mohawk обеспечивают затухание 0,8 дБ/км вместо 1 дБ/км и т.д. (все значения даны для длины волны 1300 нм и волокон типа 62,5/125).

**Таблица 55.** Число световодов композитных кабелей [51]

	Количество световодов	
	Общее	Одномодовые
18	6	12
24	6	18
24	12	12
30	6	24
36	12	24
60	12	48

Отметим, что сетевое оборудование, используемое для построения локальных и корпоративных сетей связи и работающее по многомодовому оптическому кабелю, одинаково часто использует окна прозрачности 850 и 1300 нм. Поэтому применяемые в СКС кабели имеют оптимизированные именно для этих длин волн характеристики затухания и полосы пропускания.

**Таблица 56.** Предельно допустимые затухание и дисперсия одномодовых оптических кабелей по TIA/EIA-568-A и IEC-793

Длина волны, нм	Затухание, дБ/км	Дисперсия, пс/нм×км
1310	≤1,0/0,5	≤3,5
1550	≤1,0/0,3	≤18

данных следует, что аналогично многомодовым кабелям реальные значения затухания оказываются существенно более низкими, тогда как нормативные значения максимально допустимой дисперсии были взяты разработчиками стандарта TIA/EIA-568-A из исходной спецификации без каких-либо изменений.

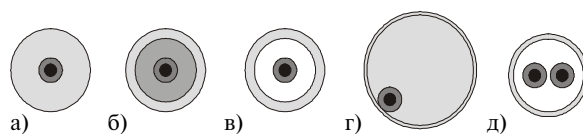
Стандарт TIA/EIA-568-A нормирует также длину волны нулевой дисперсии одномодовых оптических кабелей, которая должна находиться в интервале от 1300 до 1324 нм при крутизне характеристики дисперсии не выше 0,093 пс/км×нм<sup>2</sup>. Диаметр модового поля<sup>27</sup> должен составлять от 8,7 до 10 мкм.

#### 4.1.3. Вторичные защитные покрытия волоконных световодов

На кабельные заводы, изготавливающие оптические кабели для СКС, волокно всех трех основных видов поступает в первичном буферном покрытии с внешним диаметром 0,25 мм. Волокно в таком покрытии считается недостаточно защищенным от внешних механических воздействий, проявляющихся в процессе прокладки и эксплуатации. Поэтому его обязательно снабжают дополнительными трубчатыми защитными элементами, объединенными обобщающим понятием вторичных защитных покрытий.

В настоящее время при конструировании оптических кабелей применяется три основных вида вторичных защитных покрытий.

В магистральных кабелях внешней прокладки в массовом масштабе используются так называемые модули (рис. 86г). Модуль представляет собой трубку из пластика различной жесткости диаметром порядка 2-3 мм,



**Рис. 86.** Варианты конструктивного исполнения защитных покрытий волоконных световодов:  
а) вторичное буферное покрытие 0,9 мм;  
б) двухслойное защитное покрытие с внешним диаметром 0,9 мм; в) микромодульная конструкция;  
г) модульная конструкция; д) типа mini-breakout

в котором свободно уложены один или несколько световодов (максимум 12 в известных серийных образцах кабеля). В конструкции рассматриваемого вида отсутствует прямая механическая связь между волокном и защитным покры-

<sup>27</sup> В одномодовых волокнах заметная часть оптической энергии распространяется в слоях оболочки, непосредственно примыкающих к сердцевине. Поэтому для них более корректно указывать не диаметр сердцевины, а так называемый диаметр модового поля. 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.

тием, что обеспечивает очень малую чувствительность затухания к температурным колебаниям и растягивающим усилиям. Свободное внутреннее пространство трубок модуля заполняется гидрофобным гелем. Этот состав предназначен для защиты волокна от воздействия влаги в случае повреждения внешних оболочек, изготовлен с использованием нефтепродуктов и поэтому существенно снижает пожаростойкость кабельных изделий. Большие внешние габариты трубки модулей вынуждают использовать специальные меры по ее герметизации в оконечных и промежуточных муфтах и затрудняют установку вилок оптических разъемов.

В кабелях внутренней прокладки широко применяется вторичное буферное покрытие с внешним диаметром 0,9 мм (tight buffer), которое без зазора уложено на первичное защитное покрытие диаметром 0,25 мм (рис. 86а). Небольшой внешний диаметр в сочетании с высокой гибкостью и отсутствием внутреннего гидрофобного заполнителя обеспечивает простоту монтажа вилок разъемных оптических соединителей. Главным недостатком такого покрытия считается плохая защита волокна от воздействия влаги, ухудшение массогабаритных характеристик кабеля и некоторый рост затухания за счет потерь на микроизгибах, вызванных механической деформацией поверхности волокна внешним покрытием.

Стремление к объединению основных достоинств рассмотренных выше решений привело к появлению так называемых квазивторичных покрытий (semi tight buffer). В настоящее время известны две основные разновидности таких покрытий. Первая из них получила название микромодульной конструкции и представляет собой трубку с внешним диаметром 0,9 мм и со свободной внутренней укладкой одного световода (рис. 86в). Оставшееся свободным внутреннее пространство заполнено гидрофобным гелем. Во втором варианте вторичное покрытие изготавливается двухслойным, причем материалом второго внутреннего слоя служит мягкий силикон (рис. 86б). Как следует из вышеизложенного, оба этих решения обеспечивают достаточно эффективную механическую развязку внешнего слоя и поверхности волокна, что значительно уменьшает потери от микроизгибов. Еще одним следствием применения рассматриваемой структуры является определенное улучшение влагостойкости. Поэтому кабели, в которых используются такие световоды, могут применяться для соединения зданий на внешних трассах при их протяженности до нескольких сотен метров.

Общим недостатком вторичных буферных покрытий диаметром 0,9 мм являются их значительные внешние габариты, вызывающие заметный рост внешнего диаметра кабеля. Для устранения этого недостатка предложено решение типа mini-breakout, которое можно рассматривать как распространение модульного принципа на область кабелей для внутренней прокладки. Конструкция рассматриваемого типа реализована на основе тонкостенной трубки с внешним диаметром 0,9 мм, внутри которой без гелевого заполнения свободно уложено два световода в первичном защитном покрытии (рис. 86д). Применение этого решения наиболее целесообразно в случае установки некоторых типов разъемов с увеличенной плотностью монтажа (см. параграф 4.2.6) и позволяет, в частности, вдвое улучшить массогабаритные показатели кабеля для шнуров [52].

#### **4.1.4. Разновидности оптических кабелей СКС**

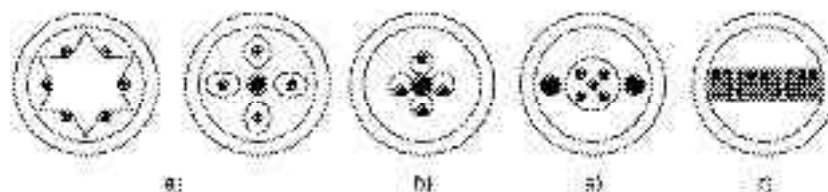
##### **4.1.4.1. Кабели внешней прокладки**

###### **4.1.4.1.1. Конструктивные особенности различных видов кабелей**

Кабели внешней, или наружной, прокладки используются для построения подсистемы внешних магистралей СКС. Основным требованием к их конструкции, наряду с малым затуханием и большой широкополосностью, является высокая

механическая прочность к растягивающим и сдвливающим усилиям, а также влагостойкость и широкий диапазон рабочих температур. Немаловажное значение имеют также хорошие массогабаритные показатели. Необходимый для практической эксплуатации уровень этих параметров может быть достигнут несколькими различными способами, каждому из которых отвечает своя каноническая конструкция кабелей.

В настоящее время известно большое количество конструкций оптических кабелей внешней прокладки, полную совокупность которых можно условно разделить на четыре группы, изображенные на рис. 87.



**Рис. 87.** Типовые конструкции сердечников оптических кабелей: а) с профилированным сердечником; б) модульная; в) с центральной трубкой; г) ленточная

Основой кабеля с профилированным сердечником (рис. 87а) является фигурный элемент, в пазах или внутренних полостях которого укладываются волоконные световоды. Данная конструкция была достаточно широко распространена в 80-х годах. Из-за ограниченной емкости (обычно не более 16 волокон) в настоящее время применяется сравнительно редко.

Кабели так называемой модульной конструкции (рис. 87б) имеют традиционную повивную скрутку<sup>28</sup>, причем каждый повив набирается из модулей диаметром около 2 мм (см. параграф 4.1.3). В модуле может размещаться от одного до 12 волокон. В процессе производства кабеля обеспечивается свободная укладка волокон в трубку модуля. Поэтому в обычном состоянии кабеля световоды слегка скручиваются по спирали, так что они располагаются вдоль внутренней поверхности трубки. Это обеспечивает возможность небольшого упругого растяжения и сгибания кабеля во время прокладки без каких-либо ухудшений его оптических характеристик. Основная масса кабелей рассматриваемой разновидности, предлагаемых в настоящее время на рынке, имеет одноповивную конструкцию. 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. Некоторые зарубежные фирмы называют рассматриваемую конструкцию *multitube cable*, в отечественной литературе употребляется буквальный эквивалент этого термина — «многотрубчатый кабель».

В качестве основы сердечника может быть использована также одна трубка большого диаметра, которая расположена по оси кабеля (рис. 87в). Такой вариант кабеля более удобен в разделке, за счет максимального удаления волокон от внешней поверхности оболочки обеспечивает наилучшую защиту от сдвливающих усилий, однако он несколько уступает традиционной многомодульной конструкции по рабочему диапазону температур и устойчивости к растяжению. Для

<sup>28</sup> Каждый слой проводников в многопарных телефонных кабелях называется повивом, поэтому кабели модульной конструкции в отечественной научно-технической литературе иногда по аналогии называются кабелями с повивной скруткой.

дополнительного улучшения условий защиты волокон финская фирма NK Cables (бывшая Nokia) применила в трубчатых элементах Spirale Space канал спиральной формы. В отечественной технической литературе эту разновидность кабелей иногда называют однотрубочной конструкцией.

Основная масса кабелей модульной конструкции в тех или иных вариантах практической реализации имеет емкость не более 144 волокон. В настоящее время они занимают доминирующее положение в общем объеме выпуска кабелей внешней прокладки. Это объясняется хорошей защитой волокон от механических и климатических воздействий, а также простотой и удобством разделки и монтажа.

Ленточные кабели (рис. 87г) за счет очень плотной компоновки обеспечивают преимущество над конструкциями других типов при большом (несколько сотен и более) количестве волокон и поэтому 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 рассматриваемой области пока не требуется, а из-за особенностей конструкции работа по установке разъемов и изготовлению неразъемных соединителей требует очень сложного и дорогого технологического оборудования и более высокой квалификации монтажников.

Кабели внешней прокладки подразделяются на:

- кабели, содержащие металлические упрочняющие элементы и/или электрические проводники;
- полностью диэлектрические кабели.

В сравнении с полностью диэлектрическими конструкциями кабели с металлическими упрочняющими элементами обладают большей механической прочностью к сдавливающим и растягивающим усилиям, их световоды не повреждаются грызунами и при равной разрывной прочности имеют несколько меньший внешний диаметр. Их главным недостатком считается то, что они не обеспечивают полную гальваническую развязку соединяемых пунктов.

#### **4.1.4.1.2. Упрочняющие покрытия и элементы**

Оптические кабели выдвигают к механической прочности более жесткие требования по сравнению с симметричными электрическими. Это связано с меньшей пластичностью стекла по сравнению с медью и алюминием, которое допускает относительное удлинение под действием растягивающих усилий не более 2-3% по сравнению с 5-6% для медного проводника. Необходимую механическую прочность кабелю придает применение в их конструкции упрочняющих стеклопластиковых и/или металлических элементов, которые воспринимают деформирующие усилия при прокладке и эксплуатации.

Работающие на растяжение упрочняющие элементы кабелей могут являться интегральной составной частью конструкции его сердечника и/или располагаться вне его в толще внешних оболочек. Наиболее часто в сердечнике используется центральный силовой элемент (стеклопластиковый пруток, стальной трос в полимерном шланге или обычная проволока), в кабелях модульной конструкции некоторые модули могут заменяться работающими на растяжение прутками (filler). Внешние по отношению к сердечнику силовые элементы представлены в основном кевларовыми оплетками, проволоками или стеклопластиковыми прутками в толще внешнего шланга (пример в схематическом виде изображен на рис. 87в) и броневыми покровами из стальной проволоки различного диаметра.

В случае применения стальной проволоки типовое максимальное растягивающее усилие составляет 10 000 Н (в конструкциях с двухслойной броней оно дос-

тигает 20 000 Н и более), при других видах брони — 2500-3500 Н. Последнее объясняется тем, что стальная проволока, в отличие от ленты и оплетки, хорошо работает на растяжение.

Броневые покровы кабеля придают ему дополнительную разрывную прочность и защищают его от сдавливающих усилий. В качестве брони могут быть использованы редкая или плотная металлическая оплетка, гофрированная стальная лента и круглая оцинкованная стальная проволока различного диаметра.

Броня из стальной ленты толщиной в несколько десятых миллиметра выполняется в двух разновидностях. Наиболее часто шов ленты располагается параллельно оси кабеля. В этом случае лента обязательно выполняется с небольшими гофрами, что позволяет добиться высокой гибкости кабеля. Броня на основе обмотки стальной лентой (оси ленты и кабельного сердечника располагаются в этом случае под определенным углом) используется значительно реже. В этом случае поверхность ленты выполняется гладкой, что несколько уменьшает внешний диаметр кабеля. В современных конструкциях на ленту часто наносится полимерное покрытие для предотвращения коррозии.

Броня из стальной проволоки различного диаметра применяется при работе в тяжелых условиях и возможности воздействия значительных растягивающих усилий. При необходимости на кабель накладывается два слоя проволоки, причем оси проволок образуют небольшой угол с осью кабеля, а направления намотки слоев выбираются различными. Броня в виде плотной оплетки из проволоки диаметром в несколько десятых долей миллиметра выгодно отличается от стальной гофрированной ленты меньшей высотой и большей гибкостью, однако имеет очень ограниченное распространение из-за малой производительности моточных станков для ее изготовления.

Главные броневые покровы часто дополняются оплетками из стеклопластиковых нитей, ленточная броня иногда усиливается двумя или четырьмя стальными проволоками в толще шланга внешней оболочки (конструкция, применяемая, например, Lucent Technologies и Siemens). Последнее решение придает кабелю стойкость к растягивающим усилиям, близкую к стойкости кабеля с обычной проволочной броней, однако при этом происходит незначительное увеличение массы и внешнего диаметра.

Отметим, что по классификации некоторых производителей кабельной продукции (в частности, Siemens) броневыми покрывами считаются только слои из круглой стальной проволоки. Остальные усиливающие компоненты относятся к элементам защиты от грызунов.

**Таблица 57.** Типовые механические и эксплуатационные характеристики современных кабелей внешней прокладки

Параметр	Значение
Число волокон	4 - 144
Внешний диаметр кабеля, мм	10 - 20
Рабочий температурный диапазон • монтаж; • эксплуатация <sup>29</sup> :	-10...+50°C -40...+60°C
Минимальный радиус изгиба • прокладка • эксплуатация:	20 внешних диаметров 15 внешних диаметров
Максимально допустимое усилие на растяжение во время монтажа	2500 - 10000 Н
Максимально допустимое усилие на сдавливание, Н/см	2000-4000

<sup>29</sup> Существуют специальные морозостойкие кабели, нижняя рабочая температура которых достигает -60°C.

Функции элементов защиты от раздавливающих усилий выполняют в основном различные покровы и оболочки, которые обеспечивают защиту от усилия 1000 Н и более, приложенного к 1 см длины кабеля [53].

Типовые механические характеристики современных серийных кабелей внешней прокладки приводятся в табл. 57.



#### **4.1.4.1.3. Элементы обеспечения влагостойкости**

Влагостойкость кабеля определяется наличием в его конструкции элементов, обеспечивающих его продольную и поперечную герметизацию.

Основным средством обеспечения продольной герметизации является гидрофобный гель, который заполняет пустоты кабельного сердечника и свободное от световодов пространство внутри модулей. Материал гидрофобного геля выбирается таким образом, чтобы:

- не терять водоотталкивающих свойств во всем рабочем диапазоне температур кабеля;
- не затвердевать при низких температурах;
- иметь такую вязкость, чтобы, с одной стороны, не препятствовать перемещению световодов внутри трубки модуля и в то же самое время не вытекать из нее в процессе разделки и эксплуатации кабеля;
- быть химически нейтральным и нетоксичным.

В последнее время в Западной Европе большую популярность начинает приобретать прокладка кабеля внутри труб различных городских служб, в том числе в водопроводных трубах. В кабелях, ориентированных на такие приложения, на гидрофобный гель дополнительно накладывается требование абсолютной нейтральности к питьевой воде.

Наиболее часто в качестве гидрофобного геля используются компаунды на основе высокомолекулярных соединений углеводородов. Как правило, свободное пространство внутри модуля и прочие пустоты кабельного сердечника заполняются одинаковым гелем. Известны также конструкции, в которых для этого применяется гель разного состава.

Поперечная герметизация кабеля задается наружными оболочками. В качестве материала наружной оболочки наиболее часто используются различные модификации полиэтиленов. При этом для обеспечения высокой стойкости к воздействию ультрафиолетового излучения оболочка имеет черный цвет. В некоторых кабелях фирмы Lucent Technologies дополнительно применяется слой целлюлозной бумаги, которая при попадании на нее влаги разбухает и герметизирует небольшие проколы оболочки, а в кабелях компании АВВ использована тонкая алюминиевая оболочка. Поперечную герметизацию кабеля увеличивают также некоторые типы броневых покровов. Наибольшую эффективность из них в этом смысле имеет броня из стальной гофрированной ленты при условии дополнительной проклейки продольного шва влагостойким клеем или его сварки.

#### **4.1.4.1.4. Дополнительные элементы конструкции кабелей внешней прокладки**

Кроме рассмотренных выше основных элементов в конструкции кабелей внешней прокладки более или менее широко используется ряд дополнительных компонентов, улучшающих те или иные его свойства, а также облегчающих работу с ними.

