

П.А. Самарский

# Оснoвы структурированных кабельных систем



Академия  
АйТи



Москва, 2005

УДК 621.315.21

ББК 32.845.6

С30

**Самарский П.А.**

С30 Основы структурированных кабельных систем / Самарский П.А. – М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2005. – 216 + 12 с.: ил.

**ISBN 5-98453-014-7**

Книга имеет целью кратко познакомить читателя с основами структурированных кабельных систем и помочь ему свободно ориентироваться в этой бурно развивающейся отрасли корпоративных телекоммуникаций. Издание, ориентированное на специалистов в области телефонии, локальных вычислительных сетей, телевидения и других телекоммуникационных систем зданий, полностью соответствует обновленным редакциям международного и американского стандартов на структурированные кабельные системы, а также дополнительным стандартам, относящимся к этой области.

Книга предназначена для поддержки и обучения специалистов, проектирующих, устанавливающих и эксплуатирующих корпоративные телекоммуникации и информационные системы. Опытным инженерам она может быть полезна для систематизации знаний и ознакомления с требованиями стандартов в действующей сегодня редакции.

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

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

ISBN 5-98453-014-7

© Самарский П.А.

© Оформление. Компания АйТи, 2005

© Издание. ДМК Пресс, 2005

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие .....</b>	<b>11</b>
--------------------------	-----------

## **Часть I**

<b>Базовые сведения о структурированной кабельной системе и ее электрические компоненты .....</b>	<b>13</b>
---	-----------

## **Глава I**

<b>Введение в структурированные кабельные системы.....</b>	<b>15</b>
1.1. Концепция кабельной системы.....	15
1.2. Кабельная система — основа телекоммуникационной инфраструктуры здания.....	16
1.3. Телекоммуникационная кабельная система — капитальная инженерная система здания .....	17
1.4. «Интеллектуальное» здание .....	17
1.5. Торговая марка кабельной системы .....	18
1.6. Сертификация кабельных систем .....	18

## **Глава II**

<b>Базовые сведения о структурированной кабельной системе .....</b>	<b>20</b>
2.1. Определения структурированной, исключительной и централизованной кабельных систем.....	20
2.2. Преимущества структурированной кабельной системы по сравнению с исключительной кабельной системой .....	21
2.3. История развития и стандартизации структурированных кабельных систем.....	23

## Глава III

### Требования и рекомендации международного стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) «Информационная технология.

### Структурированная кабельная система для территории и зданий заказчика»..... 25

3.1. Общее описание стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) .....	25
3.2. Структура кабельной системы .....	27
3.3. Топология структурированной кабельной системы .....	32
3.4. Общие требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к функциональным компонентам структурированной кабельной системы. ....	34
3.4.1. Взаимное соединение подсистем кабельной системы и присоединение к ней активного оборудования .....	34
3.4.2. Понятия «канал» и «стационарная линия» .....	37
3.4.3. Общие требования к распределительным устройствам .....	39
3.4.4. Общие требования к кабелям, шнурам и перемычкам .....	40
3.4.5. Общие требования к информационным розеткам .....	41
3.4.6. Общие требования к точке консолидации .....	42
3.4.7. Общие требования к помещениям для элементов СКС, устройствам ввода кабелей в здание и к кабелям внешних сервисов .....	43
3.5. Электромагнитные характеристики электрической части структурированной кабельной системы .....	45
3.5.1. Условия, договоренности и ограничения, принятые для спецификаций электромагнитных параметров электрической части СКС .....	45
3.5.2. Классификация симметричных электрических каналов и линий .....	47
3.6. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к электромагнитным параметрам каналов и стационарных линий на основе симметричных электрических кабелей .....	48
3.6.1. Характеристическое полное (волновое) сопротивление .....	48
3.6.2. Возвратные потери (Return Loss) .....	50
3.6.3. Потери ввода (Insertion Loss) .....	52
3.6.4. Переходное затухание на ближнем конце (NEXT) .....	53
3.6.5. «Суммарное» переходное затухание на ближнем конце линии или канала (PSNEXT) .....	55



3.6.6. Переходное затухание на дальнем конце (FEXT) и его «суммарное» значение (PSFEXT) .....	56
3.6.7. Нормированное на потери ввода переходное затухание на ближнем конце (ACR) .....	57
3.6.8. «Суммарное» нормированное на потери ввода переходное затухание на ближнем конце (PSACR) .....	60
3.6.9. Нормированное на потери ввода переходное затухание на дальнем конце тракта (ELFEXT).....	61
3.6.10. «Суммарное» нормированное на потери ввода переходное затухание на дальнем конце (PSELFEXT) .....	62
3.6.11. Задержка сигнала (PD) и перекос задержек (DS) .....	62
3.6.12. Характеристики каналов и стационарных линий по постоянному току .....	63
3.7. Администрирование структурированной кабельной системы .....	66
3.7.1. Понятие администрирования СКС .....	66
3.7.2. Требования международного стандарта ISO/IEC 14763-1: 1999(E) к администрированию СКС .....	66
3.7.3. Программные и аппаратные средства администрирования кабельной системы .....	72

## Глава IV

<b>Изготовление структурированной кабельной системы и требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к ее электрическим компонентам .....</b>	<b>75</b>
4.1. Рекомендации стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к реализации электрической части структурированной кабельной системы .....	75
4.1.1. Общие требования .....	75
4.1.2. Реализация горизонтальной подсистемы .....	76
4.1.3. Реализация магистральных подсистем .....	79
4.2. Компонентный состав реальной структурированной кабельной системы .....	81
4.3. Симметричные электрические кабели для структурированных кабельных систем .....	82
4.3.1. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к симметричным электрическим кабелям .....	82

---

4.3.2. Классификация кабелей по пожарной опасности .....	84
4.3.3. Американская классификация кабелей по назначению .....	87
4.3.4. Цветовая маркировка проводников в зарубежных кабелях .....	88
4.3.5. Конструкции симметричных электрических телекоммуникационных кабелей .....	89
4.3.6. Надписи на внешней оболочке кабеля .....	90
4.4. Распределительные устройства .....	91
4.4.1. Технология IDC — современная технология электрического соединения проводников с контактами устройств .....	91
4.4.2. Виды и назначение распределительных устройств .....	92
4.5. Информационные разъемы .....	93
4.6. Точки консолидации .....	95
4.7. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к соединительным устройствам .....	96
4.8. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к шнурам коммутационным, шнурам оборудования и к шнурам рабочего места .....	99
4.9. Вспомогательные средства и компоненты для построения реальной кабельной системы .....	101
4.10. Специализированный инструмент и монтаж кабелей и разъемов высоких категорий .....	101
4.11. Тестирование электрических линий и каналов структурированной кабельной системы .....	103
4.11.1. Общие сведения о тестировании структурированной кабельной системы .....	103
4.11.2. Оборудование для тестирования кабельной системы в «полевых» условиях .....	105
4.11.3. Практические рекомендации по тестированию СКС .....	108

## Часть II

<b>Базовые сведения об оптоволоконне и волоконно-оптические компоненты структурированной кабельной системы.....</b>	<b>109</b>
---	------------

## Глава V

<b>Введение в волоконно-оптическую технику связи .....</b>	<b>111</b>
5.1. Предварительные замечания .....	111
5.2. Основные волоконно-оптические понятия и термины.....	112
5.3. Преимущества волоконно-оптических линий связи и трудности при их использовании .....	113
5.4. Структурная схема волоконно-оптической линии связи .....	115

## Глава VI

<b>Базовые сведения об оптоволоконне .....</b>	<b>117</b>
6.1. Волоконные световоды .....	117
6.1.1. Определение волоконного световода .....	117
6.1.2. Принцип действия оптоволоконна на лучевом языке .....	118
6.1.3. Понятие электромагнитных волн .....	121
6.1.4. Принцип действия оптоволоконна на волновом языке .....	122
6.1.5. Понятие моды электромагнитных волн .....	122
6.1.6. Профили показателя преломления оптоволокон.....	126
6.1.7. Изготовление оптоволокон и их технологические параметры .....	127
6.2. Параметры оптоволокон .....	129
6.2.1. Влияние параметров оптоволоконна на качество линий связи .....	129
6.2.2. Числовая апертура оптоволокон .....	129
6.2.3. Виды потерь света при его передаче по ВОЛС .....	132
6.2.4. Рассеяние и поглощение света в оптоволоконне .....	133
6.2.5. Световой импульс .....	138
6.2.6. Дисперсия световых волн в оптоволоконне и искажения формы светового импульса .....	140
6.2.7. Коэффициент широкополосности оптоволоконна .....	145

## **Глава VII**

### **Волоконно-оптические компоненты**

<b>структурированной кабельной системы.....</b>	<b>149</b>
7.1. Компонентный состав волоконно-оптической части структурированной кабельной системы .....	149
7.2. Волоконно-оптические кабели.....	150
7.2.1. Кабели внешней прокладки .....	150
7.2.2. Внутриобъектовые кабели.....	152
7.3. Соединители оптоволокон .....	154
7.3.1. Неразъемные соединители (сплайсы) .....	155
7.3.2. Разъемные соединители (коннекторы и адаптеры) .....	158
7.4. Волоконно-оптические распределительные устройства .....	160
7.5. Технологии оконцевания оптоволоконна коннекторами.....	162

## **Глава VIII**

### **Оконцевание оптоволоконна и монтаж сплайсов .....**

8.1. Клеевая технология и инструмент .....	166
8.2. Бесклеевая технология и инструмент .....	167
8.3. Монтаж механического сплайса.....	168
8.4. Изготовление сварного сплайса.....	168

## **Глава IX**

### **Тестирование оптоволоконных линий и каналов СКС ...**

## **Глава X**

### **Идеальный коннектор.....**

10.1. Техника безопасности при работе с оптоволоконном .....	172
10.2. Виды брака при оконцевании волокна коннекторами .....	174
10.3. Признаки идеального коннектора .....	175

**Глава XI**

<b>Требования международного стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к волоконно-оптической части СКС .....</b>	<b>178</b>
11.1. Общие замечания .....	178
11.2. Каналы оптических классов .....	179
11.3. Топология оптических каналов .....	181
11.4. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к ослаблению в волоконно-оптических каналах СКС.....	183
11.5. Требования к волоконно-оптическим кабелям .....	184
11.6. Требования к оптоволоконным соединительным устройствам .....	186
11.7. «Полярность» коннекторов и адаптеров .....	188

**Глава XII**

<b>Новейшие технологии волоконно-оптической техники .....</b>	<b>190</b>
---	------------

<b>Заключение .....</b>	<b>193</b>
-------------------------	------------

**Приложения**

<b>Приложение I.1 .....</b>	<b>195</b>
<b>Приложение I.2.....</b>	<b>197</b>
<b>Приложение I.3.....</b>	<b>199</b>
<b>Приложение I.4.....</b>	<b>200</b>
<b>Приложение II.1 .....</b>	<b>201</b>
<b>Приложение II.2 .....</b>	<b>202</b>
<b>Приложение II.3 .....</b>	<b>203</b>
<b>Приложение II.4 .....</b>	<b>204</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>205</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>208</b>



# Предисловие

Книга имеет целью кратко познакомить читателя с основами структурированных кабельных систем и помочь ему свободно ориентироваться в этой бурно развивающейся отрасли корпоративных телекоммуникаций.

К сожалению, на сегодняшний день в России отсутствует национальный стандарт на структурированные кабельные системы, отечественная терминология в этой области не устоялась, техническая литература по этой тематике немногочисленна, разрознена и изобилует неточностями, производство большинства компонентов современных кабельных систем на территории России не налажено.

В этих условиях специалистам в области телефонии, локальных вычислительных сетей, телевидения и других телекоммуникационных систем зданий приходится зачастую принимать решения, далекие от оптимальных по финансовым затратам, трудоемкости и долговечности кабельного хозяйства своего предприятия.

Для поддержки и обучения специалистов, проектирующих, устанавливающих и эксплуатирующих корпоративные телекоммуникации и информационные системы, сотрудниками компании АйТи был подготовлен специальный курс по структурированным кабельным системам, который читается в Академии АйТи с 1996 года, и опубликована книга [1], выдержавшая пять изданий в России и одно за рубежом [2].

Сегодня, после выхода в свет в 2001–2002 г.г. обновленных редакций американского и международного стандартов на структурированные кабельные системы, а также ряда дополнительных стандартов, относящихся к этой области, упомянутый курс [3, 4] существенно переработан и обновлен. Его содержание и легло в основу этой книги, состоящей из двух частей: «I. Базовые сведения о структурированной кабельной системе и ее электрические компоненты» и «II. Базовые сведения о волоконно-оптической технике и волоконно-оптические компоненты структурированной кабельной системы».

В отличие от [1] книга предназначена, в первую очередь, для начинающих специалистов и, поэтому, не может сравниться с [1] по полноте материала. Опытным

специалистам она может быть полезна для систематизации знаний и ознакомления с требованиями стандартов в действующей сегодня редакции.

Автор выражает благодарности своим учителям в этой области: специалистам компании АйТи г.г. Семенову А. Б., Сунчелею И. Р., Космовскому В. Н. — за полезные обсуждения технических вопросов; своим коллегам по Академии АйТи: ректору Академии АйТи г. Морозову И. О. и сотрудникам отдела обучения г.г. Соболеву Д. О., Цветкову Н. С. — за моральную и организационную поддержку работы над обновленным курсом Академии АйТи и этой книгой, а также директору издательства «АйТи-Пресс» г. Логиновой А. Ю. — за помощь в выпуске ее в свет.



# Часть I

## Базовые сведения о структурированной кабельной системе и ее электрические компоненты



# Глава I

## Введение в структурированные кабельные системы

### 1.1. Концепция кабельной системы

Слаботочные кабельные системы в зданиях стали переосмысливаться специалистами в 80-х годах 20 века, когда началось массовое производство персональных компьютеров и объединение их в локальные вычислительные сети (ЛВС). К этому моменту в промышленных зданиях обычным было присутствие отдельных кабельных проводок для телефонии, телевидения и ряда других специальных инженерных систем. Как правило, эти системы предъявляли невысокие требования к электромагнитным характеристикам линий и каналов связи, организуемых с помощью кабельной проводки. Появление быстродействующих ЛВС потребовало и более быстродействующих каналов связи, и возникшую задачу самостоятельно решали разработчики ЛВС, начиная от выбора кабелей и их прокладки, и кончая их терминированием и измерениями.

Поскольку ЛВС разрабатывали и поставляли различные фирмы, постольку кабельные части этих ЛВС реализовывались по-разному, хотя проблемы были общие и одинаковые. В 1984 году фирмой IBM впервые для ЛВС была предложена кабельная система, т. н. IBM Cabling System, которая включала в себя кабели, соединители кабелей, распределительные панели (англ. patch panels) и лицевые платы (англ. face plates) [5]. Впервые были классифицированы кабели: их разделили на 9 типов по назначению и конструкции, а типы 4 и 7 были названы, но их характеристики не были оговорены в расчете на будущее. ЛВС продолжали развиваться и проблемы, связанные с совместимостью аппаратуры и кабельных проводок, получаемых потребителями от различных поставщиков, нарастали.

Стало очевидно, что телекоммуникации в зданиях должны выполняться по единым правилам, иметь одинаковые средства коммутации и подключения

оборудования, обеспечивать заранее известные параметры среды передачи данных. Начала формироваться концепция *кабельной системы*, т. е. устройства, выполненного из компонентов стандартизованного ряда, построенного по модульному принципу, обладающего заранее заданными характеристиками, которые достаточны для обеспечения работоспособности телефонов, компьютеров и другой радиоэлектронной аппаратуры, присоединенной к этой кабельной системе.

Удивительно, но эти идеи, давно принятые и реализованные, например, в машиностроении (стандартный ряд резьбовых соединений, подшипников, размеров автомобильных шин и т. п.), только теперь начали проникать в область телекоммуникаций внутри зданий.

## 1.2. Кабельная система — основа телекоммуникационной инфраструктуры здания

Современное здание, в котором люди работают (т. е. здание министерства, учебного заведения, администрации завода, научного института, больницы и т. п.), буквально «опутано» кабелями разного вида и назначения. Во-первых, это — кабели для обеспечения здания электричеством и, во-вторых, — кабели для слаботочных телекоммуникационных инженерных систем здания: телефонной связи, охраны и сигнализации, ЛВС и т. п.

Вопросы электрического энергоснабжения и, соответственно, построения силовой кабельной проводки для энергосистем зданий выходят за рамки этой книги — здесь будет говориться только о слаботочных телекоммуникационных кабельных системах.

Как же обеспечить все инженерные телекоммуникационные системы здания необходимыми кабелями? Возможны два пути: первый — для каждой системы проложить по зданию свои кабели, а второй — создать в здании единую *кабельную систему*, которая, будучи единственной, позволит обслуживать активное оборудование всех инженерных систем.

Этот второй путь и является сегодня предпочтительным и наиболее распространенным. В современных зданиях создаются единые кабельные системы, которые и составляют основу *телекоммуникационной инфраструктуры* предприятия, фирмы, учебного заведения или организации. Этот процесс распространился сегодня также и на жилые здания.

Необходимо заметить, что не все инженерные системы здания легко интегрируются в рамках единой кабельной системы. Причиной этого являются, по крайней мере, три обстоятельства: традиционная разобщенность разработчиков специальной аппаратуры (телефонной, компьютерной, противопожарной, охранной и т. п.), «межведомственные барьеры» между различными подразделениями одного и того же предприятия и специфические требования некоторых систем (например, требования секретности). Тем не менее, сегодня наблюдается тенденция к взаимной увязке систем по уровням токов и напряжений, по способам передачи информации, по разъёмным соединениям и т. д.

Кстати, естественное наличие кабелей в любой инженерной системе здания часто приводит к тому, что специалисты никак не могут «оторвать» в своих представлениях кабели от своей системы. Однако сегодня необходимо понять, что кабельная система здания не «принадлежит» ни одной инженерной системе. Она «принадлежит» зданию и территории предприятия. Она позволяет соединять между собой блоки практически любых радиоэлектронных систем и этим самым становится *основой всей телекоммуникационной инфраструктуры*.

### **1.3. Телекоммуникационная кабельная система — капитальная инженерная система здания**

Монтаж кабельной системы в здании возможен тогда, когда оно приспособлено для этого: имеются и соответствующим образом оборудованы кабельные трассы, выделены помещения для распределительных устройств и т. п. Проще всего приспособить здание к кабельной системе в момент его проектирования, т. е. в тот момент, когда проектируются его три основные капитальные системы: водопровод и канализация, отопление и вентиляция, электроснабжение. Эти три системы являются капитальными: они служат на протяжении всего срока эксплуатации здания. Телекоммуникационная кабельная система, если она спроектирована и инсталлирована соответствующим образом, тоже может служить 15–20 лет и, таким образом, также является *капитальной системой*. Обслуживается она тоже как капитальная система: регулярные осмотры и проверки, профилактический ремонт, регламентные работы, переключения, тесты и т. п.

Очень часто сегодня телекоммуникационная кабельная система монтируется в уже существующем здании, которое для нее не приспособлено. Поэтому, при проектировании кабельной системы начинают именно с выпуска строительных чертежей на переделку здания, на приспособление его к будущей кабельной системе. Имеются сегодня и парадоксальные примеры, когда вновь строящееся здание («из стекла и бетона») абсолютно не приспособлено к современной кабельной системе, словно не будет в этом здании ни телефонов, ни компьютеров, ни видеокамер, ни сигнальных датчиков.

### **1.4. «Интеллектуальное» здание**

В современном здании можно насчитать десятки инженерных систем. Это — телевидение (эфирное и кабельное), ЛВС и телефония, системы охраны и сигнализации, противопожарная система и много других. Здание становится похожим на авиалайнер или на морской корабль, управление им требует глубоких знаний и высокой квалификации. Говорят, что современное здание становится *«интеллектуальным»* (англ. smart building) [6]. Концепция интеллектуального здания получает сегодня все большее распространение среди проектировщиков–строителей, и имеются уже реальные здания (за рубежом и в России), которые в полной мере можно отнести к интеллектуальным. Такие здания оборудуются автоматизированной

системой управления зданием (АСУЗ) и расходы на эксплуатацию здания существенно снижаются [7].

Отметим, что наличие капитальной единой кабельной системы является одним из характерных признаков интеллектуального здания. Неслучайно, в связи с этим, появление в США [8] стандарта на кабельную проводку для системы автоматизации здания (англ. Building Automation System (BAS)).

### 1.5. Торговая марка кабельной системы

Кабельная система здания состоит из нескольких видов компонентов (кабели, коммутирующие устройства и т. д.), а ее инсталляция в здании требует дополнительных изделий (кабельные каналы, шкафы, стойки и пр.). Номенклатура этих компонентов и изделий, выпускаемых промышленностью, весьма обширна (сотни и тысячи наименований). Правила и нормы проектирования и монтажа современной телекоммуникационной кабельной системы достаточно новы и сложны; измерительное оборудование, применяемое при ее тестировании, весьма специфично, методы и средства управления кабельной системой нормированы стандартами. Все это делает кабельную систему сложным и комплексным товаром. Неслучайно то, что все известные фирмы-поставщики кабельных систем вырабатывают собственные приемы проектирования, ограничивают число используемых компонентов, нормируют методы монтажа и тестирования. К этому добавляется, как правило, собственная система подготовки проектировщиков и монтажников и отличная от других процедура предоставления гарантий. Очень часто эти же фирмы разрабатывают и производят компоненты кабельных систем.

Все перечисленное приводит к тому, что у каждой кабельной системы появляется собственное «лицо», специфика. Она отражается присвоением кабельной системе *торговой марки*, под которой и распространяется кабельная система на рынке информационных технологий. При этом масштабы и конкретные реализации самих кабельных систем различны, но особенности торговой марки легко видны в каждой реализации. Количество торговых марок кабельных систем велико: только на территории России сегодня можно насчитать десятки различных названий.

### 1.6. Сертификация кабельных систем

Поскольку телекоммуникационная кабельная система является товаром, ей, как правило, должен сопутствовать документ, который удостоверяет ее качество, происхождение, гарантии и другие свойства, т. е. *сертификат*. Оформление и выпуск такого документа и есть процесс сертификации кабельной системы. Если этот документ выпускается уполномоченным государственным органом, то это — *государственный сертификат*, если это делает фирма-поставщик товара или независимая фирма, то это — *сертификат фирмы*.

Перечень продукции, подлежащей сертификации от лица государства, выпускается соответствующими государственными органами. На сегодняшний день телекоммуникационная корпоративная кабельная система не включена в перечень продукции, подлежащей государственной сертификации. В связи с этим, качество, гарантии, надежность и другие характеристики кабельной системы указываются в сертификате, выдаваемом фирмой-поставщиком этой системы. При этом поставщик кабельной системы заранее оговаривает условия выдачи такого сертификата. Эти условия могут включать ограничения на типы используемых кабелей и соединительного оборудования, на проектный и монтажный персонал, участвующий в ее создании, на методы прокладки кабелей и их монтажа и т. п.

В вопросах сертификации кабельных систем обсуждаемого вида сегодня нет общих подходов и единого понимания [9], хотя в основе путаницы, как правило, лежит невысказанное желание потребителя получить государственные гарантии, а не гарантии частной фирмы — поставщика кабельной системы.

Таковы общие современные представления о кабельных системах, которые позволяют правильно усвоить базовые сведения о структурированной кабельной системе, изложенные ниже.

# Глава II

## Базовые сведения о структурированной кабельной системе

### 2.1. Определения структурированной, исключительной и централизованной кабельных систем

Для дальнейшего изложения необходимо ввести термины, которые позволят однозначно понимать все, что будет сказано в дальнейшем. Это тем более важно потому, что в отечественной литературе они еще не устоялись. Специалисты, работающие в области телекоммуникаций, все еще предпочитают пользоваться своими узкими специальными терминами: телефонисты — одними, инженеры ЛВС — другими. Наблюдающийся процесс интеграции различных систем передачи информации и сигналов требует и интеграции терминологии. В данном пособии будем опираться на термины международных стандартов и словарь терминов этой области [10], который переводится в настоящее время энтузиастами и, вероятно, будет издан на русском языке.

*Структурированной кабельной системой (СКС)* будем называть кабельную систему, имеющую следующие четыре четких признака:

- стандартизованные структуру и топологию;
- стандартизованные компоненты (кабели, разъемы, коммутационные устройства, коммутационные шнуры);
- стандартизованные электромагнитные характеристики линий и каналов связи, которые могут быть созданы с помощью СКС (затухание, полоса пропускания частот, задержка сигналов и ряд других);
- стандартизованные методы управления (администрирования) кабельной системой.



Отметим, что термин «стандартизованный» не означает здесь «одинаковый», а определяет лишь, что все различные СКС строятся по одинаковым принципам и правилам, которые заданы национальными или международными стандартами в области информационных технологий.

Кабельную систему, не обладающую хотя бы одним из перечисленных признаков, будем называть *исключительной кабельной системой* (ИКС). Исключительной не в том смысле, что она — выдающаяся, а в том — что она единственная в своем роде.

В англоязычной литературе для СКС используют эквивалентные термины “generic cabling” и “structured cabling”, а для ИКС — “proprietary cabling” (частная кабельная система) [11].

Существует также понятие *централизованная кабельная система* (англ. centralized cabling). Под централизованной кабельной системой (ЦКС) понимается такая кабельная система, в которой все коммутации осуществляются в единственном помещении. ЦКС позволяет отказаться от большого числа помещений, необходимых на этажах для размещения коммутационного оборудования, что существенно сокращает эксплуатационные расходы, поскольку каждое такое помещение требует отопления, освещения, охраны и кондиционирования. По данным [12] цена владения (англ. cost of owning) телекоммуникационного помещения (даже исключая стоимость труда, энергии и кондиционирования) составляет \$ 355 на кв. фут (около \$ 3500 на кв. м). Но, вероятно, ЦКС долго еще будет оставаться «розовой мечтой», поскольку сегодня ее реализация возможна лишь при небольших размерах здания и с использованием волоконно-оптических компонентов, и, кроме того, централизация резко снижает «гибкость» кабельной системы при смене аппаратуры и изменении конфигурации инженерных систем. Кроме того, ЦКС не стандартизованы как таковые, в действующих стандартах имеются лишь отдельные рекомендации на их счет.

По указанным выше причинам ИКС и ЦКС далее обсуждаться не будут.

## **2.2. Преимущества структурированной кабельной системы по сравнению с исключительной кабельной системой**

Благодаря перечисленным выше четырем характерным признакам, СКС приобретают, по сравнению с ИКС, существенные преимущества:

- универсальность;
- высокую адаптивную способность к изменениям внешних условий («гибкость»);
- низкие трудозатраты при эксплуатации;
- высокую экономическую эффективность.

Важно заметить, что эти преимущества являются следствием вышеперечисленных признаков: сначала надо сделать, чтобы эти признаки присутствовали в кабельной системе, а потом получить указанные преимущества. Иногда на вопрос «что такое СКС» отвечают, что это универсальная, гибкая и т. д. система. При этом перечисляют не признаки, а преимущества, указывают не причину, а следствие. Момент этот очень важен, поскольку при построении кабельной системы получение преимуществ перед ИКС требует и больших затрат по сравнению с ИКС. Выгода от этих затрат на начальных этапах создания системы не сразу для всех очевидна, что очень часто склоняет чашу весов в сторону ИКС и лишь последующие «мучения» владельца ИКС заставляют его устанавливать СКС. Рассмотрим преимущества СКС подробнее.

*Универсальность.* Это преимущество заключается в том, что одни и те же кабели и разъемы могут быть использованы для соединения между собой активных блоков различных радиоэлектронных систем: ЛВС, телефонной связи, видеонаблюдения, охранной сигнализации, телевидения и др.

*Гибкость.* Суть этого преимущества состоит в том, что простыми и быстрыми переключениями коммутационных шнуров СКС приспособливается:

- к изменениям организационной структуры предприятия (создание и ликвидация подразделений, увеличение или сокращение численности персонала);
- к передислокации сотрудников и подразделений;
- к смене типов оборудования и его поставщиков.

*Низкие трудозатраты на эксплуатацию.* Данное преимущество вытекает из того, что отпадает необходимость в содержании бригады монтажников, необходимой при наличии ИКС для перекладки кабелей и перестановки розеток, а также из того, что эксплуатацию СКС осуществляет немногочисленный и специальный персонал (не нужны отдельные специалисты по кабельным проводкам телефонных, охранных, компьютерных и иных систем).

*Высокая экономическая эффективность.* Данное преимущество не так очевидно, как предыдущие, но является важнейшим. В [13] подробно проанализированы затраты на строительство, время труда и на эксплуатацию СКС по сравнению с ИКС в пятиэтажном здании с офисной площадью 9294 кв. м при наличии 850 рабочих мест, 1700 основных и 599 запасных информационных портов и 400 приборов системы управления зданием (англ. building management system — BMS). Обычно затраты на эксплуатацию (50%) и переделки здания (25%) значительно превышают первоначальные затраты на финансирование (14%) и строительство (11%), но интеграция систем на основе СКС может существенно снизить затраты на эксплуатацию здания в течение срока его жизни. Так, СКС позволяет снизить затраты — на строительство на 14%, на время труда — на 49% и на эксплуатацию — на 34%.

Простое житейское правило — скупой платит дважды — как нельзя лучше отражает преимущества СКС по сравнению с ИКС.

### 2.3. История развития и стандартизации структурированных кабельных систем

История стандартизации СКС началась с выпуска в июле 1991 г. первого в США национального стандарта EIA/TIA-568, который, в октябре 1995 г. был заменен последующей редакцией: TIA/EIA-568-A “Commercial Building Telecommunications Cabling Standard” («Стандарт на телекоммуникационную кабельную систему коммерческого здания»).

Международная организация по стандартизации (ISO) и Международная электротехническая комиссия (IEC) также выпускают в 1995 году международный стандарт на СКС: ISO/IEC 11801 “Information technology — Generic cabling for customer premises” («Информационная технология — универсальная кабельная система для зданий и территории заказчика»).

В странах Европейского Экономического Союза также в 1995 году Европейский комитет по стандартизации в области электротехники и электроники — CENELEC (фр. Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) выпустил основополагающий европейский стандарт: EN 50173 “Information technology — Generic cabling systems” («Информационная технология — Структурированные кабельные системы»).

Как правило, стандарты переиздаются через пять лет, поглощая все приложения, дополнения и исправления, выпущенные до переиздания.

По мере развития СКС помимо основных выше перечисленных стандартов появились и отдельные стандарты, относящиеся к другим аспектам СКС: администрирование, инсталляция, тестирование и др. Кроме того, появились дополнения, отражающие прогресс в этой области [14].

Однако, в 2000 году ни американские, ни европейские, ни международные стандарты не были изданы во вторых редакциях. Причиной этого послужило резкое увеличение быстродействия активного оборудования ЛВС, вплоть до частот порядка 1 ГГц, которое предъявило к кабельной проводке и компонентам СКС новые требования и ужесточило требования к обычным, измерявшимся и ранее, параметрам линий и каналов связи. В частности, возникли *проблема интероперабельности* компонентов категорий 6 и 7, изготавливаемых различными производителями, а также *проблема обратной совместимости* с компонентами низших категорий.

В какой-то мере эти проблемы были разрешены и в течение 2001-2002 г.г. вышли вторые редакции американских, европейских и международных стандартов. Перечни действующих сегодня международных и американских стандартов, относящихся к СКС, приведены в Приложениях I.1 и I.2.

К сожалению, в России сегодня в группе стандартов ГОСТ Р 34 «Информационная технология» отсутствует национальный стандарт на СКС. Что же делать российскому проектировщику, разработчику и поставщику, инсталлятору и владельцу СКС? Ответ прост: опираться на международные стандарты.

Во-первых, Россия является членом Международной организации по стандартизации и Международной электротехнической комиссии, и, следовательно, принятые на международном уровне документы становятся и для нее нормативными. Тем более, что сейчас Россия интегрируется в развитый мир и ее национальные нормы приводятся в соответствие с международными. Встречающееся иногда сегодня игнорирование этого обстоятельства некоторыми руководителями предприятий — по крайней мере, недальновидно.

Во-вторых, соответствие продукта международному стандарту является непременным условием его продажи как на международном, так и на внутреннем рынке.

В-третьих, национальный стандарт России, если он появится, скорее всего, будет подготовлен на основе международного. Его выпуск задерживается по многочисленным объективным причинам: отсутствие отечественного производства многих компонентов СКС, технологическое отставание и т. д.

В-четвертых, опираться на какой-либо национальный стандарт затруднительно в силу национальных традиций и особенностей исторического развития, которые в России весьма не похожи ни на американские, ни на немецкие, ни на японские. Что касается стандартов Европейского Экономического Союза, то Россия пока не является его членом, поэтому документы комитета CENELEC не являются для нее нормативными.

Итак, следует руководствоваться международными стандартами. Единственная трудность — английский язык (официальная версия международного стандарта на русском не издается), но она легко преодолима. Это, однако, не означает, что не надо изучать американские и европейские стандарты: они могут быть весьма полезны специалистам по СКС в качестве информационных материалов.

Следует заметить также, что американский, европейский и международный стандарты весьма близки друг к другу в техническом смысле: большинство их требований к СКС совпадают, а незначительная разница в терминах и конкретных цифрах не носит принципиального характера, отражая лишь традиции и локальный технический уровень кабельных систем.

# Глава III

## **Требования и рекомендации международного стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) «Информационная технология. Структурированная кабельная система для территории и зданий заказчика»**

---

### **3.1. *Общее описание стандарта ISO/IEC 11801:2002(E)***

Международный стандарт ISO/IEC 11801 “Information technology — Generic cabling for customer premises” («Информационная технология — Структурированная кабельная система для зданий и территории Заказчика») во втором издании официально опубликован в сентябре 2002 года. Краткое, правильное и достаточное для корректных ссылок наименование данного стандарта должно записываться в виде: стандарт ISO/IEC 11801:2002(E).

Стандарт содержит 13 разделов, 9 приложений (3 нормативных — А, В, С и 6 информативных — D, E, F, G, H, I) и библиографический список других нормативных документов из 74 названий. Объем документа — 136 страниц.

Стандарт (как издание) охраняется авторским правом, на его распространение требуется лицензия ISO/IEC, которой в России обладает Федеральный фонд стандартов (ФФС, г. Москва, Гранатный пер., д. 4, тел.: (095) 290-5094). Приобретение стандарта возможно как в ФФС, так и в IEC (например, через интернет-магазин [www.iec.ch](http://www.iec.ch)).

К цифрам и рекомендациям, относящимся к СКС, публикуемым в многочисленных статьях и на различных сайтах Интернета, необходимо относиться осторожно, поскольку они очень часто определяются личным восприятием стандарта и опытом авторов и не в полной мере соответствуют оригиналу. Безусловно, специалист в области СКС должен иметь на своем рабочем столе *оригинал* международного стандарта *в действующей редакции*.

Стандарт ISO/IEC 11801:2002(E), о котором будем говорить в дальнейшем изложении, заменил собой первое издание 1995 года, дополнения 1 и 2 1999 года, консолидированное издание Ed.1.2 2000 года и включает в себя поправки № 1 и № 2 от сентября и декабря 2002 года.

При разработке данного стандарта учтены требования действующих спецификаций всей современной аппаратуры приложений, использующих оптические методы передачи сигналов и электрические методы передачи симметричных сигналов. Аппаратура, использующая несимметричные методы передачи сигналов, не охватывается данным стандартом.

В информативном Приложении F к стандарту ISO/IEC 11801:2002(E) приведен подробный перечень приложений, охватываемых стандартом, с указанием номеров их официальных спецификаций. В частности, он включает в себя приложения CSMA/CD 1000Base-T; ATM LAN 155,52 Mbit/s; ATM LAN 1,2 Gbit/s; 1000Base-SX; 1000Base-LX; 100Base-FX; 10Gbase-LX4.

Стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) весьма полезен для трех групп специалистов. Он обеспечивает:

- *пользователей и владельцев СКС*, во-первых, независимой от приложений универсальной кабельной системой, способной поддерживать широкий спектр аппаратуры и, во-вторых, «гибкой» кабельной системой, модификации которой легки и экономичны;
- *строителей* (проектировщиков, инженеров, архитекторов) руководством, позволяющим приспособить здание к кабельной системе даже до того момента, когда станут известны конкретные требования специфических приложений. Причем это справедливо как на этапе начального проектирования здания, так и на этапе его реконструкции;
- *разработчиков радиоэлектронной аппаратуры* (а также стандартизаторов в этой области) кабельной системой, которая поддерживает все известные виды аппаратуры, а кроме того, является основой для разработки аппаратуры следующих поколений.

Стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) определяет кабельную систему как мультивендорную, которую можно создать, используя компоненты как одного, так и многих поставщиков. При этом он опирается на промышленные стандарты IEC, определяющие требования к электрическим и оптическим кабелям и коннекторам; на стандарты по установке и тестированию кабельных систем; на стандарты приложений и руководства по специфическим приложениям.

Требования к физической среде передачи данных, диктуемые существующими приложениями, были учтены при выработке спецификаций данного стандарта. Более того, для будущих сетевых технологий разработаны и приведены в стандарте новые спецификации требований к физической среде, обеспечивающие полосу пропускаемых частот 250 и 600 МГц (классы E и F). В итоге, кабельная система, соответствующая данному стандарту, предположительно будет полезно существовать в течение не менее 10 лет.

Стандарт оптимизирован для зданий и территорий, в которых максимальное расстояние, на которое осуществляется передача сигналов, составляет 2000 метров. Однако, принципы этого стандарта могут быть применены и при больших расстояниях.

В целом, стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) специфицирует требования к кабельной системе, которые охватывают:

- структуру, топологию и минимальную конфигурацию СКС;
- интерфейсы на информационных розетках;
- электромагнитные характеристики и параметры отдельных кабельных линий и каналов;
- установку кабельной системы и варианты ее реализации;
- электромагнитные характеристики компонентов кабельной системы, которые необходимы для достижения максимальных расстояний, определенных стандартом;
- процедуры сертификации и установления соответствия кабельной системы данному стандарту.

Ниже подробно рассмотрены основные требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к современным кабельным системам.

### **3.2. Структура кабельной системы**

В отличие от ИКС структурированная кабельная система проектируется и строится из вполне определенного и ограниченного ряда функциональных компонентов.

Их всего четыре вида:

- кабели (электрические и оптические);
- распределительные устройства (кроссовые блоки и коммутационные (патч) панели);
- информационные соединители (гнезда, вилки);
- точки консолидации.

Никаких других *функциональных* элементов СКС не содержит. Конечно, для построения реальной кабельной системы требуется много других *дополнительных* изделий, таких, как шкафы и стойки, кабельные каналы и лотки, монтажные

инструменты и приспособления, специализированные измерительные приборы и т. п. Однако, эти дополнительные компоненты не являются функциональными, хотя и определяют, в конечном итоге, некоторые товарные качества СКС как продукта.

В приведенном списке функциональных компонентов отсутствуют коммутационные шнуры (патч-корды), используемые в распределительных устройствах для соединения кабелей СКС. В связи с этим возникает вопрос: является ли коммутационный шнур функциональным компонентом СКС? В отдельный функциональный компонент коммутационный шнур здесь не выделяется по одной простой причине: он представляет собой комбинацию двух отдельных функциональных компонентов — кабеля и двух информационных вилок. Естественно, электромагнитные параметры, качество и надежность коммутационных шнуров определяют эксплуатационные характеристики конкретной СКС. В связи с этим, большинство производителей СКС запрещают использование самодельных коммутационных шнуров в своих СКС, защищенных торговыми марками, заботясь о своей репутации и соблюдении гарантийных обязательств. В свою очередь, стандарты на СКС жестко оговаривают требования к надежности и электромагнитным параметрам коммутационных шнуров и шнуров для подключения активных устройств к СКС. Структурная схема СКС приведена на рис. 3.1.

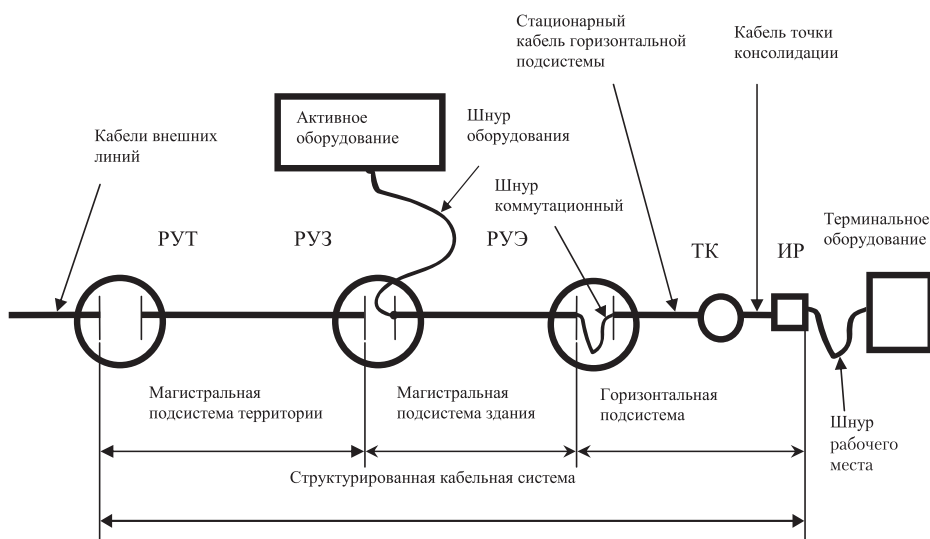


Рис. 3.1. Структурная схема структурированной кабельной системы



На рисунке обозначены:

- РУТ — распределительное устройство территории (англ. Campus Distributor, CD);
- РУЗ — распределительное устройство здания (англ. Building Distributor, BD);
- РУЭ — распределительное устройство этажа (англ. Floor Distributor, FD);
- ТК — точка консолидации (англ. Consolidation Point, CP);
- ИР — информационная розетка (англ. Telecommunication Outlet, TO).