Для облегчения разделки кабелей под каждую внешнюю оболочку закладывается прочная разрывная нить (rip-cord), которая при вытягивании делает на оболочке продольный разрез, открывая доступ к элементам кабельного сердечника. В некоторых кабелях такая нить используется также для вскрытия клеевого шва броневых покровов из стальной гофрированной ленты.

Одной из проблем, возникающих в процессе эксплуатации оптических кабелей, является обеспечение их защиты от грызунов. Известен ряд способов решения данной задачи вплоть до добавления ядовитых и отпугивающих компонентов в материал внешней оболочки. Наиболее эффективным и в то же время недорогим средством решения данной проблемы является использование бронированных ка-

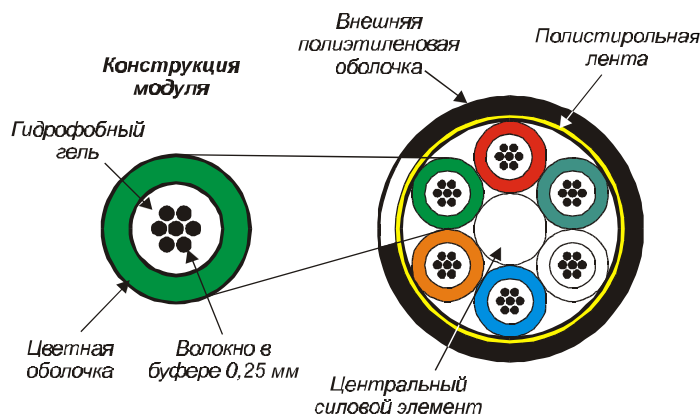


Рис. 88. Пример конструкции кабеля внешней прокладки

белей. При необходимости обеспечения гальванической развязки используются неметаллические элементы. В этой области известны решения на основе как оплеток из стеклопластиковых нитей, так и монолитных трубок, причем данные элементы располагаются непосредственно под шлангом внешней оболочки.

#### 4.1.4.2. Кабели внутренней прокладки

Волоконно-оптические кабели внутренней или внутриобъектовой прокладки (indoor cables) используются для построения горизонтальной подсистемы и подсистемы внутренних магистралей СКС. От кабелей внешней прокладки они отличаются по двум основным параметрам:

- меньшим внешним диаметром и массой в сочетании с более высокой гибкостью за счет отсутствия гидрофобного заполнителя и применения облегченных упрочняющих покрытий без броневых покрытий;
- лучшими характеристиками по пожарной безопасности.

Так же как и кабели на основе витых пар, волоконно-оптические кабели внутренней прокладки, применяемые в СКС, должны соответствовать требованиям пожарной безопасности. Свойства кабеля по пожарной безопасности определяются материалом диэлектриков, используемых в его конструкции (главным образом материалом внешней оболочки). Производители в своих каталогах обычно подразделяют кабели внутренней прокладки на Plenum и Riser. Более подробно аспекты пожарной безопасности СКС рассмотрены в главе 6.

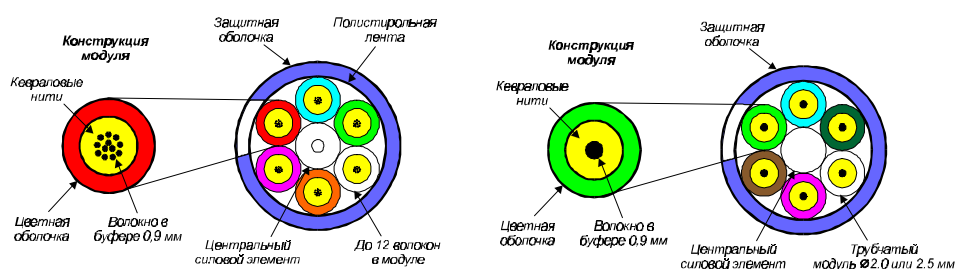
Световоды кабелей рассматриваемой группы обязательно снабжаются вторичным защитным полимерным покрытием диаметром 900 мкм, которое без зазора уложено на первичное покрытие диаметром 250 мкм. Волокно в таком покрытии допускает непосредственную установку вилки оптического разъема без применения каких-либо дополнительных элементов. Удобство монтажа разъема достигается ценой некоторого увеличения коэффициента затухания по сравнению с кабелями внешней прокладки. Это, однако, не имеет существенного значения, так как согласно стандартам длина кабеля подсистемы внутренних магистралей не превышает 500 м.

Для защиты кабельного сердечника от механических воздействий в кабелях внутренней прокладки используется слой кевларовых нитей, который расположен непосредственно под шлангом внешней оболочки. В отличие от кабелей внешней прокладки применяется свободная укладка этих нитей без сплетения в оплетку.

Кабели внутренней прокладки известны в двух основных конструктивных разновидностях. Изделия первой группы называются распределительными кабелями (distribution) и содержат световоды в буферном покрытии 0,9 мм, которые вместе с кевларовыми упрочняющими нитями помещены в общую защитную оболочку. Их разделка осуществляется в коммутационных устройствах (см. раздел 4.3). В так

называемых breakout-кабелях каждый световод дополнительно помещен в защитный шланг внешним диаметром 2-3 мм. Такие конструкции обладают большим внешним диаметром и механической прочностью, что определяется как наличием 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 4.4.2) и, как это следует из названия (breakout по-английски означает «место отвода из многожильного кабеля»), служат для выполнения отводов отдельных световодов без использования разветвительных муфт. Не исключается, хотя и редко применяется на практике возможность изготовления многоволоконных соединительных шнуров.

Пример конструкции кабелей внутренней прокладки показан на рис. 89, а в табл. 58 приводятся типовые механические характеристики современных серийных изделий этого типа.



**Рис. 89.** Кабели внутриобъектовой прокладки фирмы Mohawk. Слева — distribution, справа — breakout

Типовое максимальное значение емкости кабелей внутренней прокладки не превышает 12 волокон. В случае необходимости увеличения емкости применяют конструкцию, аналогичную кабелям внешней прокладки модульной конструкции: вокруг центрального элемента, который выполняет функции силовой основы, укладывается несколько (в большинстве случаев шесть, реже двенадцать) обычных кабелей. После этого полученный сердечник закрывается общей внешней защитной оболочкой. Такой прием позволяет увеличить емкость до 144 волокон. При необходимости получения в рассматриваемой конструкции меньшей емкости некоторые из таких «модулей» заменяются упрочняющими прутками и/или заполнителями. Кабели подобной конструкции обычно изготавливаются на заказ.

Наличие дополнительных оболочек световода в сочетании с меньшей плотностью укладки влечет за собой довольно значительное увеличение габаритов сердечника кабеля внутренней прокладки. Особенно ярко это проявляется в конструкциях типа breakout. В целом из-за отсутствия брони и применения облегченных упрочняющих покрытий внешний диаметр кабелей рассматриваемой группы, а особенно их масса оказываются заметно меньшими по сравнению с кабелями внешней прокладки такой же емкости.

**Таблица 58.** Типовые механические характеристики современных кабелей внутренней прокладки

Параметр	Значение
Число волокон	2 - 36
Внешний диаметр кабеля, мм	5 - 15
Рабочий температурный диапазон	
• прокладка:	0...+30°C
• эксплуатация:	-20...+70°C
Минимальный радиус изгиба	
• прокладка:	15 внешних диаметров
• эксплуатация:	10 внешних диаметров
Максимально допустимое усилие на растяжение во время монтажа, Н	400 - 3000
Максимально допустимое усилие на сдвливание, Н/см	1500 - 2000

Рабочая температура кабелей внутренней прокладки составляет обычно от  $-20$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ . В конце 90-х годов появился ряд конструкций, которые нормально функционируют при температурах от  $-40$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ . Такие изделия, кроме использования внутри здания, можно применять для организации внешних магистралей небольшой протяженности при условии обеспечения защиты от попадания влаги (обычно это достигается за счет применения прокладки внутри трубки). Для решения аналогичных задач могут использоваться также кабели с двухслойной внешней оболочкой. Внешний слой изготавливается из малодымного безгалогенного материала, вторая внутренняя оболочка создает необходимую влагостойкость. Некоторое улучшение прочностных характеристик достигается в данной конструкции за счет применения второго слоя кевларовых нитей, размещаемого между оболочками. Такие кабели иногда называют кабелями с усиленной оболочкой, или просто усиленными (reinforced).

#### 4.1.4.3. Кабели для шнуров

Кабель для шнуров, который достаточно часто называется мини-кабелем, предназначен для изготовления из него коммутационных и оконечных шнуров. Его можно использовать для реализации горизонтальной проводки при реализации проектов fiber to the desk и fiber to the room. В некоторых случаях кабелем этого типа выполняется локальная разводка в помещениях аппаратных и кроссовых.

Эта разновидность кабельных изделий фактически представляет собой кабель внутренней прокладки с одним или двумя световодами в буферном покрытии диаметром 0,9 мм. Однако из-за массовости применения кабели для шнуров выделяются в отдельную группу.

Сразу же отметим, что в кабелях для шнуров, как, впрочем, и в кабелях внутренней прокладки, практически не используется волокно в буферном покрытии диаметром 0,25 мм. Примерно до середины 1996 года на российском рынке достаточно часто встречались шнуры из кабеля типа ОКГ производства московского завода «Электропровод», в которых было использовано такое решение, однако из-за сложностей установки вилок оптических разъемов выпуск данной продукции в настоящее время прекращен.

Конструкции кабелей для шнуров показаны на рис. 90. Кабели первого поколения делились на одинарные (рис. 95а) и двойные. Последние изготавливаются без дополнительной общей оболочки (рис. 90б) или с общей оболочкой различной формы и толщины (рис. 90в-д). Обычные двойные кабели без оболочки наиболее часто называются zip-cord или zip-cord-duplex, кабели с общей внешней оболочкой носят название heavy duty duplex. Немецкая фирма Kerpen обозначает двойные кабели без оболочки, которые применяются в кабельной системе FLine, как duplex figure 8, а с оболочкой — duplex figure 0. Корпорация Alcatel для обозначения конструкции последнего типа применяет термин «овальный кабель» (dual fibre oval cable).

Кабели 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 волокон

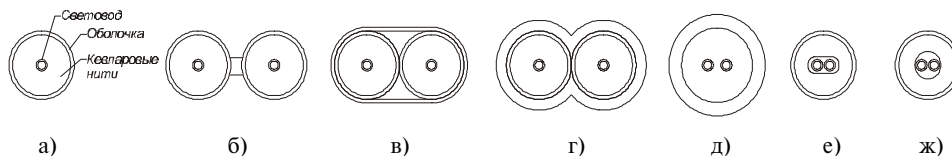


Рис. 90. Конструкции кабелей для шнуров:

- а) одинарный (simplex); б) двойной типа zip-cord (zipcord duplex); в) двойной типа dual subunit duplex или heavy duty duplex; г) кабель Duplex+ швейцарской фирмы Brugg; д) round duplex; е) с двойной лентой; ж) типа mini-breaout

(рис. 90в, конструкции типа M9X080 и M9X081 фирмы Mohawk, тип 1861 компании Lucent Technologies). Во втором варианте оболочка имеет большую толщину и частично входит в зазор между шлангами (кабель Duplex+ швейцарской компании Brugg, рис. 90г). Общей отличительной чертой кабелей рассматриваемой группы является то, что они фактически состоят из двух simplex-кабелей, шланги которых не имеют специальных элементов крепления друг к другу и фиксируются только общей оболочкой. Считается, что кабели с общей оболочкой обеспечивают лучшую защиту от механических воздействий и более удобны в эксплуатации, однако конструкции типа zip-cord имеют несколько меньшую цену, что определяет их широкую популярность в практике построения СКС.

Так же как в кабелях внутренней прокладки, в кабеле для шнуров для защиты волоконных световодов используется полимерное покрытие диаметром 900 мкм. Необходимую механическую прочность таким кабелям придает слой кевларовых нитей, расположенный под внешней оболочкой и окружающий световод в буферном покрытии 0,9 мм.

Иногда на рынке встречаются изделия, ориентированные в первую очередь на конкретные применения. В качестве примера укажем двойные кабели типа DX серии Ultra-Fox американской компании Optical Cable Corporation с гибкой поливинилхлоридной оболочкой. Внешние габариты этого изделия оптимизированы для установки вилок оптических разъемов МПС.

На рис. 90е и 90ж изображены две конструкции, популярность которых в технике СКС в последнее время быстро растет. Их отличительной чертой является наличие общей защитной оболочки стандартного для одинарного кабеля диаметра 2,5-3 мм, под которой находятся два световода. При этом волокна могут быть объединены в ленту (рис. 90е) или же уложены в тонкостенную трубку диаметром 0,9 мм (рис. 90ж, конструкция типа mini-breakout). В последнем случае, естественно, световоды имеют только первичное защитное покрытие с внешним диаметром 0,25 мм. Такие кабели предназначены в первую очередь для изготовления соединительных шнуров на основе разъемов с увеличенной плотностью установки (см. далее параграф 4.2.6).

Типовые механические характеристики современных кабелей для шнуров приводятся в табл. 59.

Важной особенностью волоконно-оптических кабелей для шнуров, существенно отличающих их от электрических симметричных кабелей аналогичного назначения, является то, что, несмотря на повышенную гибкость, их основные передаточные параметры (затухание и коэффициент широкополосности) полностью эквивалентны передаточным параметрам магистральных кабелей. Это позволяет в существенно более широких

**Таблица 59.** Типовые механические характеристики кабелей для шнуров

Параметр	Значение
Число волокон	1-2
Диаметр защитного полимерного покрытия волокна, мкм	900
Внешний диаметр защитной оболочки каждого волокна, мм	2,5-3,0
Рабочий температурный диапазон, °C	
• прокладка	0...+30
• эксплуатация	-20...+70
Минимальный радиус изгиба, внешних диаметров	
• прокладка:	15
• эксплуатация:	10
Максимально допустимое усилие на растяжение во время прокладки, Н	для одинарных: 350 для двойных: 700
Максимально допустимое усилие на сдавливание, Н/см	200

пределах варьировать длины соединительных и коммутационных шнуров, в том числе увеличивать их длину свыше 30 м за счет соответствующего уменьшения длин магистральных кабелей.

#### 4.1.5. Цветовая кодировка и маркировка оптических кабелей

Цветовая маркировка оптических кабельных изделий строится, как правило, по тем же принципам, что и маркировка электрических кабелей. В основные маркирующие цвета окрашиваются внешние покрытия отдельных световодов, трубки модулей и элементы группировки волокон в пучки (ленточки и нити). При этом имеются следующие особенности:

- маркирующие цвета не делятся на цвета для обозначения отдельных волокон и их групп;
- практически не применяются элементы, облегчающие парную группировку волокон. Известны лишь единичные образцы кабелей, в которых два световода имеют одинаковый цвет внешнего покрытия, причем на втором волокне пары через 20-30 мм ставится кольцевая метка. Формально данная метка означает принадлежность волокна к следующей группе, но на практике в случае ее наличия волокна одного цвета подключаются к одной паре розеток;
- в оптических кабелях импортного производства существенно чаще по сравнению с электрическими кабелями используется цветовая кодировка, отличная от приведенной в табл. 35 (примеры см. в табл. 60).

**Таблица 60.** Цветовая кодировка волокон и модулей европейских производителей оптических кабелей

Фирма-изготовитель	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brugg, Швейцария*	Красный	Зеленый	Желтый	Синий	Белый	Фиолетовый	Оранжевый	Черный	Серый	Коричневый	Розовый	Бирюзовый
ABB, Норвегия	Черный	Коричневый	Красный	Оранжевый	Желтый	Зеленый	Синий	Фиолетовый	Серый	Белый	-	-
Siemens, Германия**	Красный	Зеленый	Синий	Желтый	Бесцветный	-	-	-	-	-	-	-
Helkama, Финляндия	Синий	Белый	Желтый	Зеленый	Серый	Красный	-	-	-	-	-	-

Примечания:

\*Этот же принцип цветовой кодировки принят в швейцарском стандарте РТТ СН 840.05.02.

\*\* Этот же принцип цветовой кодировки принят в стандартах DIN 47002 и IEC-304.

Кроме обычной цветовой кодировки трубок модулей кабелей внешней прокладки в Российской Федерации и некоторых европейских странах достаточно широко используется ее разновидность, которую можно назвать ключевой схемой кодирования. Принцип такого кодирования состоит в том, что в каждом пучке имеется всего два окрашенных модуля разных цветов, которые могут располагаться необязательно рядом друг с другом. Модуль одного из цветов, например красному, присваивается первый номер (ключевой модуль), далее модули нумеруются в порядке возрастания от первого цветного в сторону второго.

В немецкоязычных странах тип кабеля задается по 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 кабелях фирмы Siemens используются две белых, красная и зеленая нити, тогда как в кабелях компании Siccog (Siemens и Coming) — две красных, зеленая и черная нитки [54].

Применение цветовой маркировки наружных оболочек кабелей внутренней прокладки и кабелей для шнуров не нормируется действующими редакциями стандартов СКС. На практике она отличается большим разнообразием и опреде-

ляется в основном внутрифирменными стандартами производителя. Отметим только достаточно широкое использование оранжевой окраски оболочек, изготовленных из негорючих малодымных материалов (аналогично электрическим кабелям), и практически повсеместную окраску в желтый цвет оболочек одномодовых кабелей для шнуров.

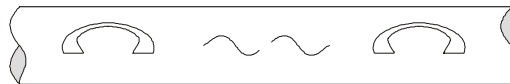


Рис. 91. Маркировка оптических кабелей внешней прокладки по DIN 0888

Производители кабельной продукции придерживаются индивидуальной системы маркировки оптических кабелей, основанной на рекомендации МЭК-794-1. Обычно марка представляет собой буквенно-цифровой индекс, в котором с большей или меньшей степенью детализации зашифрованы основные сведения о конструкции и назначении кабеля, а также о его оптических характеристиках. К индексу, который наносится на внешнюю оболочку, обязательно добавляются футовые или метровые метки длины. Маркировка оптических кабелей внешней прокладки выполняется краской или термическим способом. Последний вариант обеспечивает большую износостойкость и лучше сохраняется после протяжки, например, в кабельной канализации. Из дополнительных маркирующих элементов, иногда наносимых на внешнюю оболочку, отметим знак волны или двойной синусоиды (оптический кабель) и телефонной трубки (кабель связи) (рис. 91).