В самом общем случае СКС включает в себя три подсистемы:

- магистральную подсистему территории (МПТ);
- магистральную подсистему здания (МПЗ);
- горизонтальную подсистему (ГП).

Ясно, что при отсутствии у предприятия территории (одно здание) будет отсутствовать, соответственно, и магистральная подсистема территории. Отметим, что кабели внешних линий связи, шнуры рабочего места и шнуры оборудования не входят в состав СКС: они входят в состав тех инженерных систем, которые подключаются к СКС и могут быть заменены при смене инженерной системы. Назначение функциональных элементов структурной схемы СКС понятно из их названий.

Распределительные устройства всех рангов обеспечивают возможность конфигурировать кабельную систему, чтобы поддерживать различную топологию (шина, звезда, кольцо) активных инженерных систем. Соединение подсистем СКС при создании активных инженерных систем (ЛВС и др.) может быть осуществлено через активные устройства (например, концентратор), либо пассивным способом с помощью коммутационных шнуров или кроссовых перемычек.

Устройство, называемое точкой консолидации (ТК), представляет собой, в общих словах, панель с информационными гнездами, к которым с одной стороны присоединены стационарные кабели горизонтальной подсистемы. В эти гнезда включаются информационные вилки, которыми оконцованы т. н. «кабели точки консолидации», идущие, в свою очередь, по мобильным перегородкам к информационным розеткам, закрепленным на этих перегородках. Кабели точки консолидации могут быть перемещены в пространстве вместе с этими мобильными перегородками в так называемом «открытом офисе». Конкретные требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к точке консолидации будут приведены ниже.

Рассмотрим более подробно элементный состав подсистем СКС.

*Магистральная подсистема территории.* Компонентный состав магистральной подсистемы территории (МПТ) представлен на рис. 3.2.

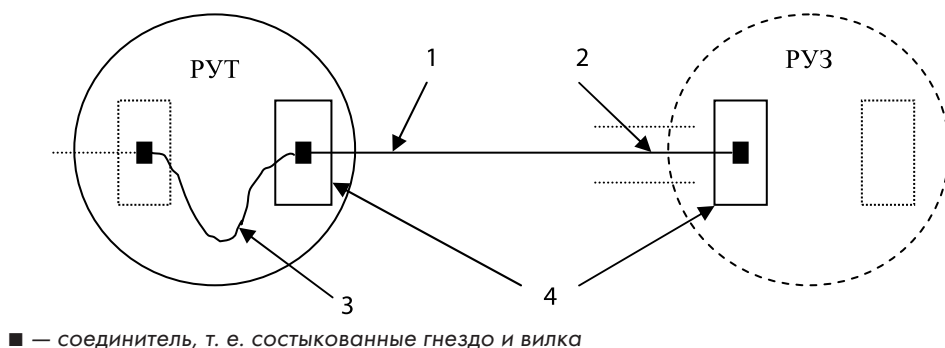


Рис. 3.2. Компонентный состав магистральной подсистемы территории

В МПТ включаются и цифрами на рис.3.2 обозначены:

- 1 — кабели магистрали территории,
- 2 — любые кабельные компоненты внутри вводных устройств в здание,
- 3 — коммутационные шнуры и перемычки в распределительном устройстве территории,
- 4 — соединительное оборудование (коммутационные панели, кроссовые блоки), на котором терминируются кабели МПТ как в РУТ, так и в РУЗ.

Шнуры оборудования, хотя и используются для его подключения к МПТ, не входят в состав МПТ. В случаях, когда отсутствует РУЗ, МПТ простирается до РУЭ.

Иногда (в целях резервирования) используют непосредственное соединение РУЗов между собой дополнительными кабелями. В таких случаях эти кабели также относятся к МПТ, но всегда рассматриваются только как дополнительные, и ни в коем случае их наличие не должно исключать присутствие основных кабелей МПТ, формирующих основную топологическую иерархию СКС.

*Магистральная подсистема здания.* Компонентный состав магистральной подсистемы здания (МПЗ) представлен на рис. 3.3.

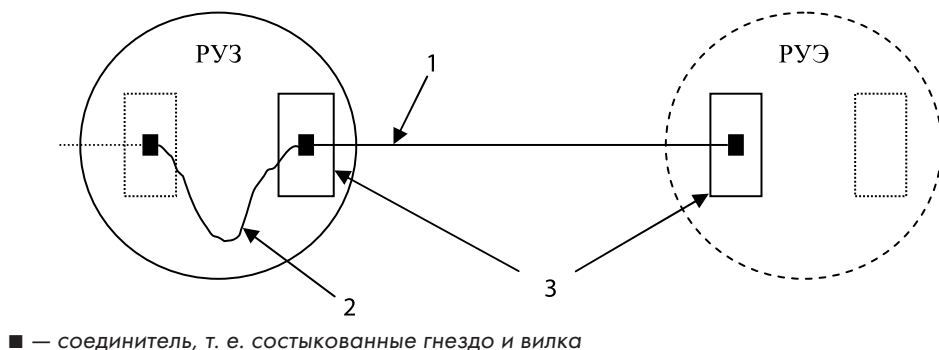


Рис. 3.3. Компонентный состав магистральной подсистемы здания

В нее включаются и цифрами на рис. 3.3 обозначены:

- 1 — кабели магистрали здания,
- 2 — коммутационные шнуры и переключки в РУЭ,
- 3 — соединительное оборудование (коммутационные панели), на котором терминируются кабели МПЗ как в РУЭ, так и в РУЭ.

Так же, как и в МПТ:

- шнуры, используемые для подключения активного оборудования, не входят в состав МПЗ,
- при непосредственном соединении РУЭ между собой дополнительными кабелями последние не должны исключать наличие основных кабелей.

*Горизонтальная подсистема.* Компонентный состав горизонтальной подсистемы (ГП) представлен на рис. 3.4.

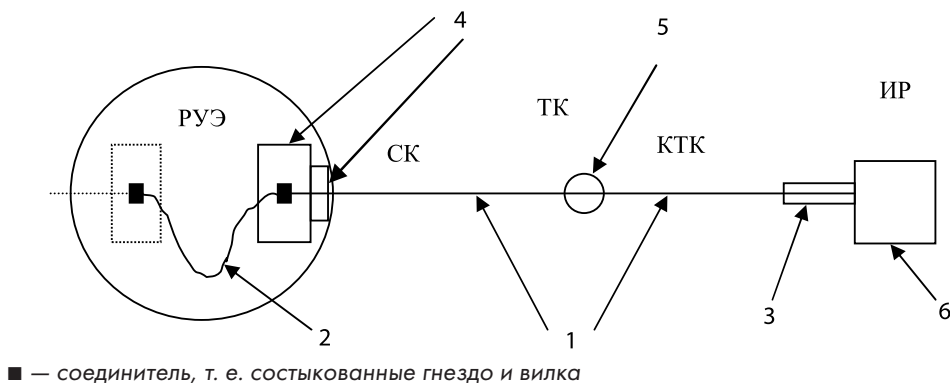


Рис. 3.4. Компонентный состав горизонтальной подсистемы

В эту подсистему включаются и на рис. 3.4 цифрами обозначены:

- 1 — кабели горизонтальной подсистемы (стационарные кабели (СК) и кабели точки консолидации (КТК)),
- 2 — коммутационные шнуры и переключки в РУЭ,
- 3 — устройство присоединения горизонтальных кабелей на ИР (как правило, оно входит в конструкцию ИР),
- 4 — соединительное устройство и устройство терминирования кабелей в РУЭ,
- 5 — точка консолидации (опция),
- 6 — информационные розетки.

Так же, как в МПТ и МПЗ, шнуры рабочего места и шнуры оборудования в РУЭ не входят в состав подсистемы.

Кабель ГП должен быть непрерывен от РУЭ до ИР (если отсутствует точка консолидации), т. е. сращивание любым способом электрического кабеля (скрутки,

пайки, гнездо и вилка) запрещается. Что касается оптического кабеля, то сращивание оптоволокон сваркой или механическим способом возможно, но ценовые и эксплуатационные соображения приводят к необходимости минимизировать число таких сращиваний.

### 3.3. Топология структурированной кабельной системы

Топологически СКС должна представлять собой иерархическую звезду. Ее топологическая схема представлена на рис. 3.5.

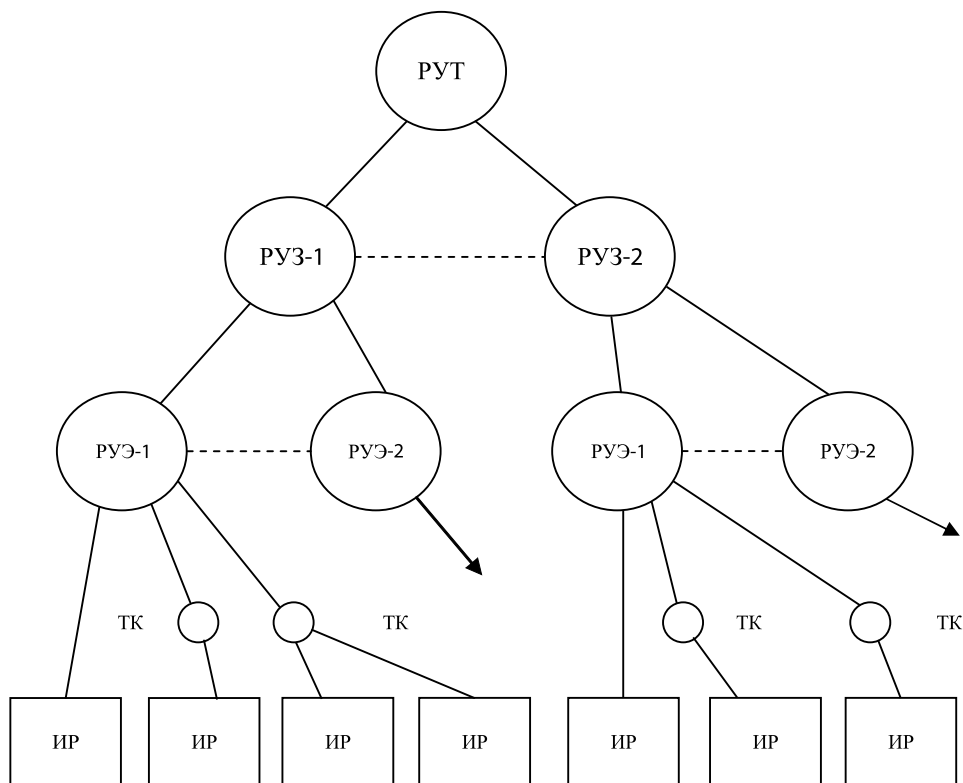


Рис. 3.5. Топологическая схема структурированной кабельной системы (пунктиром показаны дополнительные резервные кабели, не определяющие собой основную топологию СКС)

При соединении подсистем СКС между собой стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) допускается совмещение функций двух распределительных устройств физически

в одном устройстве, например, РУЗ и РУЭ в одном шкафу. При этом соответствующая кабельная проводка не требуется, т. е. кабели горизонтальной подсистемы этажа, на котором расположено РУЗ, приходят от розеток в этот же шкаф.

Кроме того, стандартом допускается совмещение звездообразной и централизованной топологии, однако тут же делается принципиальное предупреждение: всякая централизация ограничивает возможности легкого и безболезненного переконфигурирования СКС под текущие нужды.

Итак, мы рассмотрели первый признак СКС: определенные структуру и топологию. Следует подчеркнуть, что указанные требования стандарта относятся именно к структуре и топологии, а не к физической реализации СКС. Последняя определяется конкретным видом территории и зданий, с одной стороны, а с другой — стратегией Заказчика или будущего владельца СКС.

Здесь нужно пояснить, что если здание большое (например, 22 этажа), то его можно «разбить» структурно на несколько «зданий». Также, если на территории много близко расположенных небольших зданий, их можно структурно «объединить» в более крупные «здания», сократив таким образом количество «зданий». Эти же соображения относятся и к этажам. Если длина этажа, например, 2 км, то структурно можно «разбить» этот этаж на 20 коротких «этажей». Если здание малоэтажное, например, 2 этажа, можно структурно «объединить» два этажа в один «этаж».

Подводя итог к структурным и топологическим требованиям стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к СКС необходимо также пояснить два обстоятельства, часто приводящие к путанице.

*Первое.* При создании корпоративных ЛВС на предприятиях, имеющих, например, удаленные друг от друга филиалы в городе, возникает вопрос: что такое СКС предприятия? Ответ здесь прост: сначала создают отдельные СКС в каждом филиале, а затем, когда создают ЛВС предприятия, тогда объединяют активное сетевое оборудование филиалов любым доступным образом: по радиоканалу, по телефонным линиям общего пользования и т. п., либо строят специальные дальние линии связи по соответствующим нормам и стандартам

*Второе.* На некоторых предприятиях встречаются отдельные удаленные рабочие места (проходная, весовая и т. п.) и при построении СКС расстояние от этих рабочих мест до распределительных устройств может достигать нескольких километров. Как быть в таком случае? Ответ здесь также прост: не нужно искусственно «втягивать» эти дальние линии связи в структуру СКС. Нужно отделить их структурно и топологически от СКС, считая, что в общей инфраструктуре предприятия имеется СКС, построенная по всем правилам, а кроме СКС имеется также несколько отдельных линий связи, построенных по иным требованиям и стандартам.

Итак, рассмотрев требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к структуре и топологии СКС, можно свести введенное выше понятие СКС к простому мнемоническому правилу, выражаемому формулой «4-3-4»:

- первая цифра «4» — четыре признака СКС — стандартизованные: 1) структура и топология, 2) компоненты, 3) электромагнитные характеристики, 4) методы администрирования;
- вторая цифра «3» — три подсистемы СКС: 1) магистральная подсистема территории, 2) магистральная подсистема здания, 3) горизонтальная подсистема;
- третья цифра «4» — четыре вида функциональных элементов: 1) кабели, 2) распределительные устройства всех рангов, 3) информационные разъемы (соединители), 4) точки консолидации.

Ниже рассмотрен второй признак СКС — ее стандартизованные компоненты.

### 3.4. Общие требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к функциональным компонентам структурированной кабельной системы.

#### 3.4.1. Взаимное соединение подсистем кабельной системы и присоединение к ней активного оборудования

Соединение подсистем СКС между собой и подключение к ней активного оборудования осуществляется в конечных точках каждой подсистемы. Активное оборудование может быть присоединено в любом распределительном устройстве к любому его гнезду. Точка консолидации не является местом подключения активного оборудования к СКС, это запрещено стандартом ISO/IEC 11801:2002(E).

Для соединения подсистем СКС между собой и для подключения активного оборудования к СКС используются два способа: непосредственное соединение или интер-коннект (англ. inter-connect) и соединение с помощью шнура или кросс-коннект (англ. cross-connect). Схема непосредственного соединения (интер-коннекта) приведена на рис. 3.6, а схема соединения с помощью шнура (кросс-коннекта) — на рис. 3.7.

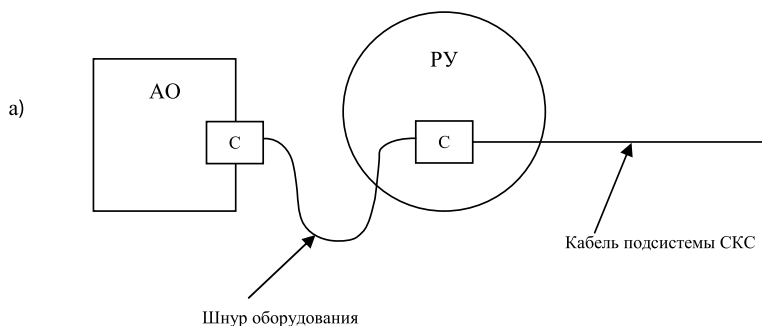


Рис. 3.6. Схема непосредственного соединения (англ. inter-connect):  
а) активного оборудования с СКС

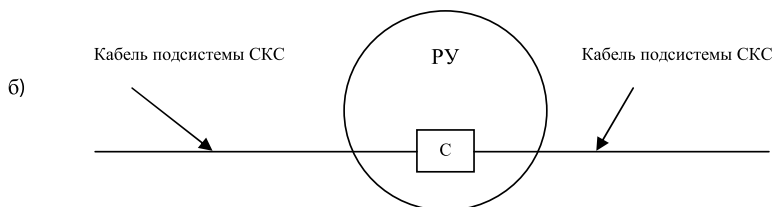


Рис. 3.6. Схема непосредственного соединения (англ. *inter-connect*):  
б) подсистем СКС между собой

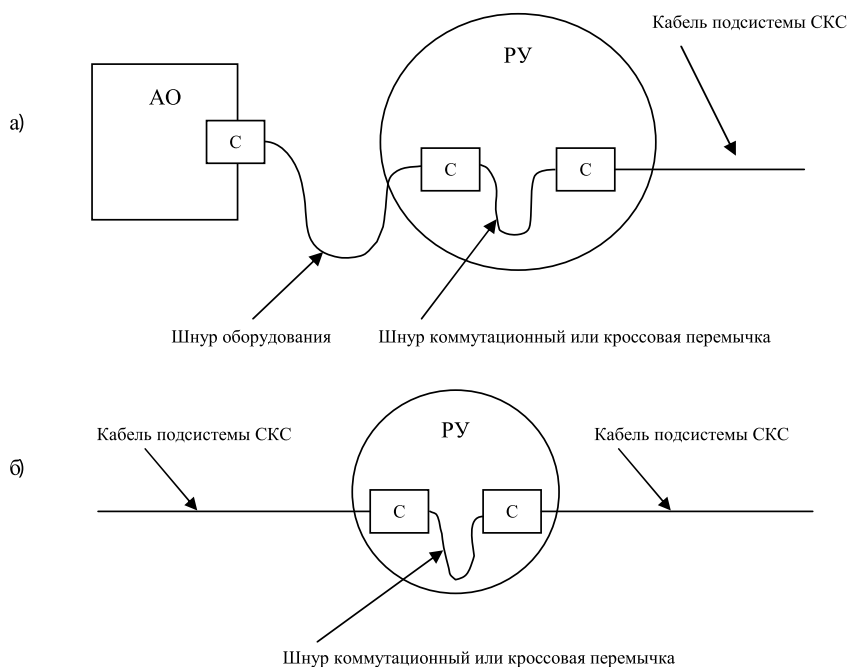


Рис. 3.7. Схема соединения с помощью шнура (англ. *cross-connect*):  
а) активного оборудования с СКС; б) подсистем СКС между собой

На этих рисунках и далее приняты следующие обозначения: РУ — распределительное устройство, АО — активное оборудование любой инженерной системы, С — соединитель (например, соединенные гнездо и вилка).

Каждый вид соединения имеет свои «плюсы» и «минусы»: интер-коннект позволяет иметь минимальное число соединителей и минимальную длину шнуров, но затрудняет переконфигурирование СКС, а кросс-коннект удобен при реконфигурации СКС, но дополнительные длина шнуров и число соединителей ухуд-

шают передаточные характеристики линий связи. Выбор того или иного вида соединений определяется, в конечном итоге, работоспособностью той инженерной системы (например, ЛВС), которая присоединяется к СКС.

Стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) четко определены места (интерфейсы), в которых к СКС возможно подключать активное оборудование (АО) инженерных систем и тестовое оборудование (ТО), используемое для измерений электромагнитных характеристик СКС. Точки присоединения АО и ТО к горизонтальной подсистеме показаны на рис. 3.8-а, а к магистральным подсистемам территории и здания — на рис. 3.8-б.

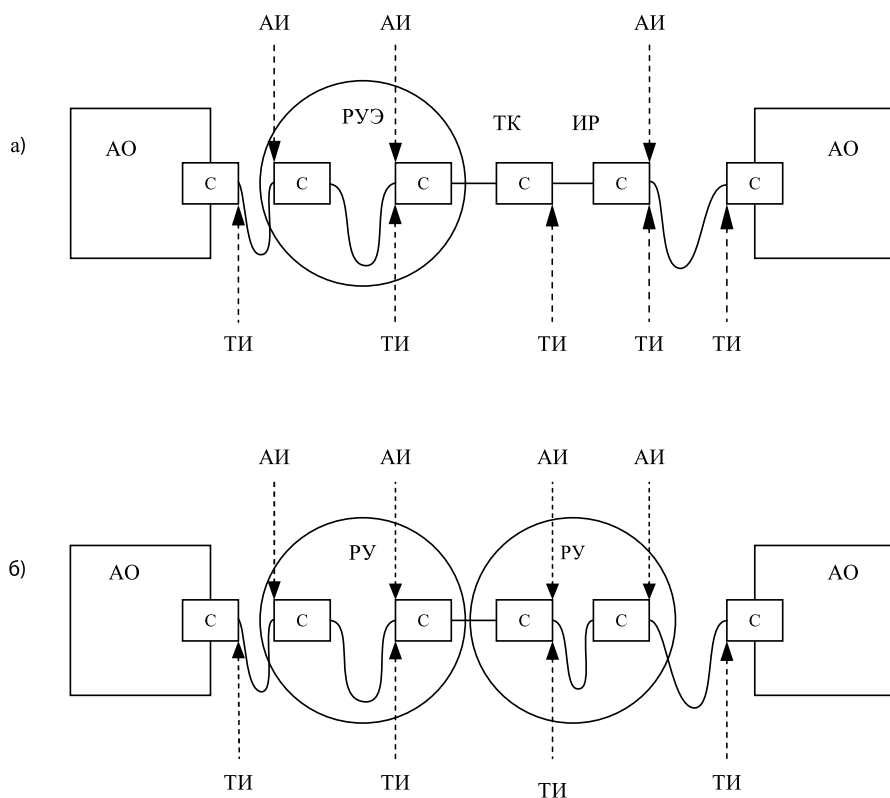


Рис. 3.8. Точки присоединения активного и тестового оборудования к горизонтальной (а) и магистральным (б) подсистемам СКС

На рисунке обозначены: АИ — аппаратный интерфейс, ТИ — тестовый интерфейс, РУЭ — распределительное устройство этажа, ТК — точка консолидации, ИР — информационная розетка, РУ — распределительное устройство (этажа, здания или территории), С — соединитель (состыкованные гнездо и вилка).