## 4.2. Оптические разъемы

Одной из основных проблем, которую приходится решать при создании любой линии оптической связи, является необходимость сращивания волоконных световодов друг с другом. В общем случае данная задача может быть решена двумя принципиально различными способами: с помощью разъемных и с помощью неразъемных оптических соединителей (рис. 92). Неразъемные соединители, которые иногда называются сростками, широко применяются при создании линий связи большой протяженности (например, сетей связи общего пользования масштаба города и более). Специфика построения оптических трактов СКС, связанная с их небольшой протяженностью, приводит к тому, что на них для сращивания световодов используются в основном разъемные соединители, или просто разъемы, которые подробно рассматриваются ниже.

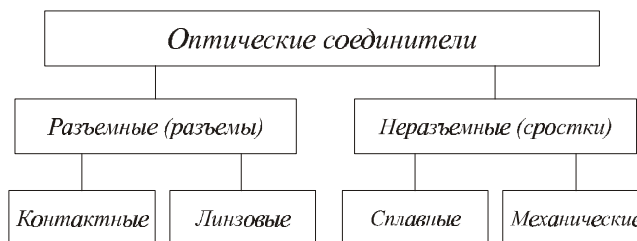


Рис. 92. Основные разновидности оптических соединителей

### 4.2.1. Назначение и основные требования к оптическим разъемам

Оптические разъемы, которые иногда называются разъемными соединителями, предназначены для обеспечения разъемного подключения соединительных и оконечных шнуров к коммутационному оборудованию в кроссовых, информационных розетках рабочих мест и к сетевому оборудованию.

В перечень основных функций оптического разъема входит:

- обеспечение ввода волокна в точку сращивания с заданным радиусом изгиба;
- защита волокна от внешних механических и климатических воздействий;
- фиксация волокна в центрирующей системе.

Основные технические требования, которым должны отвечать изделия, рассматриваемые в этом разделе, заключаются в следующем:

- внесение минимального затухания в сочетании с получением высокого затухания обратного рассеяния;
- обеспечение долговременной стабильности и воспроизводимости параметров;
- минимальные габариты и масса при высокой механической прочности;
- простота установки на кабель;
- простота процесса подключения и отключения.

Требования стандартов к оптическим разъемам содержатся в обоих основных нормативных документах (TIA/EIA-568-A и ISO/IEC-11801). Стандарты нормируют только самые общие положения и задают:

- тип разъемов, допустимых для применения в оптических подсистемах СКС;
- основные передаточные параметры разъемов различных типов;
- требования к долговечности разъемов;
- правила подключения оптических разъемов.

Требования стандартов к предельным значениям затухания, потерь на отражение и долговечности оптических разъемов СКС приведены в табл. 61.

**Таблица 61.** Основные характеристики оптических разъемов СКС по ISO/IEC 11801

Параметр	Многомодовые	Одномодовые
Затухание, дБ	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Коэффициент обратного отражения, дБ	$\leq -20$	$\leq -26$
Количество циклов соединения-разъединения	500	500

В СКС согласно действующим редакциям стандартов можно использовать оптические разъемы только двух типов — SC и ST. Во всех вновь создаваемых СКС должны применяться только разъемы типа SC. В существующих СКС с разъемами типа ST их можно использо-

вать и далее, при расширении таких СКС также можно применять ST-разъемы. Для подключения к СКС сетевого оборудования с разъемами других типов можно использовать оконечные шнуры, с одной стороны которых установлены вилки разъема SC, а с другой — вилки разъема иного типа. Не исключается также применение адаптеров (переходников) с разъемов SC на разъемы другого типа, которые рассмотрены далее в разделе 4.5.

Разъем должен снабжаться символьной маркировкой в виде букв А и В. Вилку с маркировкой А всегда необходимо подключать к розетке с такой же маркировкой и наоборот. Двойная вилка SC-разъема по стандарту должна иметь разную маркировку своих половин, причем, если смотреть на нее со стороны наконечников, так чтобы ключи были сверху, то левая вилка всегда маркирована буквой А, а правая — буквой В. Маркировка проходной розетки имеет одну особенность. По разным своим сторонам она имеет различную маркировку (рис. 95). Смысл маркировки вилок и розеток разъема SC заключается в том, что она позволяет определить направление «движения» оптического сигнала. Вилка с маркировкой А всегда является источником, а розетка с такой же маркировкой приемником, и наоборот. Аналогично на сетевом оборудовании розетка с маркировкой А является входом оптического приемника, а с маркировкой В — выходом оптического передатчика.

В настоящее время большинство разъемов рассчитаны на соединение двух световодов. Существуют конструкции, получившие название групповых (или



многоканальных) разъемов, которые обеспечивают одновременное сращивание двух или более пар волоконных световодов. При этом доля таких конструкций в общем объеме растет очень быстрыми темпами. Для применения в специальных условиях эксплуатации (повышенная влажность, пары агрессивных материалов и т.д.) используются герметичные разъемы. На практике находят использование также конструкции так называемых гибридных разъемов, которые позволяют одновременно сращивать как световоды, так и электрические проводники.

Известны линзовые и контактные варианты исполнения оптических разъемов. Разъемы линзового типа (рис. 93) были широко распространены на ранних этапах развития техники оптической связи и предполагают использование линз или их аналогов. С помощью данного элемента свет, выходящий из передающего световода, сначала преобразуется в параллельный пучок большого диаметра, а затем фокусируется вторым элементом на сердцевину принимающего волокна. Основным преимуществом данного решения является меньшая чувствительность к осевым и боковым смещениям сращиваемых волокон.

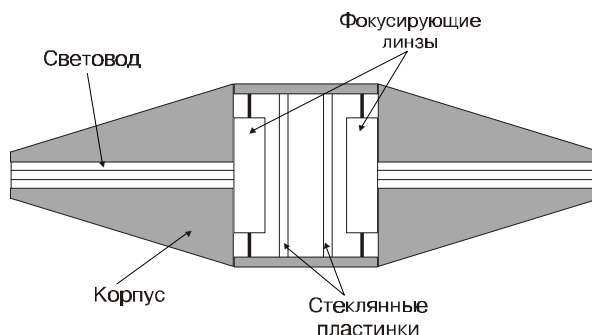


Рис. 93. Оптический разъем линзового типа

Разъемы контактного типа (рис. 94) предполагают соединение световодов встык,

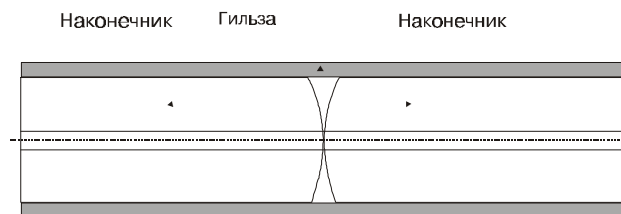


Рис. 94. Оптический разъем контактного типа

причем дополнительно контролируется параллельность их осей друг другу и минимально возможное расстояние между торцами. За счет такой конструкции соединители контактного типа позволяют получить существенно лучшие массогабаритные показатели и принци-

пиально меньшее затухание сигнала (отсутствуют потери в линзах и на френелевское отражение). По этой причине подавляющее большинство современных конструкций разъемов реализует контактную схему соединения.

Основой большинства конструкций разъемов контактного типа является штеккерный наконечник. Этот наконечник вставляется в юстирующий элемент в виде втулки, а сам разъем содержит два основных компонента: вилку и розетку.

Основная масса разъемов, выпускаемых промышленностью серийно, реализована по так называемой симметричной схеме. Под этим понимается то, что оба сращиваемых световода армируются одинаковыми вилками, которые затем с двух сторон вставляются в соединительную розетку, снабженную специальным центратором. Существует также достаточно немногочисленная группа оптических разъемов, которые содержат всего два элемента: вилку и розетку. Такие соединители получили название несимметричных.

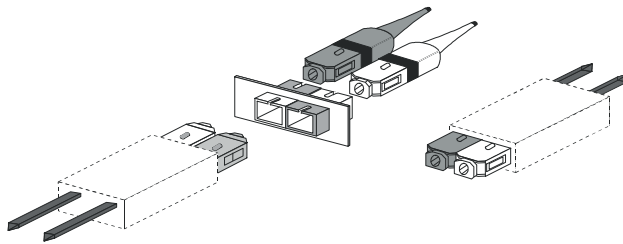


Рис. 95. Схема подключения оптического разъема

Для фиксации вилки, установленной в розетку, может использоваться байонетный элемент (так называемый разъем типа ST), защелка, причем данный элемент может быть выполнен как внутренним (разъем типа SC), так и внешним рычажного типа (разъемы LC, E-2000), а также многогранная или круглая с накатанной поверхностью накидная гайка (разъемы типов FC и SMA). Аналогичным образом производится подключение к оптическому кабелю оконечного активного оборудования, интерфейс которого снабжается ответной частью розетки оптического разъема.

Разъемы изготавливаются как в многомодовом, так и в одномодовом варианте, причем последний конструктивно оформляется аналогично многомодовому разъему и отличается в основном более жесткими допусками на геометрические размеры наконечника вилки и центрирующих элементов розетки, позволяющими удерживать потери при сращивании одномодовых световодов в приемлемых пределах. Так, например, стандартный диаметр отверстия наконечника вилки для армирования одномодовых световодов составляет  $126 \pm 1 / -0$  мкм, тогда как в наконечниках вилок для многомодовых волокон значение этого параметра составляет  $127 \pm 2 / -0$  мкм.

Разъемы изготавливаются как в многомодовом, так и в одномодовом варианте, причем последний конструктивно оформляется аналогично многомодовому разъему и отличается в основном более жесткими допусками на геометрические размеры наконечника вилки и центрирующих элементов розетки, позволяющими удерживать потери при сращивании одномодовых световодов в приемлемых пределах. Так, например, стандартный диаметр отверстия наконечника вилки для армирования одномодовых световодов составляет  $126 \pm 1 / -0$  мкм, тогда как в наконечниках вилок для многомодовых волокон значение этого параметра составляет  $127 \pm 2 / -0$  мкм.

Таблица 62. Основные параметры оптических разъемов

Тип разъема	Материал наконечника	Фиксатор	Среднее затухание, дБ, на длине волны 1300 нм	
			многомодовый	одномодовый
FC	керамика	накидная гайка	0,2	0,3
MIC	керамика	защелка	0,3	0,4
SC	керамика	защелка	0,2	0,25
SMA	сталь	накидная гайка	1,0	-
ST	керамика	байонетный	0,25	0,3
E-2000	мельхиор	защелка	0,2	0,25

Многие многомодовые разъемы имеют вилки нескольких разновидностей, рассчитанных на установку на волокно с различным диаметром оболочки (125, 140, 280 мкм и т.д.). Конструктивно они отличаются друг от друга только диаметром отверстия наконечника.

Рабочий температурный диапазон большинства конструкций оптических разъемов составляет от  $-40$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ , то есть совпадает с рабочим температурным диапазоном большинства конструкций кабелей внешней прокладки.

Основные параметры некоторых типов оптических разъемов приводятся в табл. 62.

## 4.2.2. Параметры оптических разъемов

### 4.2.2.1. Вносимые потери

Потери в оптических разъемах вызывается целым рядом причин, которые в общем виде могут быть разделены на следующие группы:

- внутренние факторы, которые определяются допусками на геометрические размеры световодов;
- внешние факторы, которые определяются качеством изготовления отдельных элементов разъема и его технологическими допусками;

- отражения и рассеяние;
- загрязнения.

К числу основных *внутренних факторов*, которые вызывают потери в оптических разъемах, относятся эксцентриситет и эллиптичность сердцевин, а также разность диаметров, числовых апертур и профилей показателей преломления сращиваемых световодов. Необходимость учета эксцентриситета и эллиптичности возникала на ранних стадиях развития техники оптической связи. В настоящее время в связи с достигнутым технологическим уровнем изготовления оптических волокон эти факторы перестали играть первостепенное значение [55]. Так, например, при величине эллиптичности сердцевин 5% вносимые потери не превышают 0,1 дБ.

Потери за счет разности диаметров сращиваемых световодов наиболее часто встречаются на практике в случае применения многомодовой техники, так как стандартами допускается использование в СКС двух типов волокон с диаметрами сердцевин 50 и 62,5 мкм. Сразу же отметим, что потери этого вида происходят только при переходе из волокна с большим диаметром в волокно с меньшим диаметром. При сращивании волокон с одинаковыми номинальными диаметрами потери рассматриваемого вида возникают из-за допуска на диаметры сердцевин.

Потери за счет разности числовых апертур возникают главным образом из-за наличия производственных допусков на этот параметр.

В перечень составляющих потерь, которые вызываются *внешними факторами*, входят потери за счет наличия воздушного промежутка между торцами сращиваемых световодов, радиальных и угловых смещений волокон, непараллельности торцевых поверхностей световодов в разъемах. Потери этого вида обусловлены неизбежными производственными допусками на геометрические размеры отдельных деталей оптического разъема, выполняющих центрирование сращиваемых волокон.

В тех случаях, когда между торцевыми поверхностями сращиваемых световодов имеется воздушный промежуток, возникают дополнительные *френелевские потери*, которые обусловлены частичными отражениями светового потока на границе раздела воздух-стекло.

#### **4.2.2.2. Обратные отражения**

В любом оптическом разъеме между торцевыми поверхностями сращиваемых световодов 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 отраженного в обратном направлении светового потока.

Поток обратного отражения оказывает отрицательное влияние на высокоскоростные лазерные оптические передатчики, так как, попадая обратно в резонатор, вызывает сильные искажения передаваемого сигнала. В принципе причиной возникновения обратных отражений может явиться любая неоднородность световода, однако наибольший вклад вносят оптические разъемы. На основании этого в процессе создания линий оптической связи значение обратного отражения должно контролироваться достаточно жестко. Мерой величины обратных отражений является коэффициент обратного отражения, который определяется как отношение мощности отраженного светового потока к мощности падающего и, из-за своей малости, выражается обычно в логарифмических единицах.

В конструкции многомодовых оптических разъемов стандарты TIA/EIA-568A и ISO/IEC 11801 требуют применять такие решения, чтобы они имели коэффициент обратного отражения не хуже –20 дБ, тогда как для одномодовых разъемов величина этого параметра должна быть не хуже –26 дБ. Фактически

последнее значение недостаточно для многих приложений, поэтому разработан ряд методов по его снижению. В зависимости от достижимого коэффициента обратного отражения одномодовые разъемы делят на классы:

PC	< –30 дБ	Ultra PC (UPC)	< –50 дБ
Super PC (SPC)	< –40 дБ	Angled PC (APC)	< –60 дБ

Обязательным условием минимизации обратного отражения является наличие так называемого физического контакта (physical contact — PC), при котором стекло сердцевины световода вилки одного разъема прижато к стеклу сердцевины другого (по крайней мере частично) без воздушного зазора. Наличие физического контакта особенно важно для одномодовых разъемов. Этого условия практически невозможно добиться в наконечниках с плоской формой торцевой поверхности, популярных в разъемах разработки до 1985 года (рис. 98а). Для достижения физического контакта применяют целый ряд технических и технологических приемов, краткий перечень основных из которых включает в себя:

- нажимные пружины, которые при вставленных в розетку вилках прижимают торцы наконечников друг к другу;
- наконечники с выпуклыми торцевыми поверхностями (радиус скругления 10–15 мм) (рис. 98б);
- специальную технологию обработки торцевой поверхности.

Наиболее эффективным, хотя и самым сложным в технической реализации и, соответственно, дорогим средством минимизации обратных отражений является применение наконечников со скошенными под небольшим углом (примерно 8°) торцевыми поверхностями (так называемые pre-angled endface-наконечники) (рис. 98в).

Упомянем также еще одно техническое решение, которое пользовалось большой популярностью на ранних этапах развития техники волоконно-оптической связи. Оно основано на том, что для минимизации обратных отражений в разъемы в область контакта световодов закапывается прозрачная иммерсионная жидкость, показатель преломления которой выбирается близким к показателю преломления стекла. Подобное решение существенно усложняет эксплуатацию разъемов и, в связи с улучшением технологии обработки наконечников, практически вытеснено из широкой инженерной практики. Иммерсионный гель применяется только в некоторых типах так называемых механических коннекторов и в механических сплайсах, то есть в элементах, где число циклов срачивания и разъединения сведено к минимуму.

#### 4.2.3. Конструктивные особенности оптических разъемов

В состав оптического разъема входят следующие основные узлы и детали:

- наконечник или другой элемент для фиксации волокон;
- элемент центрирования срачиваемых волокон друг относительно друга;
- корпус с элементами защиты от проворачивания и неправильного подключения;
- элементы фиксации за упрочняющие покрытия световодов и кабеля;
- хвостовик;
- защитный колпачок.

В зависимости от конструктивного исполнения оптического разъема те или иные конструктивные элементы из приведенного списка могут отсутствовать.

##### 4.2.3.1. Наконечники вилок оптических разъемов

Основной деталью большинства типов вилок является осесимметричный наконечник с центральным отверстием, в котором фиксируется конец волоконного свето-

вода. Для уменьшения потерь в точке срачивания торец световода обязательно шлифуется и полируется заподлицо с торцом наконечника. Конструкция основной массы оптических разъемов основана на применении цилиндрических наконечников диаметром 2,5 мм. Известны также изделия с наконечниками другого диаметра и отличной от цилиндрической формы. Торцевая поверхность наконечника выполняется обязательно с фаской. Это облегчает установку вилки в розетку. Кроме того, в собранном состоянии разъема 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. 96) изготавливаются из одного материала, в качестве которого на практике применяется керамика, металл, пластмасса и иногда стекло. Материалом керамических наконечников

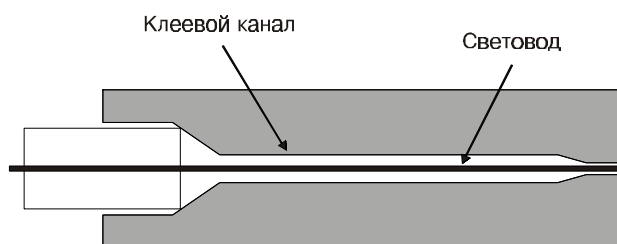


Рис. 96. Наконечник моноблочной конструкции

является окись алюминия или циркония. Окись алюминия является более дешевым материалом, однако окись циркония превосходит его по механической стабильности и прочностным характеристикам. Керамические наконечники превосходят наконечники из других материалов по долговечности и стабильности при работе в широком диапазоне температур. Еще одним свойством керамических наконечников является возможность достижения в процессе производства более жестких допусков на геометрические параметры, за счет чего они обеспечивают меньшие вносимые потери (до 0,2...0,3 дБ, см. табл. 62).