На этом рисунке важно обратить внимание на границы тестовых интерфейсов: при тестировании СКС электромагнитные параметры соединителя самого тестирующего прибора не входят в результаты тестирования, они учтены конструкцией тестирующего прибора. Соединители же на границах СКС, а также коммутационные шнуры и соединители в РУ, напротив, всегда включены в тестируемый тракт, поскольку именно они, вместе со стационарными кабелями СКС и определяют конечные характеристики тракта.

### 3.4.2. Понятия «канал» и «стационарная линия»

Передаточные характеристики трактов, которые создаются с помощью СКС для передачи сигналов различных инженерных систем, обсуждаются и оцениваются в стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) с помощью понятий *канал* (англ. channel) и *стационарная линия* (англ. permanent link).

Под каналом понимается тракт передачи сигналов по СКС от одного активного блока аппаратуры до другого, т. е. от вилки, вставляемой в гнездо одного блока, до вилки, вставляемой в гнездо другого блока. Сами вилки не входят в состав канала, поскольку влияние соединителя (соединенных гнезда и вилки) на характеристики инженерной системы всегда учтено при разработке активного оборудования данной инженерной системы.

Под стационарной линией (СЛ) понимается часть тракта передачи сигналов по установленной СКС, включающая в себя лишь стационарный кабель и соединители на его концах. В горизонтальной подсистеме СКС при наличии в ней точки консолидации стационарная линия включает в себя также мобильный кабель точки консолидации и соединители на его концах.

Конфигурации стационарной линии и канала для горизонтальной и магистральных подсистем СКС приведены на рис. 3.9.

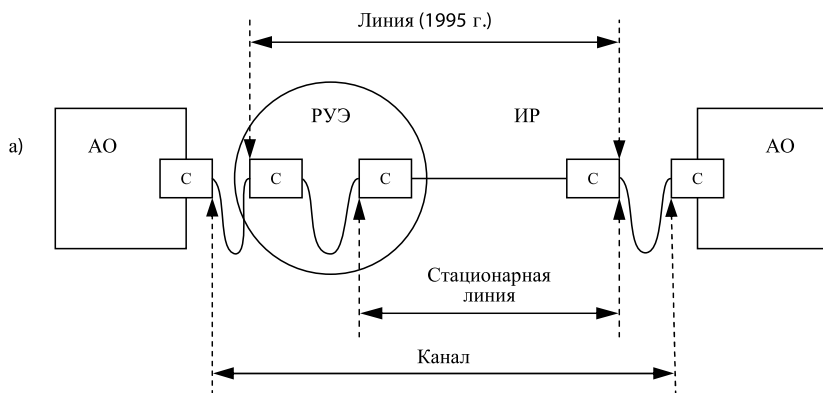


Рис. 3.9. Конфигурации «стационарная линия» и «канал» в горизонтальной подсистеме (а)

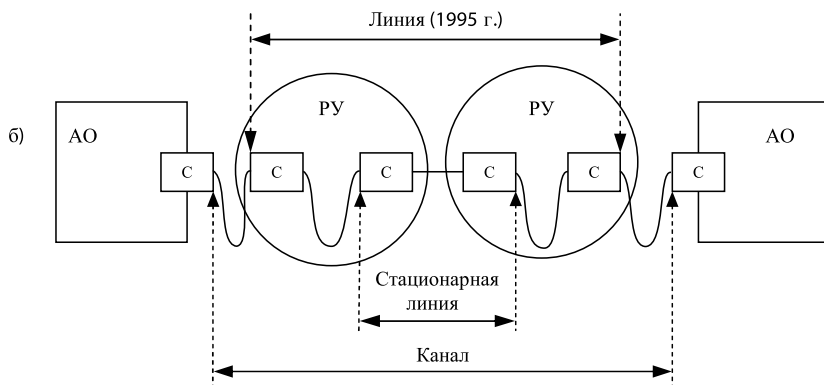


Рис. 3.9. Конфигурации «стационарная линия» и «канал» в магистральных подсистемах (б)

Здесь же указана конфигурация «линия» (англ. link), которая использовалась в стандарте 11801 до 1999 года, когда дополнениями к нему были введены термины «канал» и «стационарная линия». Заметим, что спецификации канала в упомянутом стандарте до 1999 года отсутствовали.

При наличии в горизонтальной подсистеме точки консолидации появляется еще т. н. «линия точки консолидации» (ЛТК) (англ. consolidation point link), которая включает в себя только стационарный кабель и соединители на его концах. Конфигурации стационарной линии и канала в горизонтальной подсистеме при наличии ТК приведены на рис. 3.10.

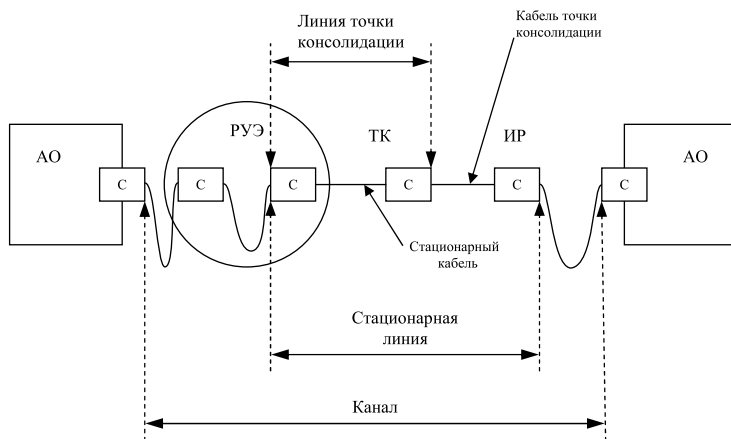


Рис. 3.10. Конфигурации «стационарная линия», «канал» и «линия точки консолидации» в горизонтальной подсистеме СКС

Сразу отметим два важных момента:

- спецификации электромагнитных характеристик СЛ и ЛТК идентичны, поскольку сама по себе ТК никогда не используется для непосредственного подключения активных устройств;
- в случае замены или перемещения мобильных кабелей точки консолидации результаты тестов, проведенных до этого для стационарной линии, становятся недействительными, поскольку при этом физические воздействия на кабель влияют на его электромагнитные свойства. По окончании переконфигурирования горизонтальной подсистемы должно быть повторено тестирование стационарной линии, содержащей ТК.

Заметим, кстати, что часто встречающийся перевод термина *permanent link* как «постоянная линия» не вполне корректен: линия может быть постоянной, но при этом может быть нестационарной. (Например, постоянная связь по кабелю между точками А и В сохранена, но кабель переложен по иной трассе, что привело к изменению электромагнитных характеристик линии между точками А и В).

### 3.4.3. Общие требования к распределительным устройствам

Число и вид подсистем СКС при ее инсталляции зависят от географических особенностей и размеров территории и зданий, а также от стратегии и возможностей будущего владельца СКС. Обычным является наличие одного распределительного устройства на территорию, одного — на здание и одного — на этаж. Естественно, если на территории имеется лишь одно здание, то необходимость в магистральной подсистеме территории отсутствует. Если здание имеет небольшие размеры, то может отсутствовать и необходимость в магистральной подсистеме здания. Напротив, если здание или этаж имеют значительные размеры, то может понадобиться несколько распределительных устройств здания или несколько распределительных устройств этажа. Рекомендации по расположению РУ приведены в стандарте ISO/IEC TR 14763-2 (см. Приложение I.1).

Конструкция РУ должна быть такой, чтобы обеспечивались минимальные длины коммутационных шнуров и перемычек, а также шнуров оборудования, особенно это важно в РУЭ. Эти минимальные длины должны сохраняться на протяжении всего периода эксплуатации СКС.

Распределительные устройства должны располагаться в пространстве так, чтобы не превышались следующие длины каналов:

- в горизонтальной подсистеме — 100 метров;
- в каналах, объединяющих все три подсистемы СКС (МПТ+МПЗ+ГП) — 2 000 метров.

При длинах каналов, близких к 2000 м и созданных, например, только с помощью электрических симметричных кабелей, активное оборудование не всякой инженерной системы способно работать. В этих случаях инженерную систему создают, используя медиаконвертеры и сочетая в канале стационарные линии, созданные как с помощью электрических, так и оптических кабелей.

Количество РУЭ должно быть таким, чтобы на каждые 1000 кв. м этажа приходилось хотя бы одно РУЭ. Если этаж «заселен» неплотно (например, холл), допускается его обслуживание от РУ, расположенного на смежном этаже. Кроме того, возможно совмещение РУЭ и РУЗ в одном шкафу, например, при небольших размерах здания или для обслуживания этажа, на котором расположено РУЗ. Кратко говоря, слова «здание» и «этаж» нужно понимать в структурном смысле, а не буквально. Если этаж имеет длину 1 км, то это может быть десять «этажей», а если здание имеет 22 этажа, то это может быть 4 «здания».

В целях повышения безопасности и надежности СКС возможно ее построение по принципам избыточности (англ. redundancy), когда обслуживание, например, одного рабочего места осуществляется от двух независимых РУЭ: при отказе одного РУЭ на рабочем месте остаются розетки, подключенные к другому РУЭ, исправному в этот момент. (Не стоит понимать *избыточность*, а это часто бывает, как приобретение для СКС и инсталляцию лишнего десятка розеточных модулей).

#### 3.4.4. Общие требования к кабелям, шнурам и перемычкам

Требования к кабелям и шнурам, которые могут быть использованы в СКС, весьма многочисленны и составляют важнейшую часть стандарта ISO/IEC 11801:2002(E). Их роль в обеспечении надлежащих передаточных характеристик канала первостепенна. Тестирование шнуров рабочего места и коммутационных шнуров должно даже проводиться по отдельным спецификациям, приведенным в стандарте IEC 61935-2 (см. Приложение I.1). Поэтому, конкретные требования к ним будут рассмотрены ниже в отдельном разделе, посвященном компонентам. Здесь остановимся лишь на общих требованиях.

Прежде всего отметим, что в СКС используются лишь симметричные электрические кабели и волоконно-оптические кабели. Несимметричные кабели (например, коаксиальные) не охватываются стандартом ISO/IEC 11801:2002(E). Связано это с тем, что в современных телекоммуникациях используется, как правило, симметричный способ передачи сигналов. Это, однако, не сужает возможностей СКС при ее использовании в инженерных системах с несимметричными сигналами, например, в телевидении. В этих случаях просто добавляют в инженерную систему симметрирующие устройства — балуны (англ. balun).

Общим требованием к кабелям СКС является требование появления их проводников на кроссовом поле распределительного устройства только один раз, будь это проводник входящего или исходящего кабеля. Параллельные отводы их проводников (англ. bridge taps) запрещены.

Шнуры в стандарте подразделяются на следующие виды:

- *шнуры рабочего места* (ШРМ) (англ. work area cords);
- *шнуры оборудования* (ШО) (англ. equipment cords);
- *шнуры коммутационные* (ШК) (англ. patch cords).

Заметим, что хотя ШРМ, ШО и ШК физически выглядят одинаково, все-таки следует строго придерживаться указанных терминов и избегать нечеткости при упоминании шнуров. Известно, что для многих специалистов ЛВС любой шнур — это «патч-корд», либо «Ethernet — кабель», либо просто «шнур».

Для коммутации кабелей подсистем, использующихся на небольших частотах и в случаях, когда распределительное устройство реализовано на кроссовых блоках, используются также кроссовые перемычки (англ. jumpers).

Шнуры рабочего места соединяют информационную розетку с терминальным устройством. Шнуры оборудования соединяют активное оборудование с подсистемой СКС в помещениях, где расположены распределительные устройства. Шнуры коммутационные и кроссовые перемычки используются на распределительных устройствах при реализации кросс-коннектов. Общим требованием стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к ШРМ, ШО, ШК и перемычкам является требование учета их электромагнитных характеристик и длин при создании канала.

### 3.4.5. Общие требования к информационным розеткам

Информационные розетки (ИР) (англ. telecommunication outlet) являются теми устройствами, на которых терминируются кабели горизонтальной подсистемы СКС, пришедшие к рабочему месту. Они обеспечивают возможность подключения шнуров рабочего места и, соответственно, терминального оборудования.

Стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) рекомендует устанавливать розетки *повсеместно* на полезной площади этажа и с *максимально возможной* плотностью. Последнее облегчает приспособление СКС к любым изменениям на рабочих местах.

Общими требованиями стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к информационным розеткам являются следующие:

- индивидуальное рабочее место должно обслуживаться минимум двумя ИР. При этом площадь индивидуального рабочего места в соответствии со стандартом ISO/IEC TR 14763-2 (см. Приложение I.1) должна быть не менее 9 кв. м;
- одна ИР должна обеспечивать присоединение 4-х парного кабеля по технологии IDC (англ. insulation displacement connection), а другая — присоединение либо двух оптоволокон, либо второго 4-х парного кабеля по технологии IDC;
- каждая ИР должна иметь стационарную метку (англ. label), которая видна пользователю и содержит идентификатор и иную полезную информацию;
- устройства инженерных систем (балуны, согласующие адаптеры и т. п.) должны быть внешними по отношению к ИР (т. е. недопустимо их размещение и подключение, например, внутри кабельного канала до ИР).

В стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) отмечается, что присоединение двух пар четырех-парного кабеля на одну ИР может использоваться как альтернатива присоединению 4-х пар. Однако, это может потребовать изменения порядка пар на ИР и ограничит использование ряда активных устройств. В таких случаях стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) требует, чтобы изменения такого рода были четко отражены в административных записях в соответствии со стандартом на администрирование СКС ISO/IEC 14763-1(см. Приложение I.1). В то же время, изменение порядка пар на ИР разрешено с помощью внешних вставок и адаптеров.

Здесь необходимо заметить, что уже с 1995 года (с момента выхода первой редакции стандарта 11801) большинство проектировщиков и installаторов СКС избегают разделения пар в 4-х парных кабелях, чтобы не терять одного из важных преимуществ СКС — универсальности, а также, чтобы не создавать проблем электромагнитной совместимости инженерных систем.

Примечательно также, что в стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) отсутствуют указания на категорию ИР, которые имелись в первой редакции. Это является естественным следствием использования концепции канала: выбор категории ИР будет определяться классом создаваемого канала.

В стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) вводятся понятия комплекта информационных розеток индивидуального пользователя (англ. Single User TO Assembly, SUTOA) и комплекта информационных розеток многих пользователей (англ. Multi-User TO Assembly, MUTOA). В большинстве реализаций СКС один комплект розеток обслуживает единственное рабочее место. В т. н. . открытых офисах иногда используются многопользовательские комплекты. В таких случаях добавляются следующие требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E):

- одна рабочая группа пользователей обслуживается, по крайней мере, одним комплектом MUTOA;
- один комплект MUTOA должен обслуживать не более 12 отдельных рабочих мест;
- комплект MUTOA должен размещаться на стационарных несущих стенах и колоннах здания в доступных для пользователей местах.

При использовании комплектов розеток любого вида рекомендуется размещать их так, чтобы длины шнуров рабочего места были минимальными.

### **3.4.6. Общие требования к точке консолидации**

Точка консолидации (ТК) может быть полезной в открытом офисе, где необходимо перемещать информационные розетки при изменении дислокации рабочих мест. При использовании ТК необходимо выполнять следующие требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E):

- между ИР и РУЭ должна быть только одна ТК;
- ТК должна содержать только пассивное соединительное оборудование;
- ТК не должна использоваться для кросс-коннектов;
- ТК должна обслуживать не более 12 рабочих мест;
- ТК должна располагаться так, чтобы одна группа рабочих мест обслуживалась, по крайней мере, одной ТК;
- длина симметричного стационарного электрического кабеля горизонтальной подсистемы от РУЭ до ТК должна быть *не менее* 15 метров;
- ТК должна располагаться на стационарных несущих стенах и колоннах здания в местах, легко доступных для пользователя;
- ТК должна быть отражена в административных записях наравне с другими компонентами телекоммуникационной инфраструктуры.

К использованию ТК нужно подходить весьма осторожно, учитывая следующие моменты:

- ТК — дополнительное устройство и, следовательно, необходимо затратить дополнительные средства на его приобретение и дополнительное время на его монтаж;
- ТК снижает надежность СКС просто за счет увеличения числа элементов системы;
- ТК — это дополнительные соединения и, следовательно, дополнительное ухудшение параметров канала.

Во всяком случае, использование ТК должно быть веско обосновано. Наконец, нет ТК — нет связанных с нею проблем.

В предыдущей редакции стандарта 11801 использовалось понятие «точка перехода» (ТП) (англ. transition point). Под ТП понималось устройство, позволявшее осуществить стационарное соединение кабелей различной конструкции в горизонтальной подсистеме СКС. Практика инсталляций СКС и их использования на частотах 100 МГц и выше показала ненужность ТП, в связи с чем она исключена из рассмотрения и использования.

### **3.4.7. Общие требования к помещениям для элементов СКС, устройствам ввода кабелей в здание и к кабелям внешних сервисов**

Стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) введены следующие термины, определяющие помещения, необходимые при создании СКС:

- *телекоммуникационная комната* (англ. Telecommunications Room). Это — комната, в которой располагается пассивное коммутационное и соединительное оборудование распределительных устройств. Она должна иметь прямой доступ к «вышестоящей» подсистеме СКС и должна обеспечивать для элементов СКС все необходимое: соответствующие площадь, электропитание, климатические условия, освещение и т. п. (В отечественной литературе такое помещение часто называют «кроссовая»);
- *комната оборудования* (англ. equipment room). Это — комната, в которой помимо пассивных распределительных устройств СКС еще находится активное оборудование инженерных систем, подключенных к СКС (серверы и маршрутизаторы ЛВС, телефонные станции и т. п.). Комнаты оборудования эксплуатируются отличным от телекоммуникационных комнат образом, что объясняется сложностью, большим объемом и дороговизной активного оборудования. (В отечественной литературе такое помещение часто называют «аппаратная»).

Если в помещении расположено более одного РУЗ, то в силу больших размеров и важности такого помещения, оно также приобретает более высокий статус и считается комнатой оборудования. Ее обустройство и эксплуатация также проводятся соответствующим образом.

Вводные устройства кабелей в здание (англ. building entrance facilities) требуются тогда, когда в здание должны войти кабели магистральной подсистемы территории СКС, кабели внешних телекоммуникаций, кабели от антенн и т. п. и должен быть осуществлен переход на кабели внутренней проводки здания. В состав вводного устройства входит точка входа кабеля с внешней стороны здания и соответствующие средства для этого, а также кабелепровод, приводящий к РУТ или РУЗ. Местными правилами иногда может требоваться специальное отдельное устройство, на котором присоединяются внешние кабели, тогда именно на этом устройстве и осуществляется переход на кабели внутренней проводки.

Относительно кабелей внешних сервисов в стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) специально отмечается, что их длина от поставщика услуг (провайдера) до РУТ может быть значительной. Электромагнитные характеристики этих кабелей обязательно должны быть учтены при планировании, разработке и реализации тех приложений Заказчика СКС, которые будут эти сервисы использовать. Эта рекомендация настолько очевидна и понятна, что в силу ее простоты может быть забыта, а это неизбежно приведет к недоразумению.

Подытоживая общие требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к функциональным элементам СКС, напомним, что в отличие от ИКС в СКС можно использовать не «вообще кабели», не «вообще розетки», а вполне определенные кабели, распределительные устройства, информационные разъемы и точки консолидации, что и служит одним из ее отличительных от ИКС признаков.



### **3.5. Электромагнитные характеристики электрической части структурированной кабельной системы**

#### **3.5.1. Условия, договоренности и ограничения, принятые для спецификаций электромагнитных параметров электрической части СКС**

Электромагнитные характеристики СКС определены стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) для определенных конфигураций: канала и стационарной линии. По ширине полосы пропускаемых частот каналы и линии подразделяются на *классы*:

- класс А — 0,1 МГц;
- класс В — 1,0 МГц;
- класс С — 16,0 МГц;
- класс D — 100,0 МГц;
- класс E — 250,0 МГц;
- класс F — 600,0 МГц.

Активное оборудование разнообразных инженерных систем предъявляет к каналам передачи сигналов различные требования по полосе пропускаемых частот. В табл. 3.1 приведен список приложений, использующих симметричные кабели, и необходимые для этих приложений классы каналов в СКС.

Очевидно, что канал данного класса обеспечивает работоспособность всей аппаратуры с более низкими требованиями. В то же время, поскольку спецификации стандарта «привязаны» к предельной длине канала (100 м в горизонтальной подсистеме и 2000 м в канале, охватывающем все три подсистемы СКС), то необходимо заметить, что эта «привязка» не мешает создавать каналы большей длины. В стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) отмечается, что приведенные в его спецификациях характеристики каналов могут быть достигнуты на больших расстояниях, чем в нем указано, если используются кабели и компоненты с характеристиками лучшими, чем те, на которые он опирается. Это вполне естественно, поскольку всегда любой стандарт опирается на некий средний уровень массового производства, а не на рекордные показатели отдельных производителей. Однако, стремясь к универсальности СКС, следует избегать использования в ней уникальных компонентов и превышения значения 100 м в длине электрических каналов.

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к параметрам, указанным в спецификациях, должны удовлетворяться во всем диапазоне частот класса. В связи с этим, нужно осторожно подходить к выбору компонентов: превышение требований стандарта на какой-нибудь отдельной частоте (что нередко подчеркивается

**Таблица 3.1.** Список приложений, использующих симметричные кабели

Класс приложения и частота, МГц	Приложение	Альтернативное наименование приложения	Спецификация	Год выпуска
Класс А до 0,1 МГц	PBX (ATC)	.....	Национальные требования	.....
	X.21	.....	ITU-T Rec.X.21	1994
	V.11	.....	ITU-T Rec.X.21	1994
Класс В до 1 МГц	SO-Bus (extended)	ISDN Basic Access	ITU-T Rec.I.430	1993
	SO Point-to-Point	ISDN Basic Access	ITU-T Rec.I.430	1993
	S1/S2	ISDN Primary Access	ITU-T Rec.I.431	1993
	CSMA/CD 10Base-5	Starlan	ISO/IEC 8802-3	2000
Класс С до 16 МГц	CSMA/CD 10Base-T	.....	ISO/IEC 8802-3	2000
	CSMA/CD 100Base-T4	Fast Ethernet	ISO/IEC 8802-3	2000
	CSMA/CD 100Base-T2	Fast Ethernet	ISO/IEC 8802-3	2000
	Token Ring 4 Mbit/s	.....	ISO/IEC 8802-5	1998
	ISLAN	Integrated Services LAN	ISO/IEC 8802-9	1996
	Demand priority	VGAnyLAN™	ISO/IEC 8802-12	1998
	ATM LAN 25,60 Mbit/s	ATM-25/Category 3	ATM Forum af-phy-0040.000	1995
	ATM LAN 51,84 Mbit/s	ATM-52/Category 3	ATM Forum af-phy-0018.000	1994
	ATM LAN 155,52 Mbit/s	ATM-155/Category 3	ATM Forum af-phy-0047.000	1995
Класс D до 100 МГц	CSMA/CD 100Base-TX	Fast Ethernet	ISO/IEC 8802-3	2000
	CSMA/CD 1000Base-T	Gigabit Ethernet	ISO/IEC 8802-3	2000
	Token Ring 16 Mbit/s	.....	ISO/IEC 8802-5	1998
	Token Ring 100 Mbit/s	.....	ISO/IEC 8802-5	2001
	TP-PMD	.....	ISO/IEC FCD 9314-10	2000
	ATM LAN 155,52 Mbit/s	ATM-155/Category 5	ATM Forum af-phy-0015.000	1994
Класс Е до 250 МГц	ATM LAN 1,2 Gbit/s	ATM-1200/Category 6	ATM Forum af-phy-0162.000	2001

в рекламных проспектах) вовсе не является решающим аргументом выбора в пользу такого компонента.

Существенным требованием стандарта ISO/IEC 11801:2002(Е) является требование соответствия характеристик канала и линии, приведенным в нем специфици-

кациям во всем рабочем диапазоне тех температур, при которых предполагается использование СКС. Учет этого температурного диапазона должен быть осуществлен на этапе проектирования СКС при выборе длин кабелей с соответствующим температурным коэффициентом и при выборе соответствующего соединительного и коммутационного оборудования. При измерениях, проведенных при температуре, не соответствующей наихудшему по температуре случаю, их результаты должны быть использованы для расчета характеристик в этом наихудшем случае для подтверждения соответствия стандарту.

Стандарт требует совместимости всех кабелей и компонентов в одном и том же канале или в одной и той же линии по волновому сопротивлению, в оптических каналах — по диаметру сердцевины оптоволокон. Соединение компонентов с различным номинальным волновым сопротивлением или волокон с различными диаметрами сердцевин — запрещено.

Очень важно запомнить, что поддержка конкретного приложения зависит только от характеристик канала, а они, в свою очередь, зависят от длины и характеристик кабеля, от числа соединений и их параметров, а также от качества конкретного монтажа СКС.

Предельно допустимые характеристики каналов выведены с учетом характеристик составляющих его компонентов в предположении, что канал состоит из 90 метров кабеля с одножильными проводниками, 10 метров шнуров и 4-х соединений. Для каналов класса F, часто выполняемых лишь с двумя соединениями в приложении к стандарту даны отдельные рекомендации.

Предельно допустимые характеристики стационарной линии выведены в предположении, что она состоит из 90 метров кабеля с одножильными проводниками и 3-х соединений (т. е. она содержит точку консолидации). Спецификации стационарной линии и линии точки консолидации, таким образом, одни и те же.

Перечисленные в данном параграфе условия, договоренности и ограничения обязательно должны быть приняты во внимание при любых обсуждениях электромагнитных характеристик создаваемой или существующей СКС, поскольку их незнание или игнорирование может на практике привести к серьезным просчетам.

### **3.5.2. Классификация симметричных электрических каналов и линий**

Как было указано выше, электрические каналы и линии разбиты на шесть классов: А, В, С, D, Е и F. Каналы и линии указанных классов обеспечивают гарантированную поддержку аппаратуры соответствующих классов и всех, более низких, чем данный, классов.

В редакции стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) появилось новое и важное требование: каналы и линии в горизонтальной подсистеме СКС должны обеспечивать электромагнитные параметры *не ниже класса D*. Это требование весьма показательно: рост быстродействия и разнообразия аппаратуры, подключаемой к СКС, вынуждает так делать для оправдания инвестиций на несколько лет вперед в капитальную систему здания, каковой является СКС.

Непосредственно компоненты, из которых создается СКС (кабели, коннекторы, вилки, гнезда и т. п.) классифицируются в стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) по *категориям*. Критерием отнесения компонента к категории является также ширина полосы пропускания им частот:

- категория 3 — 16 МГц;
- категория 4 — 20 МГц;
- категория 5 — 100 МГц;
- категория 6 — 250 МГц;
- категория 7 — 600 МГц.

В данной (второй) редакции стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) компоненты категорий 3 и 4 уже не рассматриваются. Это не значит, что они не применяются при построении СКС. Просто они не позволяют создавать каналы и линии классов D, E, F, а, как уже было сказано, в горизонтальной подсистеме СКС каналы должны быть не ниже класса D.

В стандартах США и часто в отечественной технической литературе используется американский термин «категория 5е». Начиная с 1999 года, международные спецификации компонентов категории 5 и американские спецификации категории 5е совпадают. Иногда использование двух этих терминов приводит к путанице. Международный термин «категория 5» более предпочтителен, поскольку при изменении в 1999 году спецификаций компонентов категории 5 критерий категории (100 МГц) не изменился, следовательно, не изменилась и категория. Фактически, в новых спецификациях появились лишь новые параметры, ранее отсутствовавшие, на что указывает в американской категории добавленная буква «е» (от англ. enhanced — усиленный). Производители, выпускающие компоненты категории 5, выпускают их, начиная с 1999 года, по новым спецификациям, так что в новых инсталляциях невозможно встретить устаревшие компоненты.

### 3.6. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к электромагнитным параметрам каналов и стационарных линий на основе симметричных электрических кабелей

#### 3.6.1. Характеристическое полное (волновое) сопротивление

Под *волновым* или характеристическим полным *сопротивлением* длинной линии (а в терминах стандарта это — канал или стационарная линия),  $Z_c$  (англ. Characteristic impedance), понимается [15] величина, выражаемая соотношением:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_0}{Y_0}} = \sqrt{\frac{r_0 + j\omega L_0}{g_0 + j\omega C_0}} = |Z_0| \times e^{j\theta} \quad (3-1)$$

где  $Z_0$ , Ом/м и  $Y_0$ , См/м — комплексные сопротивление и проводимость линии,  
 $r_0$ , Ом/м — суммарное сопротивление прямого и обратного проводников,

$L_0$ , Гн/м — индуктивность петли прямого и обратного проводников,  
 $g_0$ , См/м — проводимость изоляции между проводниками,  
 $C_0$ , Ф/м — емкость между проводами,  
 $|Z_0|$ , Ом — модуль характеристического полного сопротивления,  
 $\omega$ , рад/с — круговая частота,  
 $\theta$  — аргумент характеристического полного сопротивления,  
 $j$  — мнимая единица.

На рис. 3.11 приведены качественные частотные зависимости модуля и аргумента характеристического полного сопротивления.

Отметим, что при  $\omega \rightarrow 0$ :  $Z_c \rightarrow \sqrt{\frac{r_0}{g_0}}$  и  $\theta \rightarrow 0$ , а при  $\omega \rightarrow \infty$ :  $Z_c \rightarrow \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}$  и  $\theta \rightarrow 0$ .

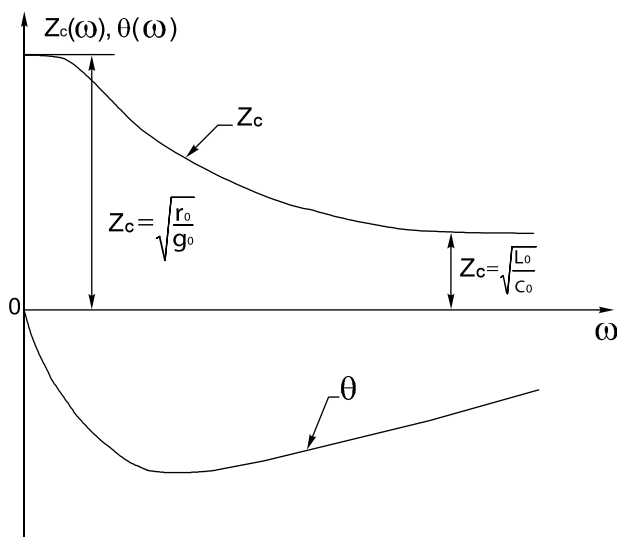


Рис. 3.11. Качественные частотные зависимости модуля и аргумента характеристического полного сопротивления в длинной линии

Кроме того, линии связи (а СКС и строятся, чтобы их создать) всегда стремятся сделать так, чтобы обеспечить, во-первых, минимальное затухание сигнала и, во-вторых, минимальные искажения сигнала. В идеальном случае «линия без потерь» получается, если  $r_0 = 0$  и  $g_0 = 0$ , а «линия без искажений» — если  $r_0/g_0 = L_0/C_0$ , т. е. волновое сопротивление не зависит от частоты и активное.

Требования стандарта к величине  $Z_c$  аккумулируют в себе, таким образом, возможности кабельной промышленности по созданию кабелей с минимальными и однородными по всей длине кабеля значениями  $r_0$  и  $g_0$ , с одной стороны, и желание пользователей иметь линии без затухания и искажений — с другой. В результате

длительных исследований и обсуждений заинтересованных сторон в стандарте появляется некоторая компромиссная величина волнового сопротивления.

В соответствии с требованиями стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) каналы классов D, E и F должны иметь номинальное значение волнового сопротивления  $100 \pm 15$  Ом. Для каналов классов A, B и C предпочтительным является значение 100 Ом, но допускается и значение  $120 \pm 15$  Ом. Допускавшееся ранее значение 150 Ом исключено в действующей редакции стандарта.

Удовлетворение требованиям стандарта по величине  $Z_c$  и ее отклонениям для каналов и стационарных линий СКС должно осуществляться соответствующим выбором для нее кабелей и компонентов, а также качественным их монтажом.

### 3.6.2. Возвратные потери (Return Loss)

*Возвратные потери* канала или линии  $RL$  (англ. Return Loss), характеризуют степень однородности их волнового сопротивления  $Z_c$  по длине и степень согласованности его с полным сопротивлением нагрузки  $Z_H$  в определенном частотном интервале. При подаче на вход линии или канала импульса напряжения с амплитудой  $U_0$  в случае несогласованности нагрузки,  $Z_c \neq Z_H$ , или наличия неоднородности за счет производственных и эксплуатационных дефектов кабеля или несогласованности элементов тракта в них возникает отраженный импульс, распространяющийся в обратном направлении. Этот эффект иллюстрируется на рис. 3.12.

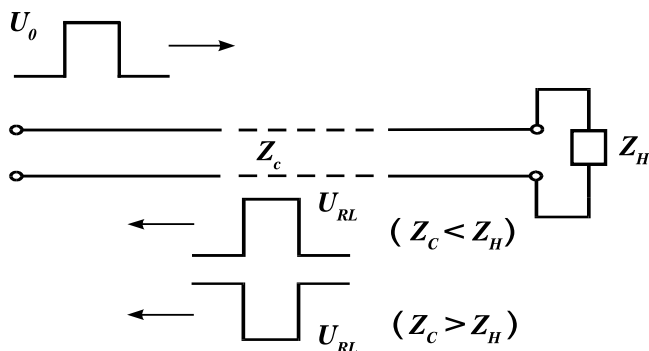


Рис. 3.12. Отражение импульса в канале или линии при наличии в них неоднородности волнового сопротивления

Возвратные потери  $RL$  определяются из соотношения:

$$RL = 20 \lg(|U_{RL}|/U_0), \quad (3-2)$$

где  $|U_{RL}|$  — амплитуда отраженного импульса (по модулю),  $U_0$  — амплитуда входного импульса линии.

Заметим, что поскольку для амплитуд всегда  $U_{RL} < U_0$ , то значения логарифма в (3-2) всегда отрицательны, что необходимо учитывать при расчете абсолютных величин  $U_{RL}$  и  $U_0$ .

Для примера рассчитаем ту долю от амплитуды входного импульса, которую составляет амплитуда отраженного, для канала класса D на частотах от 20 до 100 МГц, если значение  $RL = -10$  дБ:

$$\begin{aligned} RL &= 20 \lg (|U_{RL}|/U_0) \\ -10 &= 20 \lg (|U_{RL}|/U_0) \\ -0,5 &= \lg (|U_{RL}|/U_0) \\ |U_{RL}|/U_0 &= 10^{-0,5} \\ |U_{RL}|/U_0 &= 0,3 \end{aligned} \quad (3-3)$$

Из расчета (3-3) видим, что на высоких частотах, где трудно добиться идеального согласования тракта, амплитуда отраженного импульса может составлять 30% от амплитуды входного. Подчеркнем, что при создании реальной СКС нужно стремиться сделать величину  $RL$  по модулю как можно больше, поскольку в идеальном случае  $RL = -\infty$ .

Параметр  $RL$  специфицирован только для классов C, D, E и F. Он должен измеряться на обоих концах канала или линии. Если в канале или линии на некоторых частотах невелико затухание (менее 3 дБ), то значения  $RL$  на этих частотах служат только для информации и не нормируются.

В табл. 3.2 приведены минимальные по модулю значения  $RL$  для канала и стационарной линии, требуемые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) на верхних граничных частотах соответствующих классов.

**Таблица 3.2.** Минимально допускаемые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения возвратных потерь  $RL$ , дБ, для канала и стационарной линии классов C, D, E, F на граничных частотах (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Минимально допускаемые значения $RL$ , дБ			
	Класс C	Класс D	Класс E	Класс F
1	15,0/15,0	17,0/19,0	19,0/21,0	19,0/21,0
16	15,0/15,0	17,0/19,0	18,0/20,0	18,0/20,0
100	.....	10,0/12,0	12,0/14,0	12,0/14,0
250	.....	.....	8,0/10,0	8,0/10,0
600	.....	.....	.....	8,0/10,0

Заметим, что всегда требования стандарта к каналу мягче, чем к стационарной линии, поскольку последняя всегда короче и всегда содержит меньшее число

элементов тракта. Также и с частотой: чем она выше, тем мягче требования стандарта, т. к. труднее согласовать тракт на высоких частотах.

Отметим, что параметр  $RL$  — частотно-зависимый и требования стандарта должны быть удовлетворены на любой частоте из диапазона рабочих частот соответствующего класса.

### 3.6.3. Потери ввода (*Insertion Loss*)

Уменьшение амплитуды импульсов на выходе канала или линии возникает из-за джоулевых потерь в проводнике и изоляции, а также из-за отражений на скачках волнового сопротивления. Этот эффект, иллюстрируемый рис. 3.13, проявляется в том, что при подаче на вход тракта импульса напряжения с некоторой амплитудой на ее выходе появляется импульс с меньшей амплитудой.

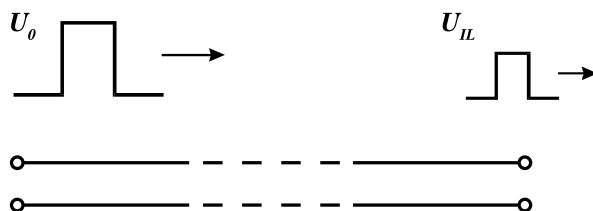


Рис. 3.13. Уменьшение амплитуды импульса в тракте

Численно этот эффект характеризуется параметром, носящим название *потери ввода* (англ. insertion loss), и который определяется из соотношения:

$$IL = 20 \lg (U_{IL}/U_0) \quad (3-4)$$

где  $U_{IL}$  — амплитуда импульса напряжения на выходе линии,  $U_0$  — амплитуда импульса напряжения на входе линии.

Значения логарифма в (3-4) также всегда отрицательны, т. к. всегда  $U_{IL} < U_0$ , а в идеальном случае  $IL=0$ , т. к.  $U_{IL}=U_0$ .

Ранее в стандарте использовался термин «затухание»  $A$  (англ. Attenuation), однако он отражает лишь одну причину уменьшения амплитуды импульса — джоулевы потери, ничего не сообщая о другой — об отражении мощности на неоднородностях волнового сопротивления тракта. Параметр потери ввода  $IL$  полнее характеризует эти свойства тракта и, в конечном итоге, именно он влияет на рабо-



тоспособность активного оборудования. Важно, что параметр  $IL$ , в отличие от параметра  $A$ , не меняется линейно с увеличением длины тракта. Кроме того, именно параметр  $IL$  теперь должен применяться при расчетах других параметров ( $ACR$ ,  $ELFEXT$ ), о которых будет сказано ниже. В то же время термин «затухание»,  $A$ , все равно традиционно используется, например, для описания параметра  $ACR$  и ряда других.

Параметр  $IL$  нормируется для всех классов и, в принципе, должен измеряться на обоих концах тракта. Интересно заметить, что это особенно необходимо в волоконно-оптических трактах, где всегда измерялись именно потери ввода и именно при противоположных направлениях распространения света.

В табл. 3.3 приведены максимально допустимые значения (по модулю) параметра  $IL$  для каналов и стационарных линий всех классов на граничных частотах последних. Отметим снова, что требования к каналу мягче, чем к линии, и смягчаются с ростом частоты.

**Таблица 3.3.** Максимально допускаемые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения потерь ввода  $IL$ , дБ, для каналов и линий всех классов на граничных частотах (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Максимально допускаемые значения $IL$ , дБ					
	Класс А	Класс В	Класс С	Класс D	Класс E	Класс F
0,1	16,0/16,0	5,5/5,5	.....	.....	.....	.....
1	.....	5,8/5,8	4,2/4,0	4,0/4,0	4,0/4,0	4,0/4,0
16	.....	.....	14,4/12,2	9,1/7,7	8,3/7,1	8,1/6,9
100	.....	.....	.....	24,0/20,4	21,7/18,5	20,8/17,7
250	.....	.....	.....	.....	35,9/30,7	33,8/28,8
600	.....	.....	.....	.....	.....	54,6/46,6

### 3.6.4. Переходное затухание на ближнем конце (NEXT)

Переходное затухание на ближнем конце (англ. Near End CrossTalk Loss или *NEXT*, где в английской аббревиатуре значок *X* означает «крест», т. е. по-английски “cross”) характеризует восприимчивость линии (пары) к помехам, обусловленным существованием сигналов в соседних линиях (парах).

Эффект переходного затухания проявляется в том, что при подаче импульса на вход одной пары, на входе другой пары на этом же конце кабеля также появляется импульс. Эффект иллюстрируется на рис. 3.14.