Использование пластмассы для изготовления наконечника обосновывается главным образом соображениями минимизации стоимости разъема за счет некоторого ухудшения его параметров по стабильности и потерям. Некоторые типы разъемов имеют металлический наконечник из нержавеющей стали и по своим характеристикам занимают промежуточное положение между изделиями с керамическими и пластмассовыми наконечниками. Стекланные наконечники применяются в тех случаях, когда установку вилки на световод производят клеем, отвердевающим под действием ультрафиолетовых лучей.

Стандарты СКС накладывают на оптические разъемы 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, используемых для реализации оптических подсистем, в подавляющем большинстве случаев применяются керамические наконечники.

Наконечники составной, или композитной, конструкции (рис. 97) распространены существенно меньше. В этой области известны следующие решения. Наконечник

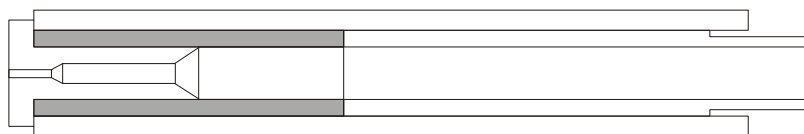
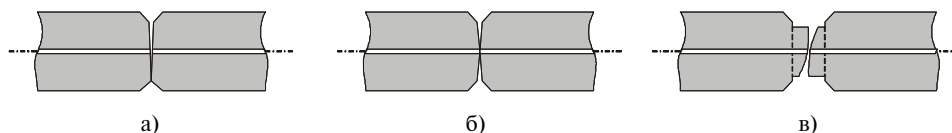


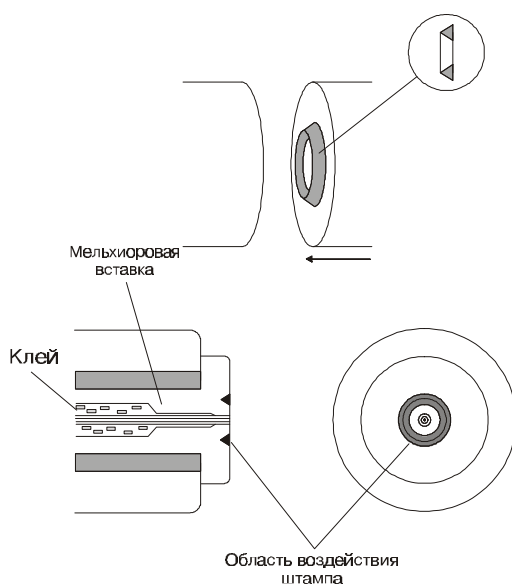
Рис. 97. Наконечник композитной конструкции

вилки разъема типа E-2000 образован керамической втулкой с мельхиоровой вставкой<sup>30</sup>. Аналогичная идея использована в разработанных в СССР в середине 80-х годов разъемных соединителях типа Лист-Булава, в которых основой наконечника является стеклянный капилляр, который заклеен во внешнюю центрирующую металлическую гильзу. В некоторых вариантах разъема типа SMA-906 наконечник выполнен металлическим, а одетая на него центрирующая гильза изготовлена из керамики и, в отличие от упомянутых выше конструкций, имеет несколько меньшую длину. Применение несколько более сложных в практической реализации композитных конструкций обосновывается следующими соображениями:

- наличие внешнего покрытия из износостойкого материала позволяет получить высокую долговечность соединения в процессе эксплуатации;
- при недостаточном уровне технологической базы (особенно на ранних этапах развития техники волоконно-оптической связи) не удавалось достигнуть высокой точности изготовления центрального канала для фиксации волокна в твердом материале;
- применение многослойного наконечника с относительно мягкой внутренней частью позволяет технологическими средствами осуществить дополнительную юстировку световода и за счет этого добиться снижения вносимых потерь.



**Рис. 98.** Формы торцевой поверхности наконечников коннекторов:  
а) плоская; б) выпуклая классов PC, Super PC, Ultra PC; в) скошенная (Angled PC)



**Рис. 99.** Схема пассивной юстировки наконечника оптического разъема

Прокомментируем последнее положение более подробно. Операция юстировки может выполняться в два этапа, причем в случае многомодовых разъемов реализуется только первый из них. На первом этапе (пассивная юстировка) после ввода волокна в канал еще до затвердевания клея на торцевую часть мягкой вставки композитного наконечника воздействуют кольцевым штампом с треугольной в сечении формой рабочего органа. За счет пластической деформации материала внутренней части он плотно охватывает концевой участок волокна, уменьшая остаточный эксцентриситет сердцевины до величины допустимых допусками эксцентриситета сердцевины и оболочки волокна, то есть до 2 мкм (рис. 99). На втором этапе, который

<sup>30</sup> 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).

реализуется после затвердевания клея и обработки наконечника, штамп имеет вид сектора с углом раскрытия  $120^\circ$ , причем его предварительно ориентируют таким образом, чтобы свести к минимуму величину остаточного отклонения осей волокна и наконечника (рис. 100). При типовой величине эксцентриситета оболочка-сердцевина современных световодов  $0,8 \text{ мкм}$  после выполнения процедуры активной юстировки гарантируется величина эксцентриситета сердцевина-наконечник не более  $0,5 \text{ мкм}$ , что соответствует средним потерям  $0,12 \text{ дБ}$  [56].

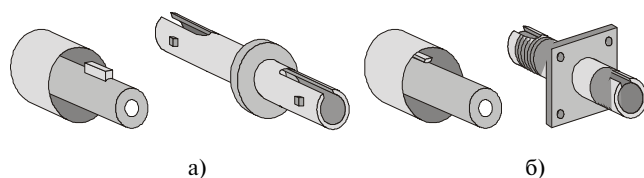
#### 4.2.3.2. Элементы защиты наконечников от проворачивания и неправильного подключения вилок

Одним из необходимых условий получения малого уровня потерь и обратных отражений и стабильности этих параметров на протяжении всего срока службы кабельной системы является наличие физического контакта сращиваемых световодов. При таком контакте волокна в момент подключения и отключения механически взаимодействуют друг с другом, что приводит к повреждениям их торцевых поверхностей и к ухудшению параметров. Риск повреждения наиболее сильно возрастает, если во время установки или отключения разъема волокна проворачиваются друг относительно друга. Для предотвращения таких повреждений в конструкциях современных разъемов обязательно предусматриваются элементы защиты от проворачивания. Решение этой задачи на практике может быть достигнуто следующими способами:

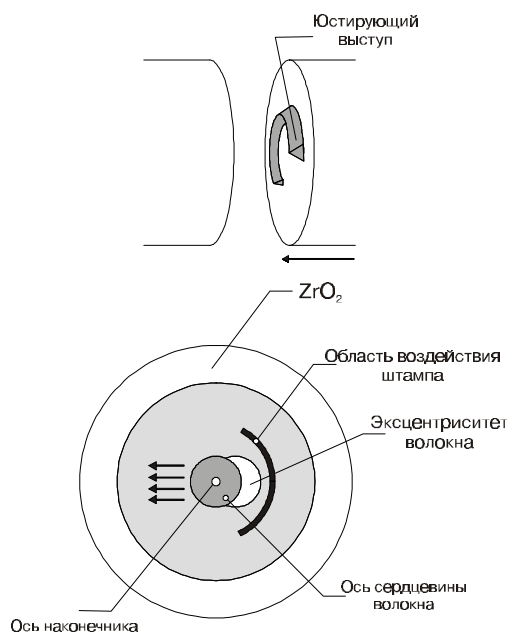
- применением в конструкции вилки разъема направляющего выступа, вводимого при установке в паз или в выемку на корпусе розетки;
- использование принципа линейного включения в розетку вилки с наконечником цилиндрической формы;
- использование наконечников с формой, отличной от цилиндрической или конической, подключаемых только линейным движением.

Решения первой группы характерны для одиночных вилок, крепление кото-

рых к розетке выполняется обычной или байонетной гайкой (разъемы типа ST, FC, SMA и другие, подробно рассмотренные далее). Остальные два решения широко используются в современных конструкциях разъемов.



**Рис. 101.** Основные разновидности элементов защиты наконечников от проворачивания:  
а) на основе радиального выступа и прорези;  
б) на основе осевого ключевого выступа и выемки



**Рис. 100.** Схема активной юстировки наконечника оптического разъема

Мероприятия по защите от неправильного подключения делятся на пассивные и активные, для которых используются различные технические средства.

Известны два вида пассивных мероприятий. Первый из них подразумевает применение различных цветовых маркирующих элементов и надписей, которые обеспечивают визуальный контроль правильности подключения. По второму способу порты различного назначения (например, разных функциональных секций или подсистем) реализуются на основе разъемов различных типов.

Активные мероприятия основаны на использовании различных элементов механической блокировки, которые препятствуют неправильному подключению вилки к розетке. В этой области известны следующие решения:

- корпуса вилок несимметричной формы;
- направляющие выступы на вилках с линейным подключением к розетке;
- различного рода вставки и рамки, в том числе подвижные, одеваемые как на вилку, так и на розетку.

В некоторых случаях сочетают активные и пассивные мероприятия. Так, например, блокирующие рамки адаптеров могут выполняться из пластмассы различных цветов.

#### **4.2.3.3. Элементы и способы крепления к кабелю**

Вилки оптических разъемов обычно устанавливаются на кабели для шнуров с защитным шлангом внешним диаметром 2,5-3,0 мм. В случае монтажа вилки на волокне в буферном покрытии 0,9 мм на него одевается 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 резиновый хвостовик. При отсутствии в комплекте вилки такого переходника его заменяют коротким отрезком защитного шланга кабеля для шнуров.

Для увеличения эксплуатационной надежности вилки при ее установке на кабель для шнуров со шлангом диаметром 2...3 мм в конструкцию вилок многих современных разъемов введена втулка длиной 3...5 мм с упорным фланцем, которая в процессе монтажа одевается на буферную оболочку 0,9 мм световода и вдвигается «внатяг» под шланг. Наличие этой втулки обеспечивает свободное перемещение световода относительно внешнего защитного шланга в процессе сборки и использования разъема.

Вилки многих разъемов рассчитаны на установку только на определенный тип волокна (например, в буферном покрытии 0,9 мм). Имеются также более дорогие универсальные конструкции, в которых при сборке в каждом конкретном случае используют только часть деталей.

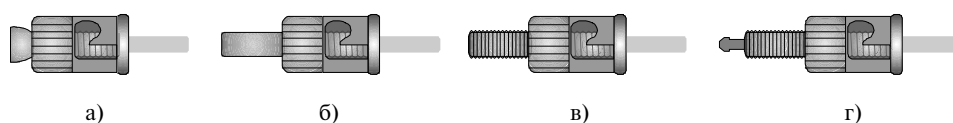
При наклейке вилки на световод в покрытии 0,25 мм рекомендуется восстановить вторичное защитное покрытие с внешним диаметром 900 мкм. На практике применяется ряд способов решения этой задачи. Так, например, трубка (кембрик) с внешним диаметром 0,9 мм из набора D-181755, который выпускает Lucent Technologies, обеспечивает надежную защиту волокна от внешних механических воздействий. Для решения этой же задачи фирма Mohawk выпускает так называемый Field Breakout Kit. Это устройство представляет собой металлическую трубку с шестью (M90272) или двенадцатью (M90273) кембриками диаметром 0,9 мм, которая устанавливается на модуль кабеля внешней прокладки с помощью обжимного инструмента. Комплекты серии 91.B0610-91.B0640 фирмы Mod-Tap состоят из основания, крышки и терминирующего элемента (terminal assembly) и рассчитаны на 4, 6, 8 и 12 волокон. Выгодно отличаются от описанных выше устройств фирмы Mohawk наличием цветовой кодировки кембриков с внешним



диаметром 900 мкм и возможностью фиксации корпуса на трубке модуля без использования кримпирующего инструмента, однако уступают им по массогабаритным показателям.

В некоторых конструкциях вилок клеевых разъемов фирмы AMP предусмотрена переходная пластмассовая втулка, которая при сборке фиксируется кримпирующей гильзой и обеспечивает надежный ввод волокна в буферном покрытии 0,25 мм.

В процессе установки вилки на кабель для шнуров необходимо обеспечение высокой механической прочности крепления. Выбор способа крепления во многом определяет конструкцию хвостовой части вилки разъема. В этой области известны следующие основные решения (рис. 102):



**Рис. 102.** Варианты исполнения хвостовиков вилок разъемов для крепления к защитным покрытиям кабеля для шнуров

У вилок первой группы предусмотрен широкий конусообразный металлический хвостовик, который в процессе сборки сжимается кримпирующим инструментом, а фиксация буферных покрытий и шланга кабеля осуществляется клеем и силой трения обжатого хвостовика (рис. 102а). Основным достоинством данной конструкции является простота сборки, особенно для начинающих, и возможность предельного уменьшения габаритов, главным недостатком — малая прочность к вырывающим осевым механическим воздействиям, обусловленная способом крепления к буферным покрытиям.

Второй, более распространенный вариант основан на использовании хвостовика цилиндрической формы относительно малого диаметра и обжимной гильзы (рис. 102б). В процессе установки вилки упрочняющие кевларовые нити кабеля для шнуров укладываются на поверхность хвостовика, после чего на него надвигается и обжимается металлическая 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 соединительных шнуров в вилках некоторых разъемов используются хвостовики с ребристой или накатанной поверхностью, улучшающей надежность фиксации кевларовых нитей, и предусматривается обжим гильзы не только на хвостовик, но и на внешнюю оболочку кабеля для шнуров (рис. 102в). Прочность фиксации оболочки кабеля для шнуров возрастает, если на конце хвостовика предусматривается цилиндрический выступ малого диаметра, вводимый под защитный шланг (рис. 102г).

Следует отметить, что существуют некоторые типы групповых разъемов, в которых механическая прочность крепления вилки обеспечивается только за счет крепления к внешним защитным шлангам кабеля для шнуров. Такое крепление создается с помощью как кримпирующего кольца, так и зажима цангового типа.

#### **4.2.3.4. Хвостовики вилок**

Заданный радиус изгиба волокна в месте входа в вилку разъема задает хвостовик длиной около 3–5 см, для изготовления которого используется резина или мягкий полимерный материал. Увеличение гибкости этого элемента в современных конструкциях часто достигается системой прорезей с перпендикулярной друг относительно друга ориентацией. В хвостовик вилок разъемов серии 943 компании Amphenol дополнительно введена специальная вставка, обеспечивающая

поворот кабеля на 90° с заданным радиусом. Последнее свойство является полезным при подключении к портам оптических полок и некоторых конструкций настенных муфт с защитной шторкой.

Еще одним назначением хвостовика является цветовая кодировка вилок. Данное решение часто применяется в тех случаях, когда конструкция разъема не предусматривает формирования дуплексной вилки. В этой ситуации заказываются отдельно хвостовики или непосредственно вилки с хвостовиком различных цветов.

#### **4.2.3.5. Розетки оптических разъемов**

Розетки оптических разъемов устанавливаются в лицевой панели информационной розетки, настенной муфты или распределительной полки. Конструктивно розетка состоит из корпуса и внутреннего центратора. В функции последнего входит выравнивание наконечников вилок, вставленных в розетку, друг относительно друга. Известен ряд конструктивных разновидностей этого элемента. Чаще всего центратор изготавливается в виде разрезной гильзы, выполненной из керамики или фосфористой бронзы и вставляемой в корпус розетки жестко или по плавающей схеме. В розетках разъемов без центрирующего наконечника также присутствует центратор. Он, однако, реализуется без применения центрирующей гильзы. Используемые в таких конструкциях решения рассмотрены в параграфе 4.2.6.4.

На корпусе розетки предусматриваются элементы крепления на панели коммутационно-распределительного устройства (резьба под гайку, фланец квадратной, прямоугольной, ромбовидной или круглой формы с двумя-четырьмя отверстиями под винты М2, защелка, причем использование для фиксации защелки характерно для розеток с корпусом из пластмассы) и детали для фиксации вилки в рабочем положении (резьба, выступы байонетного фиксатора, элементы взаимодействия с защелкой). В некоторых моделях малых настенных муфт с пластмассовым корпусом установка розеток SC выполняется за счет наличия паза, куда вводится ее пластмассовый фланец. Иногда для расширения функциональных возможностей практикуется применение одновременно двух различных элементов фиксации, например защелки и фланца с отверстиями.

Розетки выпускаются в многомодовом и одномодовом исполнениях и отличаются друг от друга главным образом материалом корпуса (металл или пластмасса) и центратора (бронза или керамика).

Розетки оптических разъемов, вилки которых снабжены направляющим выступом для защиты от проворачивания наконечников вилок в момент подключения, согласно действующим стандартам должны монтироваться таким образом, чтобы направляющие пазы для данного выступа были ориентированы в одну сторону.

Для обозначения одномодового и многомодового вариантов в розетках с пластмассовым корпусом, в частности SC, используется цветовая кодировка, при этом 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. Наиболее известным в нашей стране исключением из этого правила являются ST-розетки производства Lucent Technologies. На корпусе этих изделий методом штамповки формируется фирменный логотип и аббревиатура SM и MM для многомодового и одномодового вариантов соответственно.

#### **4.2.3.6. Защитные колпачки и крышки**

Защитные колпачки являются практически обязательным элементом вилок и розеток основных типов оптических разъемов. Они используются для защиты наконечников или торцевых поверхностей вилок и гнездовой части розеток от попадания пыли и грязи в нерабочем состоянии.

Защитный колпачок вилки может выполняться в двух основных вариантах и закрывать как всю переднюю часть корпуса вилки, так и только его центрирующий наконечник. Второе решение относительно чаще встречается в случае вилок, наконечник которой сильно выступает из корпуса (например, ST и DIN). Колпачок вилки является отдельной деталью, в разъемах типа MLC он снабжается темляком и при подключенной вилке висит на кабеле шнура. В некоторых типах вилок разъемов конкретных производителей применяются колпачки, которые закрывают как торцевую часть вилки, так и наконечники световодов.

При изготовлении колпачков вилок применяются резина или полимерный материал. Иногда колпачки окрашиваются в различные цвета и используются как элемент цветовой кодировки различных типов изделий. Общим требованием к материалу колпачка является его достаточно высокая жесткость, так как в противном случае из-за схлопывания в момент съема с вилки на торцевую часть наконечника попадает достаточно большое количество пылевых частиц.

Ряд современных конструкций разъема имеет защитные крышки, которые являются интегральной составной частью конструкции как вилки, так и розетки и делают ненужным применение защитного колпачка. В разъемах без центрирующего наконечника (см. параграф 4.2.6.4) этот элемент является обязательным.

Колпачок розеток выполняет аналогичные функции, причем многомодовые розетки обычно имеют защитные колпачки черного или красного цвета, а одномодовые — желтого. В розетках серии 954 компании Amphenol вместо колпачка применяется подпружиненная внешняя крышка, тогда как в розетках разъемов E-2000 фирмы Diamond использована внутренняя крышка. В розетках SC компании Alcoa Fujikura защитная крышка выполнена в виде внешнего адаптера, одеваемого на корпус. Наличие крышки, автоматически закрывающейся при вынудной вилке, особенно важно в случае использования в оптических передатчиках сетевой аппаратуры мощных длинноволновых лазерных излучателей, так как она защищает глаза обслуживающего персонала.

Резиновыми колпачками закрываются также розетки оптических интерфейсов сетевого оборудования. Фирма Hewlett-Packard использует для этого в своих трансиверах более надежные пластмассовые вставки с фиксаторами за выступы байонетного соединителя. В SC-розетках функции пылезащитного элемента выполняет резиновая или пластмассовая вставка, иногда снабжаемая штырьковым выступом для облегчения установки и удаления. Защита розеток FC осуществляется пластмассовым или металлическим колпачком с резьбой, навинчиваемым на розетку.

#### 4.2.4. Основные типы оптических разъемов СКС

##### 4.2.4.1. Разъемы типа SC

Разъем SC (от англ. subscriber connector — абонентский разъем, иногда используется неофициальная расшифровка этого сокращения: Stick-and-Click — вставка и защелкни) (рис. 103) был разработан японской телекоммуникационной корпорацией NTT для использования в абонентских устройствах различного назначения. В настоящее время нормирован международным стандартом IEC-874-13. Он определен действующими редакциями стандартов как основной тип разъема для применения в СКС. Может быть выполнен в одинарном и двойном (дуплексном) вариантах. Основная идея, заложенная в его конструкцию, со-



Рис. 103. Вилка разъема SC

стоит в создании устройства с пластмассовым корпусом, хорошо защищающим наконечник и обеспечивающим плавное подключение и отключение линейным движением.

Подавляющее большинство вилок разъемов SC снабжается наконечниками из керамики, имеются также единичные образцы этих изделий с наконечниками, изготавливаемыми из нержавеющей стали. Наконечник разъема SC утоплен в корпус вилки, что предохраняет его от загрязнений. Линейное движение при подключении и отключении делает этот разъем особенно удобным для применения в 19-дюймовых полках, так как позволяет увеличить плотность портов за счет сближения розеток. Защелка открывается только при вытягивании за корпус, что увеличивает эксплуатационную надежность. Разъемы SC обеспечивают большую стабильность параметров (выдерживают не менее 500 подключений и отключений), чему в немалой степени способствует отсутствие проворачиваний наконечников друг относительно друга при включении и отключении. Как видно из табл. 62, этот разъем является одним из лучших по величине вносимого затухания.

На верхней стороне корпуса вилки имеется ключ в виде выступа, который препятствует ее подключению в розетку в неправильном положении.

Для получения двойного разъема из одинарных используют два различных решения. Первое из них основано на том, что на корпусе вилок предусмотрены фиксаторы, которые взаимодействуют между собой в собранном состоянии. Во втором варианте применяется внешний фиксатор. Он может быть выполнен в виде состоящей из двух симметричных половин обоймы с гнездами для корпусов вилок или же представлять собой H-образную деталь, в боковые пазы которой вставляются вилки. По последнему варианту реализован, например, фиксатор типа 2A1 компании Lucent Technologies, который снабжен штатной символьной маркировкой в виде букв A и B. Расстояние между осями наконечников вилок в двойном разъеме составляет 12,7 мм.

Большой пластмассовый корпус вилки и розетки разъема SC позволяет использовать дополнительно к символьной эффективную цветовую маркировку. Одномодовый и многомодовый варианты разъема SC, согласно стандарту TIA/EIA-568-A, имеют различный цвет корпуса — голубой и серый (или бежевый) соответственно. Выпускается также одномодовый разъем SC с корпусом зеленого цвета и со скошенной торцевой частью наконечника для уменьшения обратного отражения. Известны также отдельные достаточно широко распространенные образцы разъемов SC с корпусом вилок и розеток нестандартной окраски. В качестве примера укажем черный корпус многомодовой вилки и розетки, поставляемых компанией «Перспективные технологии», а также белый корпус многомодового SC-разъема компании Methode.

#### **4.2.4.2. Разъемы типа ST**

Оптический разъем типа ST (от англ. straight tip connector — прямой разъем, иногда используется неофициальная расшифровка этого сокращения: Stick-and-Twist — вставь и поверни) был разработан лабораторией Bell компании AT&T (ныне Lucent Technologies) в 1985 году для замены биконического разъема. До появления разъема SC он имел наибольшее распространение в оптических подсистемах СКС и локальных сетей. Конструкция разъема в настоящее время определяется международным стандартом IEC 874-10 и основана на керамическом наконечнике диаметром 2,5 мм с выпуклой торцевой поверхностью (рис. 104). Фиксация вилки на розетке выполняется подпружиненным байонетным элементом, который поворачивается на  $1/4$  оборота. Поэтому разъем ST иногда называют разъемом типа BFOC (от англ. byonet fiber optic connector).

Имеется несколько вариантов конструкций ST-разъемов, отличающихся в основном формой и материалом байонетного фиксатора, а также принципом крепления корпуса вилки к буферным оболочкам и защитным покрытиям световода.

Компания Lucent Technologies разработала три варианта вилок этого разъема: ST, STII и STII+, которые полностью совместимы друг с другом по посадочным местам в розетке и имеют незначительные 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, тогда как у обоих более поздних вариантов этот шлиц закрыт перемычкой (рис. 105). Важной особенностью вилок Lucent Technologies является отсутствие необходимости применения кримпирующего (обжимного) инструмента при армировании ими волокна в буферном покрытии диаметром 0,9 мм.



Рис. 104. Вилка разъема ST

Металлический корпус вилки и розетки разъема ST обеспечивают ему высокую механическую прочность, однако существенно затрудняют его кодировку и идентификацию. Известны лишь единичные образ-



Рис. 105. Варианты конструктивного оформления гайки байонетного фиксатора вилки разъема ST

цы этого изделия одной фирмы с гайкой байонетного фиксатора из металла золотистого и серебристого цветов в зависимости от варианта конструктивного исполнения (решение швейцарской компании Brugg). Иногда на корпусах розеток выдавливаются буквы SM и MM для одномодового и многомодового вариантов соответственно. Некоторые компании предлагают вилки ST с хвостовиками из пластмассы разного цвета, достаточно часто на практике применяются также различные кольца, гильзы и другие аналогичные изделия, которые не являются штатными маркирующими элементами.

Конструкция разъема ST в принципе не обеспечивает возможность формирования дуплексной вилки. Соответственно, его розетка выпускается основной массой производителей в одиночном варианте. Только корпорация Alcatel предлагает сдвоенные ST-розетки в одном корпусе.

Преимуществом ST-разъема является низкая цена в сочетании с простотой монтажа и подключения, а недостатками можно считать то, что:

- сильно выступающий наконечник увеличивает вероятность его загрязнения;
- отсутствие двойного варианта увеличивает трудоемкость подключения двойных шнуров и вероятность ошибки при коммутации;
- отсутствие цветовой или другой заводской маркировки затрудняет их идентификацию;
- поворачивающее усилие при подключении вызывает трение наконечников вилок, что ведет к повреждению их полировки и в конечном итоге к увеличению вносимого затухания после многократных подключений и отключений;

- принцип фиксации на основе байонетной гайки не обеспечивает необходимой для некоторых приложений стабильности параметров при вибрационных воздействиях.

Для частичной защиты наконечников от трения при подключении в конструкциях вилок ST-разъемов предусмотрен специальный выступ, вводимый в паз розетки.

#### 4.2.5. Другие типы оптических разъемов

##### 4.2.5.1. Разъемы типа FC

Разъемы типа FC определены международным стандартом IEC 874-7, ориентированы в основном на применение в одномодовой технике и получили наибольшее распространение в телекоммуникационных системах различного назначения для сетей связи общего пользования. Для обеспечения низкого уровня затухания и минимума обратного отражения наконечник разъема изготавливают с очень жесткими допусками на геометрические размеры со скруглением на конце. Последнее обеспечивает нахождение световедущей сердцевины волокна на вершине наконечника и физический контакт сращиваемых световодов (иногда это подчеркивают тем, что в названии разъема указывают аббревиатуру PC — physical contact). Конструкция разъема обеспечивает надежную защиту керамического наконечника от загрязнений, а применение для фиксации накидной гайки дает большую герметичность зоны соединения и надежность соединения при воздействии вибраций.

Розетка разъема FC выпускается в двух вариантах: типа SF с квадратным фланцем и креплением двумя винтами M2 и типа RF с круглым фланцем и креплением под гайку.

##### 4.2.5.2. Разъемы типа MIC

Двойной разъем типа MIC (medium interface connector)<sup>31</sup> был разработан специально для сетей FDDI. Вилка разъема изготавливается из пластмассы (рис. 106), снабжена фиксатором с защелкой и имеет несимметричную форму, поэтому она не может быть подключена к розетке в неправильном положении (механическая блокировка). Использование сменных ключей в виде цветных вставок позволяет также закодировать MIC-разъем только для подключения к одному из портов А, В, М и S сетей FDDI. Из табл. 62 видно, что по вносимому затуханию MIC разъем занимает среднее положение среди разъемов других типов.

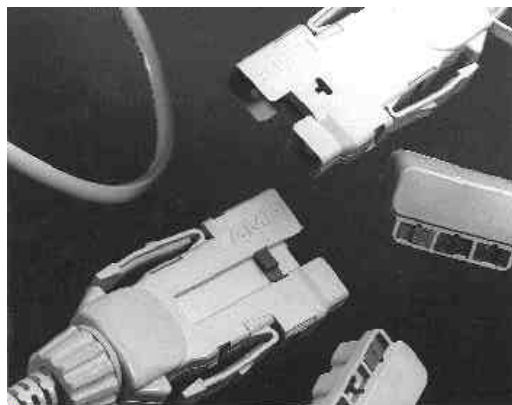


Рис. 106. Вилки MIC-разъема

Крепление кабеля в корпусе вилки выполняется обжимным кольцом или пластмассовым зажимом. Имеются многомодовый и одномодовый варианты MIC-разъема. В середине 90-х годов был разработан усовершенствованный вариант MIC-разъема. 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.

<sup>31</sup> Разъемы MIC, выпускаемые компанией AMP, носят название FSD (fixed shroud duplex).

Преимуществами МІС-разъема является то, что его подключение и отключение производится линейным движением и что корпус вилки хорошо защищает торцы наконечников от загрязнения, а недостатками — большие габариты, сложность установки и высокие цены. Разъемы МІС широко используются в аппаратуре системы FDDI. Формально они допускаются также для применения в аппаратуре 100Base-FX, однако авторам неизвестно серийное оборудование этой системы, снабженное разъемами обсуждаемого типа.

#### 4.2.5.3. Разъемы типа SMA

Разъем SMA или FSMA (fiber sub-miniature assembly) (рис. 107) был разработан еще в конце 70-х годов американской компанией Amphenol и нормирован в настоящее время международным стандартом IEC-874-2. Разъем этого типа представляет собой удачную попытку адаптации принципов, хорошо отработанных в процессе создания электрического разъемного соединителя SMA, на новую область. Конструкция вилки разъема SMA реализована на основе металлического наконечника диаметром 3,175 мм ( $1/8$  дюйма) с плоской торцевой поверхностью, что не позволяет гарантировать физический контакт срачиваемых световодов. Разъем имеет две разновидности, обозначаемые как SMA-905 (FSMA-I) и SMA-906 (FSMA-II), которые отличаются друг от друга формой концевой участка наконечника вилки. Крепление вилки к розетке осуществляется шестигранной или реже круглой накидной гайкой.



Рис. 107. Вилка SMA-разъема

В конструкции разъема не предусмотрен направляющий штифт, препятствующий вращению наконечника при установке, что негативно сказывается на величине вносимого затухания и его долговременной стабильности. Кроме техники ЛВС и СКС разъем рассматриваемого вида достаточно широко применяется в промышленных системах, медицинской и военной технике. Этому в немалой степени способствует то, что за счет применения специальных конструктивных мероприятий степень защиты срачиваемых волокон может быть доведена до уровня вплоть до IP-65 [57].

Из-за особенностей конструкции разъем FSMA в настоящее время считается устаревшим. Розетками разъема этого типа оборудуется активное оборудование Ethernet и модемов со скоростью передачи не свыше 2 Мбит/с, которые выпускаются главным образом американскими компаниями.

#### 4.2.5.4. Разъемы типа DIN

Разъемы типа DIN, называемые иногда разъемами LSA и LSB (от нем. Lichtwellenleiter Steckverbinder, то есть волоконно-оптический штекерный разъем, вариант А или В), определены немецкими стандартами DIN 47256 и DIN 47255, а также международным стандартом IEC-874-6 и реализованы на основе керамического наконечника диаметром 2,5 мм со скругленной торцевой поверхностью для обеспечения физического контакта. Фиксация вилок в розетке выполняется круглой накидной гайкой с накатанной верхней поверхностью. Отличительной особенностью разъема являются его очень малые габариты. Ориентирован в основном на одномодовые приложения. В настоящее время 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 разъема получил также в Австралии.

#### 4.2.6. Разъемы с увеличенной плотностью установки

Общим недостатком дуплексного разъема SC, предписываемого действующими редакциями стандартов СКС для использования в оптических подсистемах, являются его достаточно большие габариты и, как следствие этого, невозможность получения как на коммутационных панелях, так и на сетевом оборудовании по крайней мере эквивалентной электрическим решениям плотности портов. Далее рассматривается ряд конструкций, как минимум не уступающих электрическим модульным разъемам по плотности монтажа, доведенных до уровня серийного производства и в большем или меньшем объеме внедренных в широкую инженерную практику. Все рассматриваемые далее изделия объединяет одно общее свойство: их розетка в дуплексном варианте (или элемент, ее заменяющий) по своим посадочным местам полностью соответствует розетке модульного разъема и является с ней взаимозаменяемой (имеет одинаковый форм-фактор). Подобное свойство позволяет, наряду с увеличением плотности портов, стандартизировать с электрическими решениями также элементы монтажа в модульные панели. Работы в этой области проводились по четырем основным направлениям:

- применение наконечников уменьшенного до 1,25 мм диаметра, что позволяет уменьшить габариты остальных деталей вилки и розетки разъема;
- использование принципа более или менее глубокой модернизации традиционной конструкции с миниатюризацией отдельных компонентов и увеличением плотности монтажа;
- применение решений, наработанных в процессе создания групповых или многоканальных разъемов;
- отказ от использования центрирующего наконечника.

##### 4.2.6.1. Конструкции с наконечниками уменьшенного диаметра

Наиболее известным представителем первого направления разъемов с увеличенной плотностью установки по состоянию на середину 1999 года является разъем типа LC, который был разработан американской компанией Lucent Technologies в 1997 году. Разъем выпускается как в одномодовом, так и в многомодовом вариантах. Его конструкция основана на применении керамического наконечника с уменьшенным до 1,25 мм диаметром и пластмассового корпуса с внешней защелкой рычажного типа для фиксации в гнезде соединительной розетки. Разъем допускает как одиночное, так и дуплексное использование.

Разработчики этого типа оптического соединителя в соответствии с действующими и перспективными редакциями стандартов СКС гарантируют до 500 циклов включения-отключения без ухудшения характеристик потерь. Этому, наряду с использованием керамического наконечника, способствует принцип линейного включения вилки в гнездо (push-pull).

Для установки вилки LC применяются стандартные процедуры заклейки на эпоксидной смоле. Конструкция вилки допускает ее монтаж как на волокне в

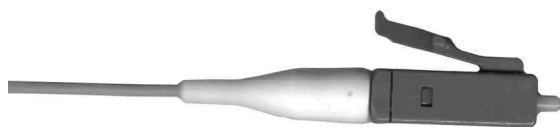


Рис. 108. Вилка разъема типа LC

буферном покрытии 0,9 мм, так и на соединительных шнурах с 2,4-миллиметровым шлангом. При этом монтаж на 900-микрометровое волокно может производиться в полевых условиях, тогда как наклейка на кабель в шланге

2,4 мм в процессе изготовления соединительных шнуров из-за малых габаритов выполняется только на производстве.



Основные технические характеристики разъемов типа LC приводятся в табл. 63.

По состоянию на середину 1998 года разъем типа LC включен в проект новой редакции стандарта EIA/TIA-568-A для в СКС в качестве альтернативного разъема SC.

Вторым представителем конструкции рассматриваемой разновидности является разъем MU японской телекоммуникационной корпорации NTT. Это изделие можно рассматривать как малогабаритный вариант разъема SC. Аналогично своему предшественнику разъем данного типа содержит корпус с внутренней защелкой (принцип push-pull), а за счет меньшего диаметра наконечника и миниатюризации остальных элементов конструкции обладает примерно вдвое меньшими габаритами [58]. В коммерческую продажу поступают как одиночный, так и дуплексный варианты разъема рассматриваемого типа.

**Таблица 63.** Основные технические характеристики многомодового и одномодового вариантов разъема LC

	SM	MM
Средние потери, дБ	0,1	0,1
Среднеквадратичное отклонение потерь, дБ	0,07	0,1
Коэффициент отражения, дБ	-50	-20
Изменение потерь после 500 циклов соединения-разъединения, дБ	< 0,2	< 0,2
Изменение потерь в диапазоне температур -40 ... +75 °С, дБ, не более	0,1	0,3
Материал наконечника	Керамика	

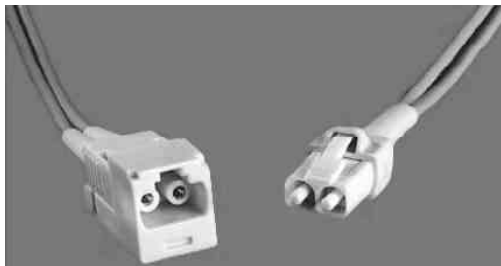
#### 4.2.6.2. Малогабаритные разъемы с наконечниками диаметром 2,5 мм

Подход второго типа основан на сохранении в разъеме основного элемента применяемых ранее конструкций — наконечника диаметром 2,5 мм. Улучшение массогабаритных показателей обеспечивается за счет более плотной компоновки и, возможно, миниатюризации отдельных элементов корпуса. Наиболее известными разработками в этой области являются разъемы типов E-2000, SC-Compact и FJ.