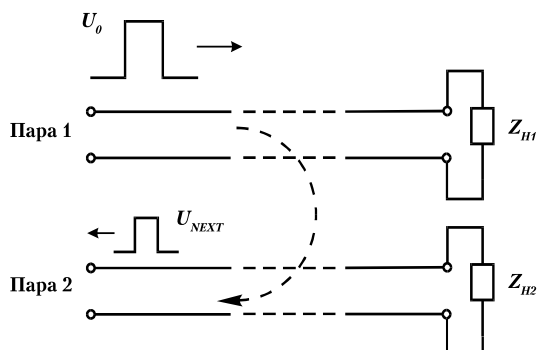


Рис. 3.14. Переходное затухание в тракте передачи сигналов

Переходное затухание на ближнем конце,  $NEXT$ , определяется из соотношения:

$$NEXT = 20 \lg (U_{NEXT}/U_0) \quad (3-5)$$

где  $U_{NEXT}$  — амплитуда импульса, наведенного на входе пары,  $U_0$  — амплитуда импульса, передаваемого по соседней паре.

Снова заметим, что значения логарифма в (3-5) всегда отрицательны, т. к. всегда  $U_{NEXT} < U_0$ . В идеальном случае  $U_{NEXT} = 0$  и  $NEXT_{ид} = -\infty$ .

Параметр  $NEXT$  специфицирован для всех классов и должен измеряться на обоих концах тракта. На частотах, где параметр  $IL$  меньше 4 дБ, значения  $NEXT$  не нормируются и служат только для информативных целей.

Отметим, что параметр  $NEXT$  не зависит от длины кабелей, он определяется только конкретным взаимным влиянием пар.

В табл. 3.4 приведены минимально допускаемые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения  $NEXT$  (по модулю) для канала и стационарной линии всех классов на их граничных частотах.

**Таблица 3.4.** Минимально допускаемые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения  $NEXT$ , дБ, для канала и стационарной линии всех классов (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Максимально допускаемые значения $NEXT$ , дБ					
	Класс А	Класс В	Класс С	Класс D	Класс E	Класс F
0,1	27,0/27,0	40,0/40,0	.....	.....	.....	.....
1	.....	25,0/25,0	39,1/40,1	60,0/60,0	65,0/65,0	65,0/65,0
16	.....	.....	19,4/21,1	43,6/45,2	53,2/54,6	65,0/65,0
100	.....	.....	.....	30,1/32,3	39,9/41,8	62,9/65,0
250	.....	.....	.....	.....	33,1/35,3	56,9/60,4
600	.....	.....	.....	.....	.....	51,254,7

### 3.6.5. «Суммарное» переходное затухание на ближнем конце линии или канала (PSNEXT)

«Суммарное» переходное затухание на ближнем конце PSNEXT (англ. Power Sum NEXT или PSNEXT) — это параметр, который характеризует наводку на одной паре от всех остальных пар, работающих одновременно. Параметр PSNEXT вычисляется (не измеряется непосредственно!) по измеренным значениям параметра NEXT для каждого сочетания пар по формуле:

$$PSNEXT(k) = -10 \lg \sum_{i=1, i \neq k}^n 10^{-0,1NEXT(i,k)} \quad (3-6)$$

где  $n$  — число пар,  $PSNEXT(k)$  — параметр «возмущаемой» пары  $k$ ,  $NEXT(i, k)$  — параметр NEXT для «возмущаемой» пары  $k$  и «возмущающей» пары  $i$ .

Параметры PSNEXT специфицированы только для классов D, E, F и должны измеряться на обоих концах тракта. На частотах, где параметр  $IL$  меньше 4 дБ, параметр PSNEXT не специфицируется и носит информативный характер.

В табл. 3.5 приведены минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения PSNEXT (по модулю) на граничных частотах классов (в формате «канал/стационарная линия»).

**Таблица 3.5.** Минимально допускаемые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения PSNEXT для канала и стационарной линии на граничных частотах классов D, E и F (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Минимально допускаемые значения PSNEXT, дБ		
	Класс D	Класс E	Класс F
1	57,0/57,0	62,0/62,0	62,0/62,0
16	40,6/42,2	50,6/52,2	62,0/62,0
100	27,1/29,3	37,1/39,3	59,9/62,0
250	.....	30,2/32,7	53,9/57,4
600	.....	.....	48,2/51,7

Требования к стационарной линии, естественно, жестче, чем к каналу, и тем жестче, чем выше класс тракта.

Заметим, что в многопарных кабелях, в которых пары не имеют индивидуального экрана, проблема взаимного влияния пар усугубляется, что не позволяет изготавливать многопарные кабели такой конструкции высоких категорий.

Если для всех пар канала или стационарной линии параметр NEXT удовлетворяет требованиям стандарта, но близок к допустимым пределам, то может оказаться, что такой тракт не будет удовлетворять требованиям стандарта по параметру PSNEXT.

Для примера произведем расчет в стационарной линии класса D для одной пары 4-х парного кабеля ( $k=1$ ), предположив, что  $NEXT_{2,1} = NEXT_{3,1} = NEXT_{4,1} = 33$  дБ. В этом случае минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения составляют  $NEXT_{ст} = 32,3$  дБ и  $PSNEXT_{ст} = 29,3$  дБ. Произведем расчет по формуле (3-6):

$$PSNEXT(1) = -10 \lg(3 \cdot 10^{-0,1 \cdot 33}) = -10 (\lg 3 - 3,3) = -10 (0,477 - 3,3) = 28,33 \text{ дБ.}$$

Полученное значение  $PSNEXT(1)$  оказывается на 1,07 дБ меньше допускаемого стандартом значения для стационарной линии. Из расчета видим, что сами по себе приемлемые значения  $NEXT(i, k)$  могут дать неприемлемое для отдельной пары значение «суммарного» переходного затухания  $PSNEXT(k)$ .

### 3.6.6. Переходное затухание на дальнем конце (FEXT) и его «суммарное» значение (PSFEXT)

Воздействие одной пары на другую сказывается не только на ближнем, но и на дальнем конце. Это явление иллюстрируется на рис. 3.15.

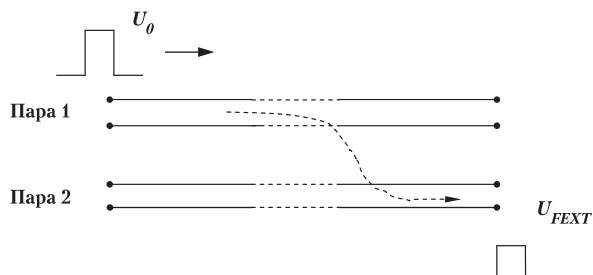


Рис. 3.15. Переходное затухание на дальнем конце тракта передачи сигнала

Его принято характеризовать как переходное затухание на дальнем конце  $FEXT$  (англ. Far End Cross Talk или FEXT), и определять из соотношения:

$$FEXT = 20 \lg (U_{FEXT}/U_0) \quad (3-7)$$

Параметр  $FEXT$ , как правило, сам по себе не измеряется в «полевых» условиях на установленной СКС, но используется для определения других параметров тракта на дальнем конце.

«Суммарное» значение этого параметра,  $PSFEXT$ , учитывает взаимное влияние всех пар на одну при их одновременной работе и вычисляется по формуле:

$$PSFEXT(k) = -10 \lg \sum_{i=1, i \neq k}^n 10^{-0,1 FEXT(i, k)} \quad (3-8)$$

где  $n$  — число пар,  $PSFEXT(k)$  — «суммарный» параметр «возмущаемой» пары  $k$ ,  $i$  — номер «возмущающей» пары,  $k$  — номер «возмущаемой» пары,  $FEXT(i, k)$  — параметр  $FEXT$ , обусловленный воздействием пары  $i$  на пару  $k$ .

### 3.6.7. Нормированное на потери ввода переходное затухание на ближнем конце (ACR)

Соотношение затухания и переходного затухания на ближнем конце (англ. Attenuation to Crosstalk Ratio,  $ACR$ ) характеризует отношение «сигнал/помеха» на приемном конце линии. При этом «сигналом» считается только пришедший по линии и ослабленный за счет затухания и отражения в линии импульс, а «помехой» — только импульс, наведенный от соседней линии при условии, что она передает такой же по амплитуде импульс, как и предыдущая, но в противоположном направлении.

Этот параметр нельзя путать с общепринятым параметром «сигнал/шум» (англ. Signal to Noise Ratio,  $SNR$ ) или с отношением «сигнал/перекрестная помеха» (англ. Signal to Crosstalk Ratio,  $SCR$ ), т. к. параметры  $SNR$  и  $SCR$  подразумевают уровни передаваемого и принимаемого сигналов в прикладной аппаратуре, а кроме того, и многочисленные другие источники помех, шумов и наводок. Естественно, что все три параметра  $ACR$ ,  $SNR$  и  $SCR$  «идейно» связаны друг с другом.

Эффект одновременного влияния на качество линии СКС обоих параметров: затухания,  $A$ , и переходного затухания на ближнем конце  $NEXT$  иллюстрирует рис. 3.16, на котором изображены их частотные зависимости.

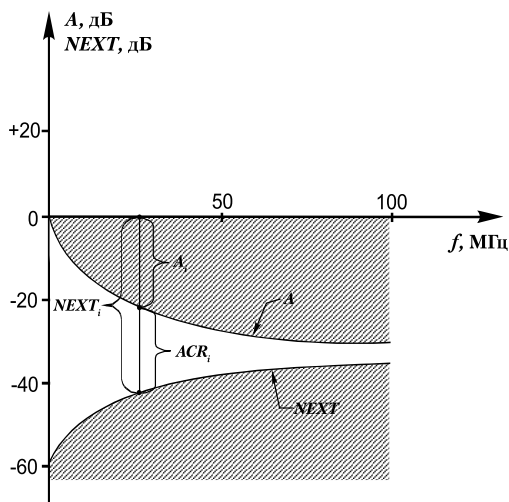


Рис. 3.16. Качественные зависимости параметров  $A$  и  $NEXT$  от частоты  $f$  для тракта передачи сигналов в СКС

Области значений параметров  $A$  и  $NEXT$ , допускаемых стандартом, заштрихованы, а предельно допускаемые стандартом значения  $A_i$  и  $NEXT_i$  на некоторой частоте  $f_i$  равны (в масштабе) длинам отрезков, соответственно обозначенных на рис. 3.16. Из рис. 3.16 видно, что если установлены максимально возможное  $A_i$  и минимально возможное  $NEXT_i$ , то тем самым установлена минимально возможная длина отрезка  $ACR_i$ . Таким образом, незаштрихованная область на рис. 3.16 показывает минимально допустимые длины отрезков  $ACR$  во всем частотном диапазоне.

Покажем, как получается формула для определения величины  $ACR$ , обратившись к рис. 3.17.

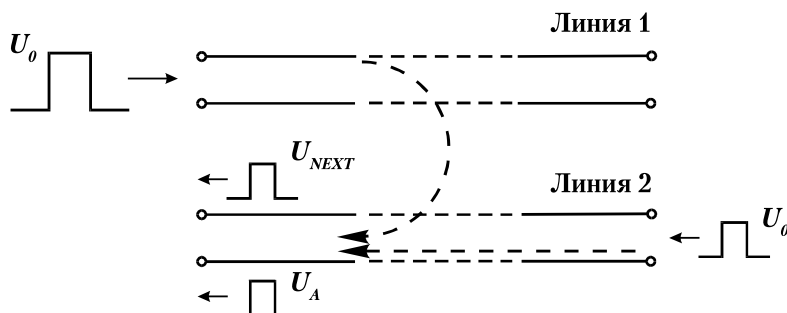


Рис. 3.17. К выводу формулы для  $ACR$

Предположим, что в СКС имеются две линии 1 и 2, и по ним передаются одно- временно импульсы с амплитудой  $U_0$ : в линии 1 слева направо, в линии 2 — справа налево. Рассмотрим ситуацию на левом конце линии 2. Здесь должны присутствовать два импульса: импульс с амплитудой  $U_A$ , обусловленный затуханием в линии 2, и импульс с амплитудой  $U_{NEXT}$ , обусловленный переходным затуханием между линиями 1 и 2.

Определим амплитуды  $U_A$  и  $U_{NEXT}$  и сравним их между собой. Для этого определим  $U_A$ , полагая, что:  $A = 20 \lg (U_A/U_0)$

$$U_A = U_0 \times 10^{\frac{A}{20}} \quad (3-9)$$

а из соотношения (3-5) определим  $U_{NEXT}$ :

$$U_{NEXT} = U_0 \times 10^{\frac{NEXT}{20}} \quad (3-10)$$

Рассмотрим их отношение  $B = U_A/U_{NEXT}$ :

$$B = \frac{U_A}{U_{NEXT}} = \frac{U_0 \times 10^{\frac{A}{20}}}{U_0 \times 10^{\frac{NEXT}{20}}} = \frac{10^{\frac{A}{20}}}{10^{\frac{NEXT}{20}}} \quad (3-11)$$

Преобразуем выражение (3-11), логарифмируя и умножая обе его части на 20:

$$20 \lg B = 20 \lg \frac{10^{\frac{A}{20}}}{10^{\frac{NEXT}{20}}} = A - NEXT \quad (3-12)$$

Обозначив  $20 \lg B = ACR$ , получаем  $ACR = A - NEXT$ . Поскольку величины  $A$  и  $NEXT$  отрицательны, то перепишем выражение (3-12), используя их модули, которые именно и приводятся в стандарте:

$$ACR = -|A| - (-|NEXT|) = |NEXT| - |A| \quad (3-13)$$

Таким образом, параметр  $ACR$  есть разность параметров  $NEXT$  и  $A$ .

В стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) термин «затухание»  $A$  (англ. Attenuation) используется только для описания обсуждаемого явления и сохранения традиционного наименования параметра —  $ACR$ . На практике параметр  $ACR$  определяется через параметры  $NEXT$  и  $IL$  (т. е. учитывается не только затухание, но и отражение мощности в тракте):

$$ACR(i, k) = NEXT(i, k) - IL(k) \quad (3-14)$$

где  $i$  — номер «возмущающей» пары,  $k$  — номер «возмущаемой» пары,  $NEXT(i, k)$  — параметр  $NEXT$ , обусловленный воздействием пары  $i$  на пару  $k$ ,  $IL(k)$  — параметр  $IL$  для пары  $k$ .

Параметр  $ACR$  специфицируется только для классов D, E, F и измеряется на обоих концах тракта.

В табл. 3.6 приведены минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения  $ACR$  для канала и стационарной линии (в формате «канал/стационарная линия»).

**Таблица 3.6.** Минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения  $ACR$ , дБ, для канала и стационарной линии классов D, E, F на граничных частотах классов (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Минимально допускаемые значения $ACR$ , дБ		
	Класс D	Класс E	Класс F
1	56,0/56,0	61,0/61,0	61,0/61,0
16	34,5/37,5	44,9/47,5	56,9/58,1
100	6,1/11,9	18,2/23,3	42,1/47,3
250	.....	-2,8/4,7	23,1/31,6
600	.....	.....	-3,4/8,1

Из табл. 3.6 следует, что, как и для других параметров, требования стандарта к  $ACR$  жестче для более высоких классов, а также жестче для линии, чем для канала. Естественно, они смягчаются с ростом частоты.

Обращает на себя внимание также изменение знака  $ACR$  в канале для классов E и F на верхних граничных частотах. Оно означает, что на указанных высоких частотах при одновременной работе всех пар трудно избавиться от их взаимного влияния и соответствующая аппаратура должна работать при отношениях «сигнал/помеха», меньших единицы.

На практике, при заданной длине конкретного кабеля и определенном числе конкретных соединений в тракте, нет реальных возможностей повлиять на параметр  $IL$ , поэтому приемлемых значений  $ACR$  можно добиться, только улучшая параметр  $NEXT$ . Последнее достигается только улучшением качества монтажа витых пар и, конкретно, минимизацией длины их расплетения на соединительных устройствах.

### 3.6.8. «Суммарное» нормированное на потери ввода переходное затухание на ближнем конце ( $PSACR$ )

Как было выяснено ранее, параметр  $ACR$  характеризует отношение «сигнал/помеха» на ближнем конце тракта при воздействии лишь одной пары на другую. При одновременной работе всех пар необходимо учесть влияние всех работающих пар на одну конкретную. Это делается с использованием «суммарного» параметра  $PSNEXT$  для этой пары и параметра  $IL$  для нее. Для этого вводится «суммарный» параметр  $PSACR$  (англ. Power Sum ACR), вычисляемый по формуле:

$$PSACR(k) = PSNEXT(k) - IL(k), \quad (3-15)$$

где  $k$  — номер «возмущаемой» пары,  $PSNEXT(k)$  — «суммарный» параметр пары  $k$ ,  $IL(k)$  — потери ввода пары  $k$ .

Минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения параметра  $PSACR$  для канала и стационарной линии классов D, E, F на верхних граничных частотах приведены в табл. 3.7 в формате «канал/стационарная линия».

**Таблица 3.7.** Минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения параметра  $PSACR$  для канала и стационарной линии классов D, E, F на граничных частотах (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Минимально допускаемые значения $PSACR$ , дБ		
	Класс D	Класс E	Класс F
1	53,0/53,0	58,0/58,0	58,0/58,0
16	31,5/34,5	42,3/45,1	53,9/55,1
100	3,1/8,9	15,4/20,8	39,1/44,3
250	.....	-5,8/2,0	20,1/28,6
600	.....	.....	-6,4/5,1



Так же, как и  $ACR$ , параметр  $PSACR$  должен удовлетворять требованиям на обоих концах тракта и непосредственно не измеряется, а вычисляется по формуле (3-15).

### 3.6.9. Нормированное на потери ввода переходное затухание на дальнем конце тракта ( $ELFEXT$ )

При передаче сигналов по каналу или линии в полнодуплексном режиме (т. е. когда по каждой паре одновременно осуществляется и передача и прием сигналов), необходимо обеспечить определенное соотношение «сигнал/помеха» не только на ближнем конце (параметр  $ACR$ ), но и на дальнем конце тракта.

Как было сказано выше, влияние пары на пару на дальнем конце тракта характеризуется параметром  $FEXT$ . Но при передаче сигнала он ослаблен на дальнем конце тракта, поскольку в тракте есть затухание и отражение мощности. Для оценки соотношения «сигнал/помеха» на дальнем конце тракта вводится параметр нормированного на потери ввода переходного затухания на дальнем конце  $ELFEXT$ , в предположении, что уровни взаимного влияния пары на пару одинаковы, т. е. значения  $FEXT(i, k)$  и  $FEXT(k, i)$  равны друг другу. Иначе можно сказать, что пары взаимно имеют  $FEXT$  одинакового уровня (англ. Equal Level  $FEXT$  или  $ELFEXT$ ).

Параметр  $ELFEXT$  на дальнем конце тракта аналогичен параметру  $ACR$  на его ближнем конце и определяется соотношением:

$$ELFEXT(i, k) = FEXT(i, k) - IL(k) \quad (3-16)$$

где  $i$  — номер «возмущающей» пары,  $k$  — номер «возмущаемой» пары,  $IL(k)$  — потери ввода «возмущаемой» пары.

В 4-х парном тракте будем иметь 12 значений  $FEXT$  и, соответственно, 12 значений  $ELFEXT$ . Другими словами, число сочетаний по две пары из четырех равно шести, т. е. имеем шесть одинаковых значений  $FEXT$ , но из каждого этого значения  $FEXT$  должны вычесть сначала  $IL$  для одной пары, а затем  $IL$  для другой).

Минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения  $ELFEXT$  для канала и стационарной линии классов D, E, F на верхних граничных частотах приведены в табл. 3.8 в формате «канал/стационарная линия».

**Таблица 3.8.** Минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения  $ELFEXT$  для канала и стационарной линии классов D, E, F на верхних граничных частотах (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Минимально допускаемые значения $ELFEXT$ , дБ		
	Класс D	Класс E	Класс F
1	57,4/58,6	63,3/64,2	65,0/65,0
16	33,3/34,5	39,2/40,1	57,5/59,3
100	17,4/18,6	23,3/24,2	44,4/46,0
250	.....	15,3/16,2	37,8/39,2
600	.....	.....	31,3/32,6

Параметр  $ELFEXT$  определяется на обоих концах тракта и в идеальном случае  $ELFEXT_{и0} = -\infty$ .

### 3.6.10. «Суммарное» нормированное на потери ввода переходное затухание на дальнем конце ( $PSELFEXT$ )

Аналогично параметру  $PSACR$  на ближнем конце для дальнего конца тракта вводится «суммарный» параметр  $PSELFEXT$  (англ. Power Sum  $ELFEXT$ ), учитывающий взаимное влияние пар при наличии сигналов во всех парах одновременно. Он вычисляется для отдельной пары по формуле:

$$PSELFEXT_k = -10 \lg \sum_{i=1, i \neq k}^n 10^{\frac{-ELFEXT_{ik}}{10}}, \quad (3-17)$$

где  $i$  — номер «возмущающей» пары,  $k$  — номер «возмущаемой» пары,  $ELFEXT_{ik}$  — параметр, обусловленный воздействием пары  $i$  на пару  $k$ .