Разъем типа E-2000 (Европа, 2000 год) создан компанией Diamond и получил распространение в некоторых европейских странах (Швейцария, Германия и т.д.). Наконечник выполнен по композитной схеме в виде мельхиорового цилиндра, на который внахлест одета центрирующая керамическая гильза, фиксация вилки в розетке выполняется внешней защелкой рычажного типа. Разъем может эксплуатироваться как в одиночном, так и в дуплексном исполнении. Дуплексный разъем известен в обычном (duplex, расстояние между осями наконечников 12,7 мм), компактном (compact duplex, расстояние между осями 6,4 мм) и вертикальном (low profile duplex, вилки друг над другом с разворотом на 180°) вариантах. Для получения дуплексной вилки из одиночных используется специальная фиксирующая защелка, дуплексная розетка совместима по своим посадочным местам со стандартной розеткой модульного разъема только для компактного варианта. От более ранних конструкций E-2000 отличается возможностью применения эффективной цветовой кодировки (в настоящее время стандартизовано восемь цветов) и механической блокировки в случае применения сменной рамки розетки, а также наличием интегрированной в конструкцию защитной крышки. Последняя открывается автоматически при установке в розетку и надежно защищает наконечник от загрязнения.

Разъем типа SC-Compact швейцарской компании Reichle & De-Massari представляет собой удачный пример глубокой модернизации хорошо отработанного в серийном производстве изделия с целью получения новых свойств. Прототипом разъема является хорошо известный SC, однако за счет устранения внешних

элементов крепления и разработки новой фиксирующей оправки инженеры компании Reichle & De-Massari сумели уменьшить расстояние между осями наконечников с обычных 12,7 до 7,5 мм и вписать тем самым розетку в посадочные места розетки модульного разъема.



**Рис. 109.** Оптический разъем типа Opti-Jack компании Panduit

Компанией Panduit еще в 1996 году предложен разъем типа FJ (fiber jack) или Opti-Jack, (рис. 109). Это изделие предназначено для использования в структурированной кабельной системе PAN-NET и известно только в дуплексном исполнении. Основой разъема также является керамический наконечник диаметром 2,5 мм, однако за счет более плотной компоновки и, в частности, уменьшения расстояния между осями на-

конечников до 6,4 мм (0,25 дюйма) габариты розетки уменьшены до размеров гнезда электрического модульного разъема. Фиксация вилки в розетке выполняется защелкой рычажного типа. Для улучшения условий работы рычаг защелки закрыт куполообразной крышкой хвостовика. Конструкция позволяет производить полевую сборку, для чего разработана оригинальная клеевая технология с использованием двухкомпонентного анаэробного клея. Проблема очистки торцевых поверхностей наконечников от загрязнений, потребность в которой может возникнуть в процессе текущей эксплуатации, решается за счет использования разборной конструкции розетки, отдельные детали которой крепятся друг к другу на защелках.

От других конструкций разъем типа FJ отличается тем, что его розетка не является отдельным конструктивным элементом, а всегда объединяется с одной из вилок. Только в 1998 году появилась классическая розетка для разъемов рассматриваемого типа [59], однако она предназначена для использования исключительно в измерительных целях.

Разъем FJ первоначально выпускался только в многомодовом варианте с корпусом бежевого цвета. В 1998 году появился его одномодовый вариант с корпусом голубого цвета.

#### **4.2.6.3. Разъемы группового типа**

Подход третьего типа представлен достаточно многочисленной группой разработок многоканальных, или групповых, разъемов [60]. Наиболее совершенные изделия этой группы позволяют сращивать одновременно до 18 световодов, то есть превосходят электрические модульные разъемы по плотности компоновки в девять раз. Достаточно часто эти изделия выполняются как уменьшенный или упрощенный вариант «большого» группового разъема, разработанного для применения в телекоммуникационных приложениях. Общей отличительной чертой, объединяющей все рассмотренные далее конструкции, является использование в них принципа линейной установки в розетку (принцип push-pull) без использования резьбовых или байонетных фиксаторов.

Разъемы SCDC и SCQC продвигаются консорциумом, в который входят компании Siecog, Siemens и IBM, и 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, очень похожего на обычный наконечник и имеющего два (SCDC) или четыре (SCQC) канала для фиксации в них сращиваемых световодов.

Принцип частичной унификации задействован также в разъемах Mini-MT разработки компании Siescor и MT-RJ консорциума фирм AMP, Siescor, Hewlett-Packard, USCones и Fujikura. В этих изделиях использован одинаковый центрирующий элемент с близкой к прямоугольной в сечении формой, рассчитанный на два или четыре световода. Разница между этими вариантами разъемов состоит в том, что в MT-RJ элемент фиксации вилки в розетке выполнен в виде привычной пользователям СКС защелки рычажного типа, аналогичной вилке электрического модульного разъема.

Наибольшую емкость среди перспективных типов оптических разъемов для СКС имеет изделие Mini-MPO компании Berg Electronics, которое позволяет сращивать до 18 волокон одновременно.

#### 4.2.6.4. Конструкции без центрирующего наконечника

Центрирующий наконечник вилки оптического разъема является дорогой прецизионной деталью, а процесс армирования им световода представляет собой достаточно сложную и продолжительную процедуру (см. параграф 2.3.3 монографии [4]). Стремление к устранению этих недостатков привело к появлению двух конструкций, в которых наконечники отсутствуют, а процесс центрирования волокон в ходе их соединения выполняется другими средствами.

Общими отличительными признаками разъемов рассматриваемой группы являются:

- выступающее на несколько миллиметров из держателя волокно, торец которого сколот и подготовлен к сращиванию в процессе монтажа вилки разъема на специальном технологическом приспособлении;
- наличие подпружиненной крышки, которая закрывает волокна в нерабочем состоянии;
- возможность установки вилки только с помощью комплекта фирменной технологической оснастки.

Разъем типа Optoclip II (рис. 110а) швейцарской компании Suhner основан на применении одиночной вилки, которая в случае необходимости может соединяться с другой вилкой для получения дуплексного варианта. Предварительное выравнивание волокон при их соединении выполняется с помощью конусообразной направляющей, окончательное выравнивание производится с помощью системы из трех сдвинутых друг относительно друга на 120° шариков, один из которых подвижен в вертикальном направлении.

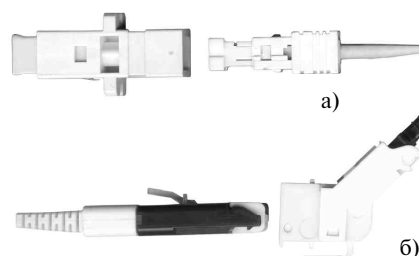


Рис. 110. Вилки и розетки разъемов Optoclip II (а) и VF-45 (б)

В отличие от этого оптический разъем VF-45<sup>32</sup> (иногда может употребляться название VG-45) (рис. 110б) компании 3М реализован на основе V-образной канавки и рассчитан на армирование одной вилкой сразу двух волокон ленточного кабеля одновременно. Для обеспечения возможности четкого ввода световодов в направляющие канавки фиксация их концевой участка выполнена с разворотом под углом 45°, что дополнительно несколько уменьшает общую длину изделия.

<sup>32</sup> Эта аббревиатура является зарегистрированным товарным знаком американской корпорации 3М.

Оба разъема рассматриваемого типа не позволяют при современном уровне развития техники обеспечить точность выравнивания волокон, необходимую для одномодовых приложений, и поэтому реализуются только в многомодовом варианте.

## 4.3. Коммутационное оборудование

### 4.3.1. Конструктивные особенности и варианты подключения

Оптическое коммутационное оборудование представляет собой устройство, состоящее из тонкостенного пластмассового или металлического корпуса с элементами внешнего крепления, на боковой или торцевой поверхностях которых смонтированы розетки оптических разъемов, а внутри установлены различные организаторы, фиксаторы и другие вспомогательные элементы. Оптические коммутационные устройства предназначены для:

- подключения волокон различных сегментов СКС друг к другу с помощью коммутационных шнуров;
- подключения к СКС сетевого оборудования через оконечные шнуры и, возможно, адаптеры;
- неразъемного соединения (сращивания) друг к другу волокон различных магистральных или горизонтальных кабелей внутри его корпуса.

В конструкцию оптических коммутационных устройств входят следующие типовые элементы.

**Корпус.** В конструкции корпуса предусматриваются элементы внешнего крепления, съемная, откидная или сдвижная крышка (возможно, прозрачная) или дверцы на петлях для доступа внутрь для проведения монтажных и ремонтных работ. Общим требованием к корпусу является обеспечение удобного доступа к волокнам и оптическим разъемам, а также надежная защита световодов от внешних механических воздействий, попадания внутрь посторонних предметов и пыли.

**Панель с розетками оптических разъемов.** Согласно требованиям действующих редакций стандартов, основным типом разъема для СКС и, соответственно, для коммутационных панелей является SC. Для коммутации используются только двойные коммутационные шнуры, и поэтому розетки SC на панели должны быть двойными. Проемы для не установленных розеток обязательно закрываются заглушками для защиты от попадания посторонних предметов внутрь корпуса. Конструкция панели разрабатывается таким образом, чтобы обеспечивать удобство подключения вилок оптических разъемов к розеткам как внутри, так и снаружи. Согласно действующим стандартам СКС розетки разъемных оптических соединителей, установленных на панели, должны быть смонтированы таким образом, чтобы их направляющие пазы были ориентированы в одну сторону. При этом допускается как горизонтальный, так и вертикальный (друг над другом) монтаж розеток одной пары.

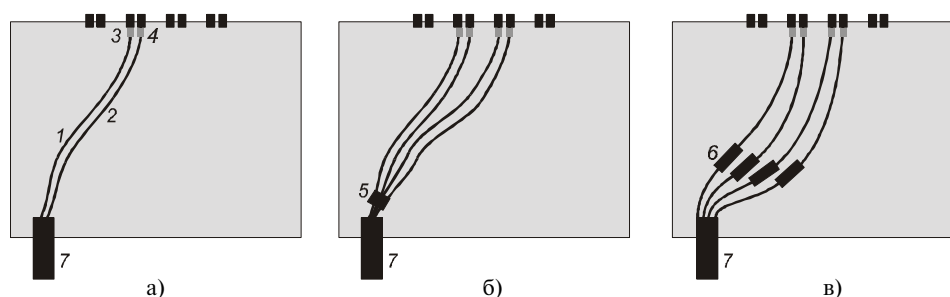
**Элементы маркировки оптических портов.** Для маркировки портов оптических коммутационно-распределительных устройств используются в основном те же элементы, что и для электрических панелей различных видов. Отметим только две особенности, прямо вытекающие из специфики рассматриваемого оборудования. Во-первых, практически не получила распространения практика маркировки вставками с иконками (как пример исключения укажем полки компании Siemon). Во-вторых, в связи с широким распространением в конструкциях полок и настенных муфт защитных экранов, закрывающих в рабочем положении розетки соединителей с подключенными к ним вилками, клеевые этикетки и сменные надписи часто устанавливаются на внешней поверхности их панели.

**Организатор световодов.** Основным назначением этого элемента является хранение технологического запаса длины волокон с соблюдением минимально допустимого радиуса изгиба. Конструктивно он может быть выполнен в виде барабана с боковыми лепестками, поддона с загнутыми вверх и внутрь краями или отдельных разрезных колец.

**Организатор неразъемных соединителей** предназначен для крепления трубок защитных гильз сварных соединений волокон или корпусов механических сплайсов. Организаторы световодов и неразъемных соединителей часто объединяются вместе. Такой комбинированный элемент называется сплайс-пластина. Емкость одной сплайс-пластины обычно не превышает 16 волокон с соответствующим количеством соединителей. При необходимости хранения большего количества световодов сплайс-пластины, как правило, устанавливаются рядом или чаще друг над другом.

**Кабельный фиксатор** используется для крепления магистрального или горизонтального кабеля на входе в корпус. Конструктивно может быть выполнен в виде зажима, защелки, цанги или перфорированной планки или лапки под стяжку. Решения «под стяжку» иногда применяются в комбинации с другими вариантами крепления.

Схема внутренней разводки коммутационного устройства зависит от используемой технологии установки вилок оптических разъемов на кабель. На практике находят применение три основные разновидности разводки, которые в схематическом виде показаны на рис. 111.



**Рис. 111.** Типовые схемы внутренней разводки оптических коммутационных устройств

В самом простейшем варианте, который изображен на рис. 111а, не выполняется дополнительное промежуточное соединение. На световоды 1 и 2 кабеля 7 тем или иным способом устанавливаются вилки 3 и 4 оптических разъемов, которые в процессе дальнейшей укладки подключаются к внутренней части розеток коммутационного устройства. Такой вариант характерен для случая использования клеевой технологии и механической технологии установки вилок [4], а также при применении так называемой претерминированной сборки (см. далее параграф 4.4.2). Аналогичная разводка получается также при использовании так называемых минипигтейлов [4], однако при этом используется дополнительное сварное соединение волоконных световодов, скрытое в корпусе элемента рассматриваемого вида.

Более сложный вариант изображен на рис. 111б и характерен в основном для случая упомянутой выше претерминированной сборки с групповым разъемом 5. Для разводки световодов по розеткам используется короткий комбинированный шнур, остающийся внутри корпуса и недоступный пользователю.

При больших объемах работ по созданию волоконно-оптических подсистем СКС широко применяются технологии сварки и установки механических сплайсов (рис. 111в). Для них характерно применение монтажных шнуров (pig tail)

длиной порядка 120 см. Использование обоих этих решений 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 тем или иным способом фиксируются внутри корпуса устройства, обычно с помощью организатора.

В зависимости от конструкции корпуса и способа его крепления различают несколько основных видов оптических коммутационных устройств, каждое из которых может иметь несколько вариантов и модификаций исполнения. Эти устройства подробнее рассматриваются ниже.

#### **4.3.2. Коммутационные стойки**

Коммутационные стойки применяются в тех случаях, когда число оптических портов в кабельной системе составляет несколько сотен и более. Эта конструкция обычно представляет собой несущую раму, на которой устанавливается штатное и дополнительное оборудование, оптимизированное для работы с большим количеством кабелей и соединительных шнуров.

При разработке стоек особое внимание уделяется увеличению плотности компоновки и удобства работы с соединительными шнурами. Известные в этой области решения базируются на выдвижных и откидных кассетах, причем для дальнейшего уменьшения габаритов кассета в рабочем положении может опускаться вниз на угол примерно в 30°.

Примером оборудования рассматриваемого класса является стойка NGF компании ADC. Ее основным элементом является выдвижной блок с оптическими разъемами различных типов. 12 таких блоков в одну или две вертикальные колонны устанавливаются в каркас FMDf высотой 2,1 м. Между колоннами расположена центральная панель для укладки в нее избытка длины соединительных шнуров. Укладка обеспечивается за счет того, что на панели выполнено 15 расположенных друг над другом круглых выступов. Избыток длины шнура вытягивается в виде петли, которая одевается на один из этих выступов. Применение данного технического решения позволяет производить коммутацию шнурами фиксированной длины 5,5 м.

В стойку вместо модулей с оптическими разъемами допускается установка других пассивных оптических компонентов типа разветвителей, мультиплексоров и т.д., что существенно расширяет ее функциональные возможности.

#### **4.3.3. 19-дюймовое коммутационное оборудование**

##### **4.3.3.1. Коммутационные полки классической конструкции**

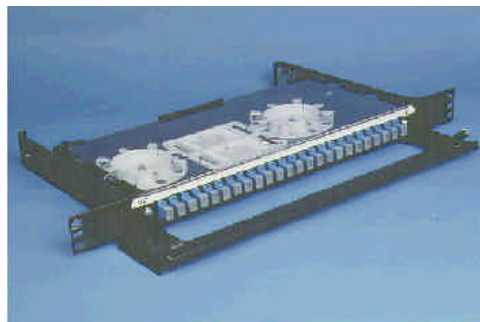
Коммутационные полки предназначены для установки в 19-дюймовые монтажные конструктивы (рис. 112). Для монтажа используются крепежные кронштейны. Иногда они выполняются подвижными и обеспечивают за счет этого плавное или дискретное регулирование глубины установки полки. Этот же эффект достигается в случае изготовления кронштейнов различной длины на заказ.

Передняя панель, на которой монтируются розетки, может быть выполнена как интегральная составная часть корпуса или же может быть съемной с креплением на поворотных задвижках или винтах. Последнее решение позволяет очень гибко адаптировать полку к конкретной ситуации за счет возможности выбора типа оптического разъема.

Кроме того, применяется так называемая модульная конструкция, когда розетки монтируются на сменных вставках, унифицированных с аналогичными элементами настенных муфт. Это решение дает несколько меньшую плотность пор-

тов, однако позволяет устанавливать в одной полке розетки различных типов, используя их, в частности, как средство механической блокировки от неправильного подключения.

Для увеличения количества портов полки без увеличения ее габаритов и облегчения их идентификации в некоторых случаях используется парная группировка розеток разъемных соединителей с вертикальным расположением пар, а также передние панели зигзагообразной формы с парой



**Рис. 112.** 19-дюймовая коммутационная полка

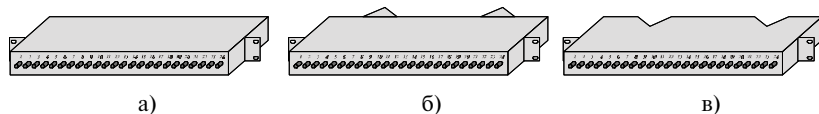
оптических розеток на каждой площадке. Дополнительным преимуществом панелей зигзагообразной формы является меньший радиус изгиба соединительного шнура. Реже применяется размещение розеток в двух уровнях с небольшим боковым смещением верхнего ряда относительно нижнего (полка FCP 2 компании Siemon) или в один ряд, но под углом 45° относительно продольной оси. Увеличение емкости полки достигается также повышением ее высоты и многоуровневым расположением розеток.

Компания RiT Technologies распространила действие системы PatchView (см. параграф 11.1.3.1) также и на оптические решения. Для этого в полке SMART F/O 96 каждая дуплексная SC-розетка снабжена индикаторным светодиодом, сама полка подключается к сканеру, а для коммутации используются шнуры Smart Jumper с дополнительным электрическим проводником диаметром 26 AWG для передачи по нему идентифицирующих сигналов.

Ввод кабеля в корпус обычно выполняется с задней стенки. Некоторые конструкции полок могут допускать ввод магистрального кабеля с левой, правой или задней стороны корпуса, что придает им большую функциональную гибкость. Известны также полки серии OR-625MMC компании Ortronics, в которых два кабельных ввода в виде прямоугольных отверстий выполнены в крышке корпуса.

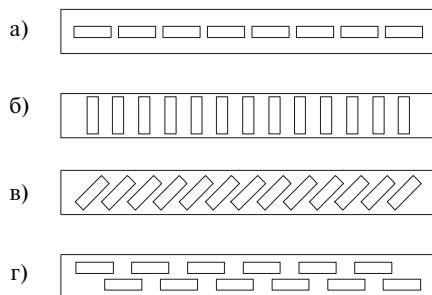
Оптические полки выпуска начала-середины 90-х годов имели прямой кабельный ввод, плоскость которого совпадала с плоскостью боковой или (чаще) задней стенки корпуса. Это вызывало определенные проблемы, особенно в случаях разделки кабелей внешней прокладки, связанные с трудностями обеспечения заданного направления ввода в тесном пространстве 19-дюймовых конструкций. Для устранения этого недостатка в современных конструкциях широко применяются решения, обеспечивающие ввод кабеля под определенным углом к продольной оси полки. Технически это может быть оформлено в виде выступа или выемки треугольной формы на задней стенке корпуса или же в виде проема в задней стенке, за которым под углом в 45° установлена планка под стяжку. Первые два решения являются более предпочтительными, так как обеспечивают большую герметичность внутреннего пространства полки.

Для обеспечения удобства монтажа и последующего эксплуатационного обслуживания некоторые типы полок снабжены полозьями, которые позволяют выдвигать их в переднее положение и иногда откидывать вниз примерно на 30°. Другим вариантом является установка корпуса полки на центральной или боковой оси во внешнем кожухе с поворотом при необходимости доступа во внутреннее пространство. Популярность данного решения серьезно ограничивается сложностью как линейного, так и углового перемещения корпуса полки в часто встречающемся на практике случае ввода в нее жесткого кабеля внешней прокладки.



**Рис. 113.** Варианты расположения кабельных вводов в оптических полках:  
а) прямой; б) угловой с выемкой; в) угловой с выступом

Под полкой или перед ней обычно устанавливается горизонтальный организатор. В него укладывается запас длины коммутационных шнуров. Кроме традиционной



**Рис. 114.** Варианты расположения розеток оптических разъемов на передней панели оптической полки:  
а) горизонтальный; б) вертикальный;  
в) угловой; г) двухрядное со смещением рядов

конструкции в форме колец или поддона достаточно широко применяются откидные организаторы, также оформленные в виде полок. Внутри корпуса этого элемента предусмотрено несколько кольцевых выступов для намотки на них избытка длины коммутационных шнуров. Ось для вращения располагается сбоку, там же для предотвращения вытягивания выполнено отверстие для ввода шнуров. Откидные организаторы позволяют хранить избыток длины коммутационных шнуров внутри корпуса, что существенно улучшает эстетические характеристики и удобство обслуживания полки. Наиболее ярко ее преимущества проявляются в СКС с развитой оптической подсистемой, требующей применения большого количества шнуров.

**Таблица 64.** Оптические полки

Фирма-производитель	Тип	Количество и тип розеток	Примечание
Lucent Technologies	600	12 или 24 ST или SC	Прозрачная верхняя сдвижная крышка, сменная передняя панель с креплением на поворотных задвижках
Panduit	FRME	24 или 48 ST	Установка розеток производится на сменных 6-позиционных лицевых панелях
Siemon	FCP-DWR-(X)	12 или 24 ST или SC	Прозрачная верхняя крышка. Угловая установка розеток на сменных вставках. Встроенный полочный организатор шнуров
RiT Technologies	SMART F/O 96	96 SC	Полка оборудована системой PatchView
	R3203050	12 ST	Угловая установка розеток

Краткая сводка полок некоторых производителей оборудования для СКС приводится в табл. 64.

#### 4.3.3.2. Другие виды 19-дюймового оптического оборудования

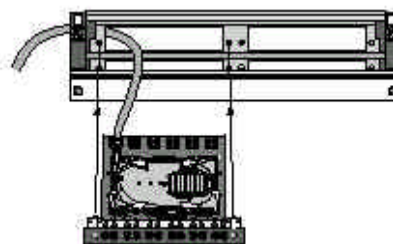
Ниже рассматриваются некоторые виды 19-дюймового оптического оборудования, которые не получили широкого распространения в практике построения оптических подсистем СКС и используются для решения различных частных задач.

В электрических коммутационных панелях определенную популярность получили так называемые разборные блоки 19-дюймовых коммутационных панелей (см. параграф 3.3.2.3). В гнезда этих панелей наряду с электрическими модулями могут быть установлены также вставки с розетками оптических разъемов, применяемые для организации информационных розеток на рабочих местах. Данное



решение позволяет как очень гибко менять конфигурацию панели, так и создавать панели в основном с оптическими розетками. На практике данным вариантом пользуются достаточно редко из-за неудобства монтажа (отсутствует организатор световодов и соединителей). Для его устранения компанией Panduit предложен организатор fibre spool барабанного типа, который навешивается на задней части панели на специальном крепежном кронштейне.

Другой способ расширения функциональной гибкости разборных блоков используется компанией Alcatel. Ее конструктив образован универсальной передней панелью серии Omega типа ACS-202.125, в монтажные отверстия которой вставляются шестипортовые оптоволоконные модули (рис. 115). Последний имеет переднюю стенку с розетками оптических разъемов 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 кабель и волокно от механических воздействий и отложений пыли.



**Рис. 115.** Коммутационная панель компании Alcatel с оптическим модулем

В виде 19-дюймовой полки могут выполняться не только коммутационно-разделочные устройства, но и промежуточные муфты. Примером могут служить изделия 404866 и 404867 (максимальная емкость 24 и 48 соединений соответственно) немецкой компании Datwyler. Сращивание волокон в такой полке выполняется через разъемные оптические соединители. Для установки их розеток внутреннее пространство полки разделено на две части продольной стенкой.

Другой вариант реализации промежуточной муфты для монтажа в 19-дюймовом конструктиве реализует следующая конструкция. Корпуса рассмотренных далее настенных муфт типов LIU100 и LIU200 производства компании Lucent Technologies могут быть установлены на монтажной пластинке типа 742A друг напротив друга. При этом панели с розетками разъемных соединителей крепятся только в одном из корпусов.

Использование рассмотренных выше конфигураций вместо обычных 19-дюймовых полок дает следующие преимущества:

- снижение стоимости за счет уменьшения вдвое количества розеток и лицевых панелей, а также отсутствия коммутационных шнуров;
- уменьшение суммарных потерь в тракте за счет сокращения количества разъемных соединителей;
- некоторое улучшение массогабаритных показателей.

#### **4.3.4. Настенные муфты**

Настенные муфты<sup>33</sup> обычно используются в качестве оконечных и коммутационных устройств для кабелей с небольшим количеством волокон (как правило, не более 24). Наиболее удобны в тех ситуациях, когда сетевое и комму-

<sup>33</sup> Иногда этот элемент называется шкафчиком. Данное название прижилось в отечественной научно-технической литературе и профессиональном жаргоне некоторых специалистов по кабельным системам, вероятно, из-за того, что оно применяется в СКС Mod-Tap, которая первой появилась в нашей стране. С Россией работает польское отделение производителя этой СКС — компании Molex, а по-польски данный элемент называется szafka — шкафчик.

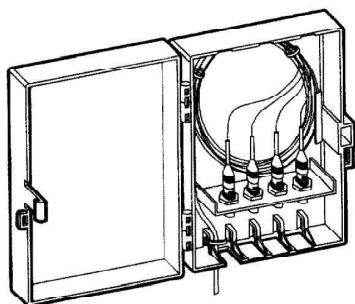


Рис. 116. Настенная муфта

тационное оборудование монтируется без применения закрытых конструктивов типа шкафов. Внешний вид одного из вариантов настенной муфты показан на рис. 116.

Настенные муфты достаточно часто применяются также для перехода от кабеля внешней прокладки поблизости от места его захода в здание к кабелю внутренней прокладки. В этой ситуации муфта может не иметь розеток оптических разъемов и выполняет функции обычной промежуточной муфты. Некоторые изготовители выпускают настенные муфты в металлических защитных корпусах с замком на

дверце. Это позволяет устанавливать их в помещениях со свободным доступом.

Конструктивно муфта представляет собой тонкостенный металлический или пластмассовый корпус, внутри которого размещаются организаторы и элементы крепления кабеля. Розетки оптических разъемов обычно располагаются в один или два ряда на правой боковой поверхности корпуса муфты (под правую руку специалиста, выполняющего коммутацию). При числе розеток 4-6 они иногда ориентированы вниз для защиты от загрязнений. Отверстия для установки розеток сверлятся в корпусе в заводских условиях или непосредственно на объекте монтажа «по месту». В последнем случае для улучшения эстетических характеристик готовой муфты рекомендуется пользоваться специальным шаблоном. В подавляющем большинстве муфт импортного производства для установки розеток применяются сменные вставки с шестью гнездами каждая, которые крепятся с помощью двух фиксаторов цангового типа. Иногда данные вставки выполняются унифицированными с возможностью применения также в полках модульной конструкции.

Для обеспечения механической защиты подключаемого к розетке соединительного шнура относительно широко распространены конструкции с внутренней стенкой для монтажа розеток или же с дополнительным внешним откидным защитным экраном. Последний изготавливается из металла или прозрачной пластмассы и достаточно часто снабжается внутренним замком.

При необходимости монтажа нескольких муфт друг над другом без бокового смещения используются конструкции, в левой части корпуса которых выделено место для транзитного прохода кабелей к вышестоящей муфте.

Таблица 65. Настенные оптические муфты

Фирма-производитель	Тип	Количество и тип розеток	Примечание
Lucent Technologies	100A3	12×ST, 6×D-ST 6×MIC	Муфты комплектуются 2 или 4 лицевыми панелями с 6 или 3 отверстиями под розетки различных типов. Недействующие места могут быть закрыты заглушками
	200A3	24×ST, 12×D-ST 12×MIC	
Panduit	FWHE	24 или 48 ST	Муфты имеют дополнительную защитную стенку и дверцу, которая закрывает розетки
Siemon	SWIC-(XX)	12, 24, 48×ST и SC	Применяется угловая установка вставок с одной или двумя парами розеток оптических разъемов. Розетки с внешней стороны закрываются откидной дверцей
Molex	M.O.R.E	12, 24×ST, FC и SC	Муфты комплектуются двумя или четырьмя 6-портовыми модульными лицевыми панелями с отверстиями под розетки различных типов. Розетки с внешней стороны закрываются откидной дверцей с замком

Одной из проблем работы с настенными муфтами, рассчитанными на большое количество портов, является сложность доступа к одной из сторон розеток в процессе выполнения подключений и перекоммутаций. Для устранения этого недостатка компанией Ortronics предложена конструкция муфты Surface Mount Fibre Cabinet с откидной монтажной рамкой по образцу трехсекционных настенных 19-дюймовых шкафов. Проблема доступа в ней решается возможностью откидывания центральной секции на петлях вбок.

Перечень настенных оптических муфт некоторых производителей оборудования для СКС приведен в табл. 65.

#### **4.3.5. Оптические многопользовательские розетки и консолидационные точки**

Оптические многопользовательские розетки и консолидационные точки относятся к сравнительно «молодому» типу оптического коммутационного оборудования, которое появилось только в конце 90-х годов в связи с быстрым ростом популярности открытых офисов. Изделия этого типа адаптируют концепцию fiber to the desk на случай открытого офиса. В некоторых случаях данный вид оборудования применяется как дополнение к розеткам мультимедиа (см. параграф 5.2.3.5). Конструктивно данные розетки и консолидационные точки выполнены в виде закрытого корпуса, не имеют элементов крепления в 19-дюймовом конструктиве и обладают соответствующими эстетическими характеристиками для наружного офисного применения. Изделия этого вида предназначены для установки на колонне, стене и других строительных конструкциях. Максимальная емкость известных образцов розеток не превышает 12 портов, то есть розетка является функциональным аналогом настенной муфты для своей специфической области применения.

Примерами многопользовательских розеток могут служить 12-портовые изделия 406818-406820 компании AMP, а консолидационной точки — изделие 406771 этой же компании.

#### **4.3.6. Информационные розетки**

Оптические информационные розетки выполняют функции интерфейсного элемента СКС со стороны пользователей и устанавливаются на рабочих местах. К ним подключается горизонтальный кабель, связывающий их с КЭ. Информационная розетка традиционной конструкции выполнена в виде вставки и состоит из корпуса и одной или нескольких розеток оптических разъемов, смонтированных на нем (рис. 117). На практике встречаются варианты исполнения как с прямой, так и с угловой с выступом и выемкой установкой розеток. Предпочтительной является установка розеток направляющими пазами вниз. При монтаже необходимо использовать такую схему разводки, чтобы левая розетка маркировалась символом А. Согласно нормативным документам, действующим на середину 1999 года, основным видом розеточных модулей для розеток рассматриваемого вида является SC. В случаях, описанных выше, в СКС разрешается использовать информационные розетки с ST-разъемами.



**Рис. 117.** Оптическая информационная розетка в виде вставки

Конструкция корпуса информационной розетки и способ ее установки должны обеспечивать возможность изгиба горизонтального кабеля радиусом не менее 30 мм. В остальном конструкция оптической информационной розетки не отличается от конструкции ее электрического аналога.

В качестве средства установки оптических портов кабельной системы широкое использование находят так называемые розетки мультимедиа, более подробно рассмотренные в параграфе 5.2.3.5. Основным преимуществом этого решения является возможность произвольно комбинировать электрические и оптические порты в зависимости от требуемой конфигурации рабочего места, а достаточно большие габариты позволяют легко решить проблему обеспечения требуемого радиуса изгиба волокна.

Большинство конструкций информационных розеток первого поколения представляет собой вставку для монтажа в короб с декоративной панелью, на которой устанавливаются розетки оптических разъемов. Общим недостатком данного решения является сложность монтажа разъемов в полевых условиях и невозможность использования технологии оконцевания, основанной на применении монтажных шнуров. Для его устранения в последнее время наряду с упомянутыми выше розетками мультимедиа большую популярность получили «двухэтажные» конструкции. В них на первом уровне, который обычно оформлен в виде монтажной коробки и размещается внутри короба, располагается организатор для укладки технологического запаса длины волокон, второй уровень образует собственно розетка с розеточными модулями оптических разъемов.

Оригинальное решение в этой области предложено компанией Panduit. В розетке серии MINI-COM предусмотрен организатор световодов барабанного типа серии CFS2XX (по фирменной терминологии fibre spool), расположенный в задней части корпуса розетки на пластиковом кронштейне. Емкости организатора достаточно для хранения до 12 м волокна в буферном покрытии 0,9 мм и максимум 2 м стандартного дуплексного кабеля для шнуров.

## **4.4. Оконцованные волоконно-оптические кабельные изделия**

### **4.4.1. Коммутационные и оконечные шнуры**

Аналогично электрическим оптические коммутационные шнуры предназначены для ручной коммутации различных кабельных сегментов СКС друг с другом.



**Рис. 118.** Коммутационный шнур с вилками SC-разъемов

Шнур состоит из отрезка кабеля для шнуров с вилками оптических разъемов, установленными на его концах (рис. 118). В подавляющем большинстве случаев из соображений удобства использования в СКС применяются двойные шнуры. Одинарный вариант шнуров на практике требуется достаточно редко и главным образом для подключения некоторых видов измерительного оборудования.

Действующие редакции стандартов СКС определяют в качестве основного типа оптических разъемов SC. Вилки SC-разъемов должны быть установлены на ка-

беле шнура таким образом, чтобы с обоих концов любого волокна оптического кабеля находились вилки с разной маркировкой — А-В или В-А. Если коммутационный шнур армирован вилками ST-разъемов, которые не имеют заводской маркировки, то она должна быть сделана любым другим способом и по той же схеме. Наиболее часто это реализуется на основе полимерных хвостовиков различного цвета. Например, выпускаемые фирмой Siemon вилки ST-разъемов могут комплектоваться хвостовиками черного и бежевого цветов. Решения на основе применения гаек фиксаторов, изготовленных из металла различных цветов (белого и желтого у вилок ST-разъемов швейцарской компании Brugg), используются существенно реже. При возникновении необходимости может быть применена маркировка самоламинирующимися этикетками или сменными надписями.

Оптические оконечные шнуры входят в состав подсистемы сетевого оборудования. Они состоят из отрезка двойного кабеля для шнуров, с одной стороны которого установлена вилка двойного SC-разъема для подключения к информационной розетке на рабочем месте или к коммутационному оборудованию в кроссовой. На втором конце шнура предусмотрена одна двойная или две одиночные вилки оптического разъема того типа, который необходим для подключения к сетевому оборудованию. Например, для подключения к FDDI-концентратору оконечный шнур на втором конце должен иметь вилку MIC-разъема (рис. 119).

Стандартный ряд длин серийно выпускаемых оконечных и коммутационных шнуров, как правило, содержит значения 3, 5, 10 и 15 м, более длинные шнуры или шнуры с отличной от стандартной длиной изготавливаются на заказ.

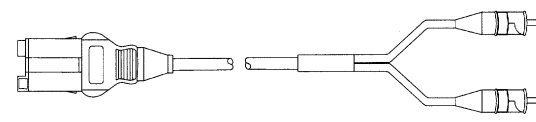


Рис. 119. Оконечный шнур ST-MIC

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. Более подробно этот вопрос рассмотрен в монографии [4].