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к минимально допустимым значениям  $PSELFEXT$  для канала и стационарной линии классов D, E, F на верхних граничных частотах приведены в табл. 3.9.

**Таблица 3.9.** Минимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения  $PSELFEXT$  для канала и стационарной линии классов D, E, F на граничных частотах (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Минимально допускаемые значения $PSELFEXT$ , дБ		
	Класс D	Класс E	Класс F
1	54,4/55,6	60,3/61,2	62,0/62,0
16	30,3/31,5	36,2/37,1	54,5/56,3
100	14,4/15,6	20,3/21,2	41,4/43,0
250	.....	12,3/13,3	34,8/36,2
600	.....	.....	28,3/29,6

### 3.6.11. Задержка сигнала (PD) и перекося задержек (DS)

Для правильного функционирования аппаратуры, в которой используется одно-временная передача сигналов по всем парам 4-х парного тракта, необходимо обеспечить, во-первых, минимальные задержки, и, во-вторых, равенство задержек во всех парах. Для оценки качества трактов в смысле «временной симметрии» вводятся два параметра: задержка распространения сигнала по паре PD (англ. Propagation Delay, PD) и перекося задержек в парах DS (англ. Delay Skew, DS).

Под перекося задержек в 4-х парном тракте понимают разность между максимальным и минимальным значениями среди четырех измеренных.

Задержка специфицируется для всех классов каналов и стационарных линий, а перекося задержек — только для классов C, D, E, F.

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к задержке в трактах на верхних граничных частотах классов приведены в табл. 3.10, а требования к перекося задержек — в табл. 3.11.

**Таблица 3.10.** Максимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения задержки PD для канала и стационарной линии на граничных частотах классов (в формате «канал/стационарная линия»)

Частота, МГц	Максимально допустимая задержка PD, нс					
	Класс А	Класс В	Класс С	Класс D	Класс E	Класс F
0,1	20000/19400	5000/4400	.....	.....	.....	.....
1	.....	5000/4400	580/521	580/521	580/521	580/521
16	.....	.....	553/496	553/496	553/496	553/496
100	.....	.....	.....	548/491	548/491	548/491
250	.....	.....	.....	.....	546/490	546/490
600	.....	.....	.....	.....	.....	545/489

**Таблица 3.11.** Максимально допустимый стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) «перекося задержек» DS для канала и стационарной линии (в формате «канал/стационарная линия»)

Класс	Частота, МГц	DS <sub>макс</sub> , нс
C	1÷16	50/44
D	1÷100	50/44
E	1÷250	50/44
F	1÷600	30/26

### 3.6.12. Характеристики каналов и стационарных линий по постоянному току

Для нормальной работы некоторых инженерных систем, подключенных к СКС, существенное значение имеют не только динамические электромагнитные характеристики тракта передачи сигналов, но и характеристики тракта по постоянному току. Особенно это важно в связи с предложениями использовать симметричные электрические кабели на основе витой пары для питания сетевых устройств.

Стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) специфицируются следующие такие параметры:

- сопротивление петли постоянному току DCLR (англ. Direct Current Loop Resistance, DCLR);

- разбаланс проводников одной пары по сопротивлению постоянному току DCRU (англ. Direct Current Resistance Unbalance, DCRU);
- допустимое значение постоянного тока в проводнике пары CCC (англ. Current Carrying Capacity, CCC);
- допустимое рабочее напряжение постоянного тока между проводниками DCOV (англ. Direct Current Operating Voltage, DCOV);
- допустимая мощность постоянного тока в одной паре DCPC (англ. Direct Current Power Capacity, DCPC).

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к каналам и стационарным линиям по постоянному току приведены в табл.3.12.

**Таблица 3.12.** Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к каналу и стационарной линии по постоянному току

Параметр	Класс	Канал	Стационарная линия
Сопротивление петли постоянному току DCLR, Ом, не более	A	560	530
	B	170	140
	C	40	34
	D	25	21
	E	25	21
	F	25	21
Разбаланс сопротивления проводников в паре по постоянному току DCRU, %, не более	Все классы	3	3
Допустимый постоянный ток в проводнике пары CCC, А, не менее	D, E, F	0,175	соответствует каналу
Допустимое рабочее напряжение постоянного тока между проводниками DCOV, В, не менее	D, E, F	72	соответствует каналу
Допустимая мощность постоянного тока в одной паре DCPC, Вт, не менее	D, E, F	10	соответствует каналу

Заканчивая рассмотрение электромагнитных характеристик СКС необходимо сделать следующие замечания:

- в таблицах 3.2–3.11 приведены параметры лишь для одного значения частоты, и эти таблицы могут быть использованы только в информативных целях для ориентировки. Все эти параметры являются частотно-зависимыми величинами и в стандарте приведены соответствующие формулы, отражающие конкретную зависимость параметра от частоты. Поэтому, для определения

требований стандарта к конкретному параметру на конкретной частоте необходимо провести вычисления по этим формулам. На практике эти вычисления, как правило, производит процессор измерительного тестового прибора;

- современные СКС немыслимы без измерений их электромагнитных характеристик. Собственно, и целью построения СКС является именно создание линий и каналов нужного класса, т. е. трактов, удовлетворяющих требованиям соответствующей конкретной аппаратуры. К сожалению, многие параметры СКС определяются только качеством ее монтажа. Монтажник современной СКС стал похож на вратаря в футбольном матче: какими бы ни были качественными компоненты, он с ними один на один, и если он пропустит «мяч», то будет «гол»: инсталлированная СКС не будет удовлетворять требованиям стандарта по электромагнитным параметрам;
- возросшие требования активного оборудования к физической среде передачи данных — к трактам на основе витой пары — выдвинули вопросы электромагнитных параметров каналов и линий на первый план. Это объясняется тем, что, по сути, уже исчерпаны возможности такой среды передачи для современного активного оборудования. Буквально несколько лет назад возможности кабелей и компонентов значительно превышали требования аппаратуры, и это привело к ложным представлениям о том, что с витой парой и розеточными модулями можно обращаться вольно: аппаратура все равно работает. Сегодня — как раз наоборот: некачественный монтаж приводит к полной неработоспособности СКС и активного оборудования. Динамику «ужесточения» требований к СКС легко увидеть в табл. 3.13, где представлены спецификации линий и каналов классов D, E, F по стандарту ISO/IEC 11801:2002(E) для верхних граничных частот, установленные в 1995, 1999 и 2002 годах. Например, к параметру ACR для линии класса D требования в 2002 году в 3 раза «жестче», чем в 1995 году.

**Таблица 3.13.** Спецификации линий и каналов классов D, E, F по стандарту ISO/IEC 11801:2002(E) для верхних граничных частот в 1995, 1999 и 2002 годах

Параметр	Стационарная линия					Канал				
	Класс D, 100 МГц			Класс E, 250 МГц	Класс F, 600 МГц	Класс D, 100 МГц			Класс E, 250 МГц	Класс F, 600 МГц
	1995 г.	1999 г.	2002 г.	2002 г.	2002 г.	1995 г.	1999 г.	2002 г.	2002 г.	2002 г.
Return Loss, дБ	10,0	12,1	12,0	10,0	10,0	*	10,0	10,0	8,0	8,0
Insertion Loss, дБ	23,2	20,6	20,4	30,7	46,6	*	24,0	24,0	35,9	54,6
NEXT, дБ	24,0	29,3	32,3	35,3	54,7	*	27,1	30,1	33,1	51,2
ACR, дБ	4,0	8,7	11,9	4,7	8,1	*	3,1	6,1	-2,8	-3,4
Propagation delay, мкс	1,0	0,850	0,491	0,490	0,489	*	0,900	0,548	0,546	0,546
Delay skew, мкс	*	0,043	0,044	0,044	0,026	*	0,050	0,050	0,050	0,030
PSNEXT, дБ	*	26,3	29,3	32,7	51,7	*	24,1	27,1	30,2	48,2
PSACR, дБ	*	5,7	8,9	2,0	5,1	*	0,1	3,1	-5,8	-6,4
ELFEXT, дБ	*	19,6	18,6	16,2	32,6	*	17,0	17,4	15,3	31,3
PSELFEXT, дБ	*	17,0	15,6	13,2	29,6	*	14,4	14,4	12,3	28,3

### **3.7. Администрирование структурированной кабельной системы**

#### **3.7.1. Понятие администрирования СКС**

Под администрированием СКС в общем случае понимают способы и средства управления этой системой на протяжении всего срока ее эксплуатации.

Эксплуатация СКС в течение длительного времени предполагает, что в этой системе могут быть сделаны изменения, перемещения, добавления и удаления (ИПДУ) каких-либо компонентов (англ. Changes, Moves, Additions and Deletions, CMAD). Как правило, все действия по ИПДУ осуществляются вручную, и наиболее частой операцией является коммутация портов с помощью коммутационных шнуров или кроссовых перемычек. Не менее важным является оперативное отражение всех ИПДУ в документации на действующую СКС, поскольку документация полезна лишь тогда, когда она отражает фактическое состояние СКС в нужный момент времени.

По этим причинам процесс управления кабельной системой должен осуществляться по единым правилам, которые охватывают все аспекты процесса ИПДУ, начиная от маркировки компонентов и заканчивая выпиской наряда на выполнение конкретной операции. Правильное администрирование СКС существенно облегчает ее ремонт и сокращает время простоя таких важных инженерных систем, как ЛВС. По данным [16] около 70% вызовов ремонтной службы ЛВС связано с кабельной системой, причем 80% времени ремонтники тратят на поиск проблемы и только 20% — на ее устранение.

Увеличивающееся число инсталляций СКС и их масштабов стимулировало стандартизацию методов управления ими, т. е. стандартизацию администрирования структурированных кабельных систем. Первым нормативным документом в этой области стал американский стандарт на администрирование СКС, который был принят в 1993 г. и действует сегодня в новой редакции TIA/EIA — 606-A, принятой в 2002 г. (см. Приложение. I.2).

Международные требования к администрированию СКС впервые изложены в Разделе 11 стандарта ISO/IEC 11801:1995(E), а с 1999 г. — в отдельном стандарте на администрирование СКС — ISO/IEC 14763-1:1999(E) (см. Приложение I.1).

Ниже, на основе стандарта ISO/IEC 14763-1:1999(E), кратко описаны требования к администрированию СКС.

#### **3.7.2. Требования международного стандарта ISO/IEC 14763-1:1999(E) к администрированию СКС**

В соответствии со стандартом ISO/IEC 14763-1:1999(E) система администрирования СКС состоит из записей, которые документируют местоположение всех телекоммуникационных компонентов и все уникальные идентификаторы, которые должны быть присвоены этим компонентам. Она обеспечивает возможность бы-

строго и легкого внесения в эксплуатационную документацию результатов процесса ИПДУ.

Особенностью сегодняшнего администрирования СКС является практическое отсутствие единообразной терминологии в этой области. В связи с этим, стандарт, прежде всего, вводит шесть четких определений, которые должны позволить специалистам однозначно понимать друг друга:

- *идентификатор* (по-английски — identifier) — уникальный набор информации, который дает возможность однозначно отличать конкретный компонент телекоммуникационной инфраструктуры от иных, даже себе подобных, при ее эксплуатации и в административных записях. Например, если в СКС имеется 2000 информационных розеток одного типа, то должно быть 2000 уникальных идентификаторов для них. В простейшем случае идентификатор — это номер;
- *метка* (по-английски — label) — наклейка, шильдик или любая бирка, которыми отмаркирован компонент инфраструктуры, и на которых приведен идентификатор этого компонента и, возможно, полезная дополнительная информация. Иными словами, метка — это носитель идентификатора;
- *кабелепровод* (по-английски — pathway) — любое устройство или приспособление для размещения кабелей между точками их присоединения, выбранное при реализации СКС (например, трубопровод, кабельный канал, лоток, кабельный коллектор, эстакада, трос воздушной подвески и проч.);
- *запись* (по-английски — record) — коллекция всей информации о конкретном компоненте инфраструктуры и другой полезной информации, относящейся к нему;
- *пространство* (по-английски — space) — помещение или устройство, ограничивающее то пространство, в котором присоединяются кабели и размещается оборудование (например, чулан, телекоммуникационный шкаф, кабельный колодец, комната оборудования, телекоммуникационная комната и проч.);
- *наряд на выполнение работы* (по-английски — work order) — коллекция информации, которая документирует все изменения и операции, которые должны быть выполнены в телекоммуникационной инфраструктуре. В наряде, кроме того, могут быть указаны сроки проведения работ и все ответственные лица.

Администрирование СКС — это система управления кабелями и соединениями. Она дает возможность однозначно идентифицировать ее компоненты по типу, по местоположению в зданиях, по использованию и другим нужным критериям.

Система администрирования может использовать базу данных записей для отслеживания текущего состояния СКС. Это позволяет пользователю СКС (или администратору СКС) управлять перемещениями, добавлениями, изменениями и удалениями в кабельной системе и генерировать отчеты о сиюминутном состоянии СКС. На рис. 3.18 приведены рекомендуемые стандартом ISO/IEC 14763-1:19-

99(Е) критерии администрирования, необходимые идентификаторы, записи и примеры взаимосвязей элементов телекоммуникационной инфраструктуры.

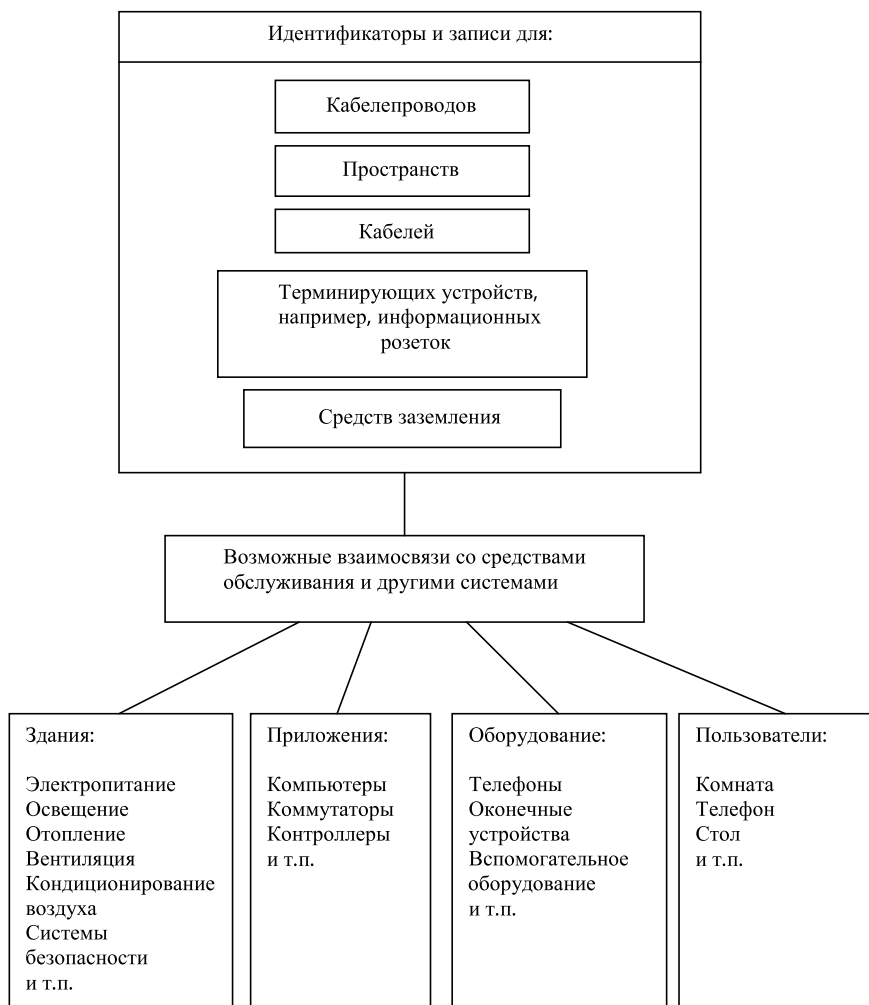


Рис. 3.18. Примеры критериев администрирования, необходимых идентификаторов, записей и взаимосвязей элементов инфраструктуры

Стандарт рекомендует, чтобы принципы администрирования были реализованы с помощью административной системы, основанной на компьютерной базе данных. Основной информационный поток административной базы данных иллюстрируется на рис. 3.19.



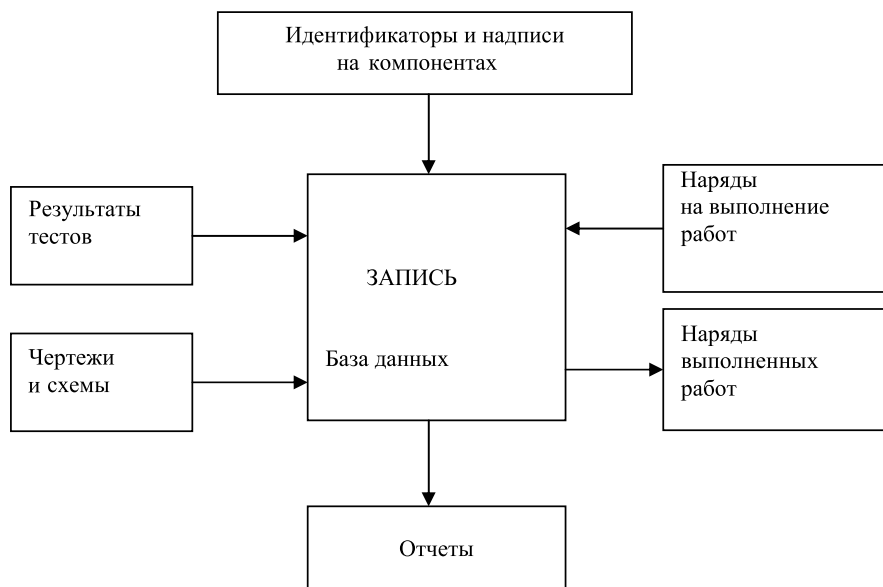


Рис. 3.19. Информационный поток административной базы данных

Конкретные требования стандарта ISO/IEC 14763-1:1999(E) к элементам администрирования сводятся к нижеследующим.

### Идентификаторы

Каждый компонент, относящийся к кабельной системе, включая кабелепроводы и пространства, должен иметь идентификатор. Простейшим примером идентификатора, например, розеточного модуля информационной розетки, может быть ее единственный уникальный номер. Дополнительно идентификатор может показывать ее местоположение, тип и другую информацию. Информативное «Приложение А» к стандарту ISO/IEC 14763-1:1999(E) рекомендует для идентификатора использовать в базе данных пять текстово-числовых полей:

- поле 1 (не менее 5 символов) — определяет здание или его координаты на плане территории, например, HSE 01: здание 01;
- поле 2 (не менее 7 символов) — определяет комнату или ее координаты в здании, например, 01 R0123: комната 0123 на этаже 01;
- поле 3 (не менее 4 символов) — наименование компонента, например, F 001: оптоволокно 001;
- поле 4 — номер порта на активном устройстве;
- поле 5 — специфические данные о компоненте.

### Маркировка компонентов

Каждый компонент должен быть четко отмаркирован его идентификатором. Маркировка может быть осуществлена надежно прикрепленными метками, либо сам компонент может быть отмаркирован. Маркировки должны быть долговременными, доступными и легко читаемыми. (Заметим, что американским стандартом запрещено делать надписи на метках вручную, они должны быть выполнены принтером.)

### Записи

Записи могут производиться и поддерживаться в актуальном состоянии с помощью компьютерной или бумажной системы.

Записи относительно компонентов кабельной системы, кабелепроводов и пространств должны быть связаны друг с другом через их идентификаторы. Они должны иметь ссылки на записи для других компонентов инфраструктуры предприятия, таких как электропитание, вентиляция и другие инженерные системы.

Записи должны обязательно содержать дату их внесения и должны быть обязательно обновлены всякий раз, когда сделаны ИПДУ в кабельной системе.

Как минимум, должны быть обеспечены следующие записи:

- для кабелей — местоположение конечных точек, тип, номер, число пар или волокон;
- для розеток — идентификатор, тип, местоположение;
- для распределительных устройств — идентификатор, назначение, тип, местоположение, соединения;
- для чертежей — план этажа, показывающий местоположение информационных розеток, распределительных устройств, кабелепроводов.