Изготовители практикуют в основном индивидуальную упаковку шнуров в прозрачный пластиковый пакет, в который может вкладываться этикетка с паспортом шнура, где указывается, в частности, фактическое затухание и коэффициент обратного отражения (последнее значение — для одномодовых шнуров).

#### 4.4.2. Претерминированные сборки

Претерминированные сборки, или кабели (preterminated cables), позволяют проводить строительство кабельных трасс без использования сварки и оконцовки волокон на объекте, что несколько уменьшает стоимость работ и время их выполнения. Сборка представляет собой отрезок многоволоконного оптического кабеля, который оконцован вилками оптических разъемов в стационарных производственных условиях с выполнением соответствующих проверок и снабжен специальной оконечной арматурой. Арматура обычно выполнена в виде герметичного наконечника из металлической или пластмассовой трубки, внутри которого производится укладка вилок с запасом длины волокна. При использовании претерминированной сборки монтажные работы сводятся к протяжке кабеля, удалению армирующего наконечника и подключению вилок к розеткам разъемных соединителей полки или настенной муфты.

Поверхность наконечника может быть выполнена гладкой или гофрированной. Последнее решение увеличивает гибкость, однако выступы гофра цепляют-

ся за неровности кабельных каналов. Для устранения этого недостатка на гофрированный наконечник может быть одет защитный чехол из тонкого эластичного материала.

На переднем конце наконечника предусматривается проушина или устанавливается рым-болт для протяжки. Несмотря на более высокую стоимость, последний вариант является более предпочтительным, так как устраняет возможное закручивание кабеля в процессе протяжки.

Для облегчения установки в полке или настенной муфте защитная арматура может быть выполнена составной. Головная часть после завершения прокладки удаляется, задняя часть остается на кабеле и используется в качестве силового элемента, на который накладывается зажим кабельного держателя. Такое решение использовано в серии сборок Fiber Quick швейцарской компании Brugg.

Достаточно перспективным представляется применение для армирования кабеля претерминированной сборки группового разъема, так как в этом случае можно существенно уменьшить длину и диаметр защитного наконечника. Для разводки световодов по отдельным розеткам муфты или полки в этом случае используется короткий комбинированный шнур.

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 с кольцом для протяжки и элементами крепления кабеля шнура, в который укладываются наконечники оптических соединителей.

Сборка обычно поставляется на барабане. В случае армирования обоих концов к ним обеспечивается свободный доступ обычно за счет намотки концевых участков кабеля с оконечной арматурой в отдельной секции барабана, образованные дополнительной внутренней стенкой.

Некоторые фирмы (Lucent Technologies, ADC, Fibertron, Molex) выпускают претерминированные сборки, один из концов кабеля которых уже введен в распределительную полку и подключен к розеткам разъемных соединителей. Данная конструкция получила название претерминированных полок (preterminated shelves). Полка может располагаться как с одного, так и с двух концов кабеля. Для предотвращения попадания пыли внутрь при протяжке в кабельном канале швейцарская фирма Suhner предлагает изделия рассматриваемой группы с полками в защитных чехлах.

Претерминированные сборки оказываются также весьма удобными при организации временных связей. В этом случае кабель сборки имеет относительно небольшую длину (до 300 м) и поставляется намотанным на барабан диаметром порядка 70 см, снабженным установочными ножками и ручкой для размотки (решение швейцарской компании Brugg).

Применение претерминированных сборок и полок оправдано при протяженности трассы до 2 км и требует точного знания ее длины. Армироваться может один или два конца кабеля, что оговаривается при заказе.

Претерминированная сборка может являться также центральным элементом специализированных структурированных волоконно-оптических кабельных систем. В качестве примера такого подхода отметим систему FLine немецкой фирмы Keypen.

#### **4.4.3. Ремонтные кабельные вставки**

Ремонтные кабельные вставки используются для быстрого восстановления связи в случаях повреждения магистрального кабеля. Данное изделие представляет собой отрезок кабеля длиной 100-300 м на катушке, причем кабель с обоих концов снабжен муфтами. В различных вариантах реализации вставок в муфте могут устанавливаться розетки оптических разъемов или просто укладываться запас волокна.

Для облегчения перемещения катушка снабжается ручками и установочным каркасом на колесиках. Удобство транспортировки вставки обеспечивается укладкой муфт внутрь катушки таким образом, чтобы они не выступали за ее габарит.

Подключение волокон магистрального кабеля зависит от конструкции оконечных муфт и может выполняться с помощью механических сплайсов или адаптеров быстрого оконцевания.

#### 4.4.4. Монолитные распределительные панели

Монолитные распределительные панели, или мини-панели, являются новым типом оконцованных кабельных изделий, поступившим в широкую коммерческую продажу в самом конце 90-х годов. По своей идее и исполнению эти панели очень похожи на претерминированные полки, однако имеют следующие существенные отличия от них:

- корпус панели является монолитной конструкцией и, в отличие от полки, пользователь или монтажник не имеет возможности доступа в его внутреннюю часть в процессе монтажа и эксплуатации; монолитная конструкция корпуса позволяет существенно уменьшить его габариты;
- кабель панели оконцовывается вилкой группового соединителя.

Оптический тракт на основе изделий рассматриваемого вида может быть построен по двум основным схемам. Первая из них называется «экономичной» [61] и основана на применении двух панелей различной длины. При этом длина кабеля одной из таких панелей полностью определяется протяженностью конкретной трассы. В так называемом «гибком» варианте кабеля панели имеют одинаковую и достаточно небольшую длину (порядка 1 м), для их соединения используются обычные претерминированные сборки. Из изложенного видно, что основное отличие между представленными вариантами состоит в числе разъемных соединителей в тракте: один в первом случае и два во втором. Изделия рассматриваемого вида являются основным элементом волоконно-оптической кабельной системы FiberExpress Bar Cabling System американской компании NORDX/CDT.

## 4.5. Адаптеры

Оптические адаптеры, как и оконечные шнуры, используются в подсистеме подключения сетевого оборудования и формально не входят в область действия стандартов. Основное назначение этих изделий — обеспечение возможности подключения друг к другу вилок разъемов разных типов. Адаптеры применяются в процессе выполнения коммутации при отсутствии нужного вида оконечных шнуров. Наиболее широкое распространение на практике получили следующие элементы этого вида:

- переходные розетки;
- FM-разъемы.

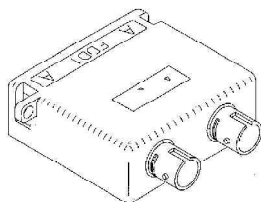


Рис. 120. Переходная розетка MIC-2ST

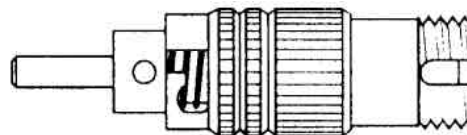


Рис. 121. FM-разъем

Переходные розетки применяются для подключения вилок разъемов двух различных типов. Это устройство представляет собой проходную розетку с общей центрирующей гильзой и гнездами двух разных типов по обе стороны. На рис. 120 изображен пример переходной розетки, обеспечивающей соединение вилок разъемов типов MIC и ST.

FM-разъемы (female-male) (рис. 121) обеспечивают подключение вилки разъема одного типа к розетке разъема другого типа. Они представляют собой вилку, задняя часть которой выполнена в виде гнезда розетки для подключения в нее наконечника вилки разъема другого типа.

Некоторые виды сетевого оборудования имеют очень высокую чувствительность фотоприемника, что приводит к его перегрузке на трассах небольшой протяженности, характерных для структурированных кабельных систем. В этой ситуации для обеспечения работоспособности аппаратуры применяют оптические аттенюаторы. Известен ряд принципов исполнения этих устройств. В СКС удобно применять аттенюаторы-розетки и FM-адаптеры с встроенными аттенюаторами. Данные разновидности этих приборов могут быть выполнены как фиксированными, так и переменными с плавной регулировкой вносимого затухания. FM-адаптер с аттенюатором из-за особенностей выполняемых им функций может иметь гнездо и вилку разъема одного типа. При наличии альтернативы для построения трактов СКС предпочтительнее применять аттенюаторы на основе FM-адаптеров.

## 4.6. Промежуточные муфты

Промежуточные муфты (рис. 122) применяются в подсистеме внешних магистралей для сращивания сегментов кабелей внешней прокладки. Необходимость этого возникает по двум причинам:

- существуют ограничения на длину строительных сегментов кабеля внешней прокладки. Поэтому длинные внешние волоконно-оптические магистрали состоят из нескольких сегментов кабеля (обычно по 1-4 км каждый), сращенных в промежуточных муфтах;
- при повреждении или обрыве кабеля внешней прокладки места его сращивания при ремонте защищаются промежуточными муфтами.

В отличие от рассмотренных выше коммутационных полок и настенных муфт изделия рассматриваемого вида имеют две основные конструктивные особенности: у них отсутствуют розетки для подключения внешних шнуров и имеются уплотняющие сальники, прокладки, манжеты и другие элементы, обеспечивающие герметизацию внутреннего объема.

Промежуточные муфты эксплуатируются круглогодично и в тяжелых условиях:

- в коллекторах и колодцах кабельной канализации;
- непосредственно зарытыми в грунт;
- в болотах;
- на дне водоемов;
- на столбах воздушных линий связи.

Конструкция всех изделий, рассматриваемых в этом разделе, должна обеспечивать герметичность при замерзании во льду.

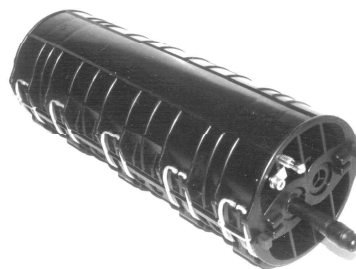


Рис. 122. Промежуточная муфта



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 кассетами для укладки оптических сростков и предусмотрены элементы герметизации внутреннего объема, а также обеспечения непрерывности броневых и упрочняющих элементов кабеля.

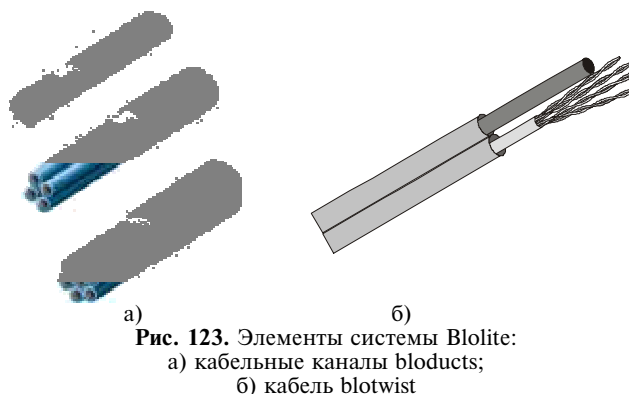
Герметизация муфты осуществляется холодным или горячим способом с помощью заливочной массы, термоусаживаемых трубок, прокладок и манжет, а также специальных мастик и герметизирующих лент, например ленты типа VM компании 3М. В последнее время появилось несколько конструкций, которые за счет применения высококачественных прокладок и манжет, а также специальной формы нажимных поверхностей позволяют добиваться требуемого уровня герметичности чисто механическими способами (затяжка болтами или хомутами) без использования герметиков и процессов термической усадки. Это существенно ускоряет и упрощает процесс работы с муфтой, особенно при необходимости ее многократной сборки и разборки.

В зависимости от количества и расположения кабельных вводов различают прямую (вводы с разных сторон корпуса) и тупиковую, или стаканчиковую (вводы с одной стороны корпуса), а также проходную (два ввода) и разветвительную (три или более вводов) муфты.

## 4.7. Система Blolite

Система Blolite разработана английской компанией BICC в конце 80-х годов и представляет собой удачную адаптацию к области структурированных кабельных систем известного в кабельной технике метода пневмозаготовки каналов. Согласно концепции этой системы по трассе прокладываются не оптические кабели, а пустые кабельные каналы (bloducts), в которые затем по мере необходимости сжатым воздухом вдувается оптическое волокно. Принципиальное отличие от традиционного метода пневмозаготовки состоит в том, что в системе Blolite при прокладке световодов не применяется вытяжной парашют.

Для использования в системе Blolite предназначены специальные оптические волокна трех основных типов: 9/125, 50/125 и 62,5/125, которые отличаются от обычных наличием дополнительной внешней оболочки из антистатического материала со специальной структурой верхней поверхности, увеличивающей эффективность продвижения световода в воздушном потоке. Для увеличения гибкости волокна внешний диаметр его вторичного защитного покрытия уменьшен



**Рис. 123.** Элементы системы Blolite:  
а) кабельные каналы bloducts;  
б) кабель blotwist

примерно до 500 мкм. Световод допускает непосредственную установку вилок оптических разъемов без использования сварки или применения механических сплайсов.

Кабельные каналы имеют диаметр 5 или 8 мм (внутренний диаметр 3,5 и 6 мм соответственно), причем в одной общей оболочке может располагаться от одного до семи таких каналов (рис. 123а). Каналы диаметром 5 мм применяются на трассах длиной до 500 м, использование 8-миллиметровых каналов позволяет создавать трассы длиной до 1000 м. Максимальная длина вертикальных трасс составляет 300 м. Кабельные каналы могут иметь наряду с обычной также влагостойкую оболочку, что позволяет прокладывать их между зданиями. При прокладке внутри здания возможно также применение кабелей типа Blotwist с максимум четырьмя экранированными или неэкранированными электрическими модулями категории 5 и одной трубкой кабельного канала (рис. 123б). Эти модули могут быть выполнены в вариантах UTP (серия C5U), STP (C5F) и S/STP (C5S). Для облегчения процедуры идентификации возможна окраска их внешних оболочек в различные цвета.

В одном кабельном канале может прокладываться до четырех световодов (в перспективе предполагается увеличить это значение сначала до 8, а затем до 12), скорость прокладки составляет 40 метров в минуту, на трассе может быть до 300 поворотов с радиусом изгиба 25 мм. Прокладка дополнительных линий в большинстве случаев не требует остановки работы кабельной системы.

Согласно концепции Blolite, в момент создания кабельной системы прокладываются не оптические кабели, а относительно дешевые кабельные каналы. Количество световодов, соединяющих те или иные точки, определяется конкретными потребностями в данный момент времени. Одновременно значительно упрощается процедура замены волокна одного типа на другой и ремонт поврежденных световодов, так как заменяемое волокно просто выдвигается из канала.

Для обеспечения возможности развития и эксплуатационного обслуживания системы кабельных каналов разработан набор аксессуаров и технологического оборудования. В состав аксессуаров входят элементы сращивания кабельных каналов, в том числе с разным диаметром, заглушки, промежуточные муфты для внутреннего и внешнего монтажа и т.д.

Прокладка волокон в кабельный канал осуществляется с помощью комплекта BloCentre, в состав которого входят электрический воздушный компрессор и осушитель воздуха. Последний может подключаться также к обычному баллону со сжатым воздухом. Для доставки на объект компрессор и осушитель пакуются в два чемодана.

После прокладки кабельных каналов их проверяют с помощью комплекта тестовых приспособлений. Для контроля отсутствия загибов, пережатий и других аналогичных дефектов в канал вдувается полимерный шарик, который задерживается на выходе специальным уловителем. Отсутствие отверстий и разрывов проверяется по постоянству давления, которое предварительно создается в канале (максимум 10 бар).

По оценкам разработчиков системы ее использование позволяет распределить во времени расход до 65% от общего объема средств, необходимых для реализации кабельной системы. Кроме того, стоимость ремонта поврежденных участков трассы оказывается дешевле примерно на 40% по сравнению с трассами на основе традиционных кабелей.

## 4.8. Выводы

Технические, механические и эксплуатационные характеристики волоконно-оптических изделий различного назначения полностью соответствуют современным требованиям к элементной базе структурированных кабельных систем. Это дает возможность без каких-либо специальных ограничений реализовывать оптические подсистемы во всех тех случаях, когда это необходимо по условиям конкретного проекта. Уровень стандартизации волоконно-оптических компонентов и их техническое исполнение позволяют использовать при организации оптических и электрических подсистем СКС одинаковые типовые приемы, основные правила построения и технические решения.

Волоконно-оптические кабельные изделия СКС и сетей связи общего пользования в значительной степени унифицированы. Это обеспечивает как существенное превышение некоторых фактических параметров кабелей СКС (например, затухания) по сравнению с теми значениями, которые нормируются стандартами, так и низкий уровень цен на элементную базу.

Возможность применения при разработке оптического кабеля различных типов вторичных защитных покрытий волоконных световодов позволяет оптимальным образом согласовывать конструкцию кабеля с областью его применения. В результате для каждой из трех подсистем СКС существует свой основной тип оптического кабеля.

В настоящее время для построения СКС применяются главным образом многомодовые кабели. Рост популярности одномодовых решений не в последнюю очередь обусловлен необходимостью поддержки работы сверхвысокоскоростных сетевых интерфейсов типа Gigabit Ethernet.

Основная масса многомодовых кабелей и коммутационных шнуров СКС выполняется из волокна типа 62,5/125 и поэтому именно их рекомендуется применять для построения кабельных систем. Кабели с волокном типа 50/125 предпочтительней использовать в случае необходимости передачи сигналов Gigabit Ethernet на расстояние 300–500 м.

Основным видом разъема в СКС является разъем типа SC, в ближайшей перспективе в перечень разъемов, разрешенных для применения в СКС, будет введен один или несколько типов разъемов с увеличенной плотностью монтажа и одинаковым форм-фактором с электрическим разъемом модульного типа. Это позволит значительно увеличить уровень унификации электрических и оптических коммутационных устройств и упростить интеграцию электрических и оптических решений.

Основным видом коммутационного оборудования оптических подсистем СКС является 19-дюймовая полка. Наличие таких серийных устройств, как настенная муфта и коммутационная стойка, позволяет очень гибко учитывать в конкретном проекте местные условия в технических помещениях. Специфика построения линий оптических сетей СКС, в частности, рост популярности решений типа fibre to the desk и организации открытых офисов, определяет также наличие некоторых типов оптического коммутационного оборудования (абонентская розетка, консолидационная точка), которые не встречаются в сетях связи общего пользования.

Наличие значительно более развитой по сравнению с электрическими подсистемами номенклатуры оконцованных кабельных изделий гарантирует быстроту построения оптических линий связи СКС, а также восстановление связи в аварийных ситуациях без применения сложного и дорогого специализированного технологического оборудования.