В процессе ИПДУ могут понадобиться добавочные записи. Они могут содержать много полезной информации, облегчающей администрирование. В стандарте ISO/IEC 14763-1:1999(E) приведены примеры такого рода опционных записей и их примерное содержание для:

- *кабелей* — тип кабеля, его особенности (например, цвет оболочки), состав и содержание оболочек, производитель, число проводников (действующих, недействующих и отказавших), длина, электромагнитные характеристики (затухание, полоса пропускаемых частот), номера контактов на концах, категория, местоположение заземления, способы обращения с экранами, активная система, использующая кабель, данные кода, торговый код изделия, идентификатор, связи с идентификаторами распределительных устройств, кабелепроводов и пространств;
- *информационных розеток* — категория, тип оптоволокну, конструкция (экранированная или нет), производитель, схема присоединения проводников, код

изделия, указание портов и присоединенных кабелей, связи с идентификаторами распределительных устройств, розеток, кабелепроводов и пространств;

- *распределительных устройств* — число доступных и используемых кабелей, волокон, пар; производитель, код изделия, связи с идентификаторами кабелей, кабелепроводов и пространств; вид лицевой панели;
- *кабелепроводов* — тип, конструкция (токопроводящая или нет), размеры, механические характеристики, точки отводов, производитель, опознавательные признаки, длина, местоположение, записи для кабелей, расположенных в этом кабелепроводе, местоположение заземления;
- *пространств* — местоположение, размеры, опознавательные признаки, оборудование, расположенное в этом пространстве, его площадь, тип;
- чертежей и нарядов на работу — непосредственно чертежи и планы, перечни и графики работ с указанием сроков и ответственных лиц;
- *измерений* — результаты измерений параметров линий и каналов, даты, приборы, операторы;
- *активного оборудования* — тип устройства, номер модели, число портов, идентификатор, назначение портов, опознавательные признаки, местоположение, производитель, имя пользователя, телефонный номер, дата инсталляции, заводской номер;
- *протоколов* — непосредственное содержание протоколов.

### Отчеты

Отчеты генерируются из информации, содержащейся в базе данных. Они могут быть в виде списков, таблиц, диаграмм, различных форм и т. п. Отчеты используются для определения текущего статуса инфраструктуры, устранения неполадок и также могут помочь при составлении плана развития инфраструктуры предприятия.

Оформление документации по администрированию телекоммуникационной инфраструктуры предприятия должно базироваться на международном стандарте IEC 61082 “Preparation of documents used in electrotechnology” («Оформление документации, используемой в электротехнологии») с использованием соответствующих символов.

Резюмируя требования стандарта ISO/IEC 14763-1:1999(E) к администрированию СКС, можно сказать, что СКС тогда ему удовлетворяет, когда выполнено следующее:

- для каждого компонента инфраструктуры создан идентификатор;
- каждый компонент снабжен меткой, содержащей идентификатор; метка должна быть долгоживущей, доступной и читаемой;
- для каждого компонента сделана запись, а все записи организованы в базу данных;
- вид записи соответствует стандарту по форме и содержанию; запись сразу изменена, как только сделано изменение в телекоммуникационной инфраструктуре.

### 3.7.3. Программные и аппаратные средства администрирования кабельной системы

Стремление повысить эффективность администрирования СКС привело к созданию специальных компьютерных программ управления кабельной системой — CMS (англ. Cable Management Software, CMS). Первый такой программный продукт — Crimp software product — был предложен в Великобритании фирмой Cablessoft в середине 80-х годов 20-го века. К 1999 г., претерпев существенные усовершенствования, он превратился в программу Crimp Enterprise Server 5.0, предлагаемую фирмой iTRACS (переименованной из Cablessoft и переехавшей в США [17]).

Однако, автоматизированное администрирование СКС не может быть осуществлено только программными средствами, нужны и специальные аппаратные устройства, содержащие как активные, так и пассивные блоки. Такие устройства тоже были созданы различными производителями и, как правило, они являются эксклюзивными.

Следующим шагом развития администрирования СКС явилось объединение программных и аппаратных средств в один программно-аппаратный комплекс, что позволило говорить о т. н. «интеллектуальных СКС» (англ. Intelligent Structured Cabling System). При этом сама аббревиатура CMS изменила свое содержание, теперь сокращение CMS означает более широкое понятие — система управления СКС (англ. Cabling Management System, CMS).

Кроме того, современные программно-аппаратные комплексы не ограничиваются только документированием компонентов и их взаимосвязей, но включают в себя [17] ряд новых функций, например,:

- связывают управление физической инфраструктурой с корпоративными финансовыми возможностями, приводя к всестороннему управлению вложениями в информационные технологии;
- объединяют управление физическим уровнем с управлением верхними сетевыми уровнями, которое ранее осуществлялось только сетевыми программами — NMS (англ. Network Management Software);
- стирают различия между решениями на основе только программных средств и смешанными решениями на основе эксклюзивных программно-аппаратных средств, что открывает дорогу для создания «открытых» автоматизированных систем управления кабельной инфраструктурой.

Здесь нет возможности подробного рассмотрения современных систем CMS, описание некоторых из них можно найти в [1, 17, 18, 19]. В табл. 3.14 приведен список [20] современных продуктов CMS, предлагаемых на рынке США, с перечислением их особенностей.

Таблица 3.14. Современные продукты CMS

Фирма-производитель	Наименование продукта	Функциональные возможности*	Требования к компьютеру	
			аппаратные	программные
American Polywater Corp.	Pull-Planner 2000 for Windows	И/Д; П/С	IBM PC	Windows 95, 98, NT
Amphenol Fiber Optic Products	OSP insight	П/С; Б/Д	486/66 16MB RAM	Windows 95
Fiber Instruments Sales Inc.	LAN design software	Ц/М; И/Д; П/С; Б/Д	IBM compatible	CD-ROM Drive
Fluke Networks Inc.	1. Link Ware cable test management software	Ц/М; О/О; Б/Д	200 MHz Pentium class processor, 64 MB of RAM	Windows 95, 98, NT/2000, ME, XP
	2. LAN MapShot diagramming software	П/С	200 MHz Pentium class processor, 64 MB of RAM	Windows 95SE, Me, 2000(SP1), XP, NT4.0(SP5), Microsoft Visio 2000, 2002 English(SR1)
iTrack Corp.	1. ITRACKS	И/Д; О/О; П/С; Б/Д; Ф	.....	.....
	2. IDISCOVER	И/Д; О/О; П/С; Б/Д; Ф	.....	.....
	3. IPBX	И/Д; О/О; П/С; Б/Д; Ф	.....	.....
MTS Integra TRAK Inc.	FaciliTrak	И/Д; О/О; П/С; Б/Д; Ф	PIII/650 MHz, 256 MB RAM, 6 GB hard drive, CD-ROM drive, VGA/SVGA, Ethernetcard	Windows 2000, XP PRO
Net Test	Networks	О/О; Б/Д	Min 456-DX/16 MB RAM/2 MB HD	Win95/NT/2000
Panduit Corp.	PanView system	И/Д; О/О; П/С; Б/Д; Ф	Scanner, dedicated server	PanView, database
Pinnacle Software	Pinnacle communications management system	Ц/М; И/Д; О/О; П/С; Б/Д; Ф	System is hardware independent o/s Win2000, NT, UnixDB, Oracle DBMS	.....
RIT Technologies	1. Patch View system	И/Д; О/О; П/С; Б/Д	IBM PC, Pentium 100 MHz, 16 MB RAM	MS DOS 5.0, Win95, NT, TCP/IP
	2. Patch View for enterprise	Ц/М; И/Д; О/О; П/С; Б/Д	IBM PC, Pentium II, 400 MHz, 128 MB RAM	Windows NT, TCP/IP, SNMP
Veramark Tehnologies Inc.	Cable-Master	Ц/М; И/Д; О/О; П/С; Б/Д; Ф	Pentium II, 450 MHz, 256 MB RAM, 56 K modem	OS: WinNT 4.0, Win2000server Dbase: SQL Server 6.0+, Sybase Sequel Anywhere, Oracle 8i

\* — функциональные возможности: Ц/М — предложение цены/перечень материалов; И/Д — управление инсталляцией/изменение документации; О/О — обслуживание/отчеты по обслуживанию; П/С — физическое проектирование/связи компонентов; Б/Д — база данных; Ф — управление финансовыми вкладами.

Администрирование телекоммуникационной инфраструктуры предприятия с помощью современных систем CMS позволяет существенно снизить затраты [21], связанные с:

- изменениями, перемещениями, добавлениями и удалениями компонентов СКС;
- простоями ЛВС и других инженерных систем при ремонте СКС;
- «потерей» кабелей в инфраструктуре;
- работой подрядных организаций;
- информационной безопасностью;
- восстановлением после эксцессов (пожар, землетрясение и т. п.);
- будущим развитием инфраструктуры.

В связи с этим, сегодняшние технические задания на СКС уже включают в себя требования на систему CMS [21] и ее разработка должна начинаться и проводиться одновременно и совместно с проектированием всей СКС. К сожалению, даже в уникальном и всеобъемлющем издании по проектированию СКС [22] в разделах, посвященных разработке технических предложений, технического задания и административной подсистемы СКС, вопросы разработки системы CMS затрагиваются лишь вскользь.

Но важность и необходимость наличия автоматизированной системы CMS на современном предприятии становится очевидной. По сведениям [21] в типичной компании 30% сотрудников перемещаются с места на место каждый год и стоимость одного такого перемещения составляет 270 долларов. Автоматизированная система CMS может снизить эту стоимость более чем на 30%. Это значит, что в компании численностью 1000 человек затраты только на передислокацию сотрудников уменьшаются на 24 300 долларов в год.

Завершая рассмотрение администрирования СКС, интересно заметить, что американский и международный стандарты на администрирование СКС, в основном, указывают на то, «что надо сделать», а не на то, «как сделать». Практические рекомендации по администрированию СКС можно найти в [1, 19, 20, 21, 22, 23].

# Глава IV

## **Изготовление сруктурированной кабельной системы и требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к ее электрическим компонентам**

### **4.1. Рекомендации стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к реализации электрической части структурированной кабельной системы**

#### **4.1.1. Общие требования**

Рекомендации стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) по изготовлению СКС предполагают, что в СКС используются кабели, соединительное оборудование и шнуры, которые удовлетворяют этому стандарту. Выполнение этих рекомендаций гарантирует также, что этому стандарту будет соответствовать структура СКС, а при соблюдении требований стандарта ISO/IEC TR 14763-2 (см. Приложение I.1) на ее разработку и инсталляцию — этому стандарту будут соответствовать и электромагнитные характеристики каналов построенной СКС.

Все компоненты канала должны иметь одно и то же значение волнового сопротивления, а именно — 100 Ом для каналов классов D, E, F и 100 Ом или 120 Ом для каналов классов A, B, C. В канале могут использоваться кабели и компоненты разных категорий, однако при этом результирующие характеристики канала будут определяться компонентами наинизших категорий.

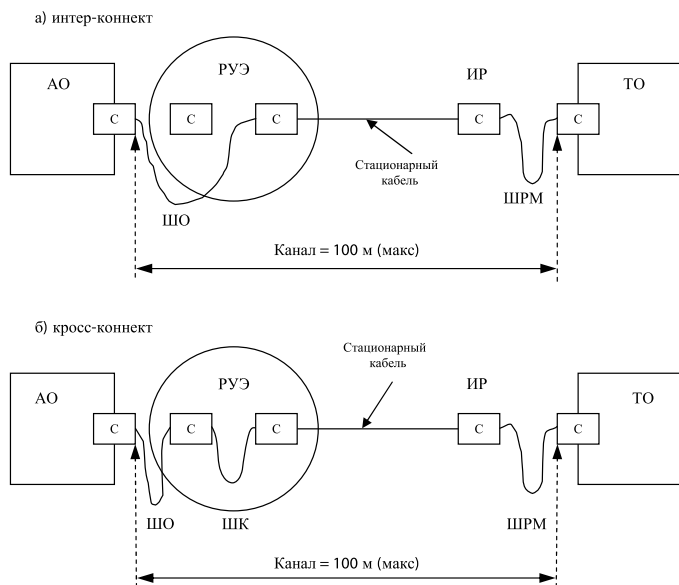
Реализация СКС основывается на параметрах компонентов, заданных для температуры 20°C. Влияние температуры на характеристики стационарного кабеля (в горизонтальной подсистеме и магистрали здания) должно быть компенсировано уменьшением его длины в следующих пределах:

- для экранированных кабелей при рабочих температурах выше  $20^{\circ}\text{C}$  — на 0,2% на градус;
- для неэкранированных кабелей — на 0,4% на градус в диапазоне температур от  $20$  до  $40^{\circ}\text{C}$  и на 0,6% на градус в диапазоне от  $40$  до  $60^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.1.2. Реализация горизонтальной подсистемы

При реализации горизонтальной подсистемы основными моментами являются выбор категории компонентов и длин кабелей и шнуров.

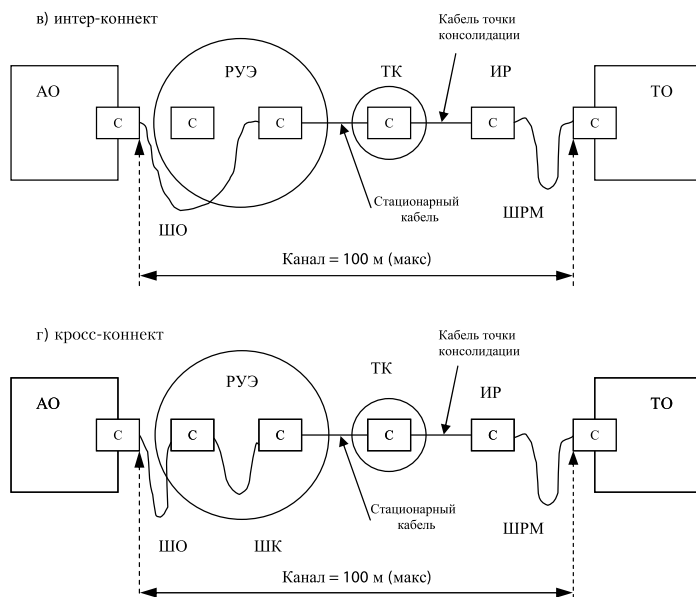
Выбор категории компонентов определяется классом того канала, который необходимо создать, а класс, в свою очередь, определяется той аппаратурой и приложениями, для которых создается СКС. При соблюдении требований стандарта к конфигурации горизонтальной подсистемы компоненты категории 5 обеспечивают характеристики канала класса D, категории 6 — класса E, категории 7 — класса F. Напомним, что стандарт рекомендует в горизонтальной подсистеме создавать сегодня каналы не ниже класса D. Выбор длины кабелей и шнуров будет определяться конфигурацией горизонтальной подсистемы. Четыре возможных ее конфигурации приведены на рис. 4.1 а), б) и рис. 4.1 в), г).



АО и ТО — активное и терминальное оборудование, соответственно; ШО, ШТ, ШТМ — шнуры оборудования, коммутационный и рабочего места, соответственно; с — соединитель (гнездо + вилка); РУЭ — распределительное устройство этажа; ТК — точка консолидации; ИР — информационная розетка

Рис. 4.1. а), б) Варианты конфигураций горизонтальной подсистемы СКС — точка консолидации отсутствует





АО и ТО — активное и терминальное оборудование, соответственно; ШО, ШК, ШРМ — шнуры оборудования, коммутационный и рабочего места, соответственно; с — соединитель (гнездо + вилка); РУЭ — распределительное устройство этажа; ТК — точка консолидации; ИР — информационная розетка.

Рис. 4.1. в), г) Варианты конфигураций горизонтальной подсистемы СКС — точка консолидации присутствует

Эти варианты конфигураций возникают в связи с существованием двух видов соединений (кросс-коннект и интер-коннект) и точки консолидации (либо она используется, либо — нет). Кроме того, длина стационарного кабеля будет зависеть от качества и длин шнуров и кабеля точки консолидации. Взаимосвязь длин всех кабелей канала может быть выражена формулой:

$$L_{\text{кст}} = L_{\text{опори}} - a_{\text{ш}} L_{\text{ш общ}} - b_{\text{ктк}} L_{\text{ктк}} - L_{\text{гран}}, \quad (4-1)$$

где длины  $L_{\text{кст}}$  — кабеля стационарного,  $L_{\text{опори}}$  — опорное значение длины (105, 106, 107 или 109 метров),  $L_{\text{ш общ}}$  — общая суммарная длина всех шнуров и перемычек в канале,  $L_{\text{ктк}}$  — кабеля точки консолидации,  $L_{\text{гран}}$  — значение в 2 или 3 метра, учитывающее границы разброса параметра потерь ввода  $IL$ , в кабелях различных производителей,

а коэффициенты  $a_{\text{ш}}$  — отношение параметра  $IL$ , дБ/м, для кабеля шнуров к параметру  $IL$ , дБ/м, для кабеля стационарного,

$b_{\text{ктк}}$  — отношение параметра  $IL$ , дБ/м, для кабеля точки консолидации, к параметру  $IL$ , дБ/м, для кабеля стационарного.

Очевидно, что при отсутствии кабеля точки консолидации  $L_{\text{ктк}} = 0$ . Кроме того, для канала класса D не учитывают границы разброса параметра  $IL$ , т. е.  $L_{\text{границы}} = 0$ .

Соотношения длин кабелей и шнуров, рекомендуемые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E), приведены в табл. 4.1.

**Таблица 4.1.** Соотношения длин: кабеля стационарного,  $L_{\text{кст}}$ , кабеля точки консолидации,  $L_{\text{ктк}}$ , и общей суммарной длины всех шнуров канала,  $L_{\text{шобщ}}$  для каналов классов D, E и F, использующих компоненты указанных категорий.

Точка консолидации	Тип соединения	Схема рис. 4.1.	Длины в метрах		
			класс D, кат. 5	класс E, кат. 6	класс F, кат. 7
отсутствует	интер-коннект	а	$L_{\text{кст}} = 109 - a L_{\text{шобщ}}$	$L_{\text{кст}} = 107 - a L_{\text{шобщ}} - 3$	$L_{\text{кст}} = 107 - a L_{\text{шобщ}} - 2$
	кросс-коннект	б	$L_{\text{кст}} = 107 - a L_{\text{шобщ}}$	$L_{\text{кст}} = 106 - a L_{\text{шобщ}} - 3$	
присутствует	интер-коннект	в	$L_{\text{кст}} = 107 - a L_{\text{шобщ}} - b L_{\text{ктк}}$	$L_{\text{кст}} = 106 - a L_{\text{шобщ}} - b L_{\text{ктк}} - 3$	
	кросс-коннект	г	$L_{\text{кст}} = 105 - a L_{\text{шобщ}} - b L_{\text{ктк}}$	$L_{\text{кст}} = 105 - a L_{\text{шобщ}} - b L_{\text{ктк}} - 3$	

При расчетах по этой таблице предполагается, что потери ввода в гибких кабелях шнуров больше, чем в стационарных кабелях (но не более, чем на 50%), и что параметр  $IL$  всех шнуров в канале имеет одно и то же значение.

Стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) вводятся также следующие ограничения:

- длина канала в горизонтальной подсистеме не должна превышать 100 м;
- длина стационарного кабеля не должна превышать 90 м. При этом, когда общая длина шнуров оборудования, коммутационных и рабочего места превышает 10 м, длина стационарного кабеля должна быть уменьшена по отношению к значению в 90 м в соответствии с соотношениями табл. 4.1;
- длина кабеля стационарного до точки консолидации не должна быть менее 15 м;
- при использовании многопользовательских розеток (MUTOA) длина шнура рабочего места не должна превышать 20 м;
- длина шнуров коммутационных и кроссовых перемычек не должна превышать 5 м.

Особое внимание нужно обратить на то, что в период эксплуатации СКС, когда многое изменяется, система ее администрирования должна обеспечить использование таких шнуров, перемычек и кабелей ТК (если они есть), чтобы сохранялись параметры тех каналов, которые были созданы при разработке и первоначальной инсталляции СКС.

#### 4.1.3. Реализация магистральных подсистем

Так же, как и в горизонтальной подсистеме, выбор компонентов, длин кабелей и классов каналов для магистральных подсистем здания и территории определяется классами того активного оборудования и приложений, для которых эти каналы создаются.

Для того, чтобы создаваемые в магистральных подсистемах каналы соответствовали требованиям стандарта ISO/IEC 11801:2002(E), необходимо руководствоваться их схемой, приведенной на рис.4.2.

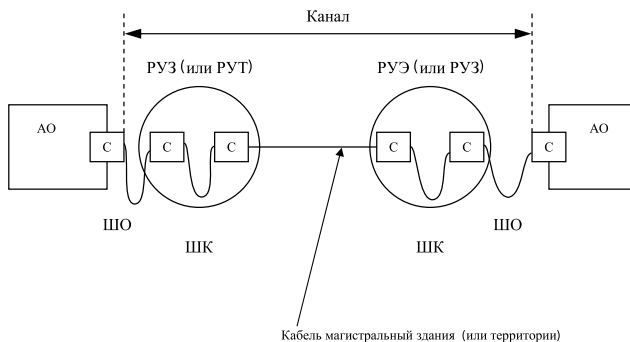


Рис. 4.2. Схема канала в магистральных подсистемах СКС

Канал в магистральной подсистеме здания или территории имеет кросс-коннект на каждом конце и такая конфигурация является максимально возможной для магистральных каналов класса D, E и F.

Естественно, в канале имеются шнуры оборудования и шнуры коммутационные, и при расчетах длин кабелей предполагается, что потери ввода в кабелях шнуров больше, чем в кабелях магистральных (но не более, чем на 50%). Кроме того, считается, что все шнуры имеют одно и то же значение потерь ввода  $IL$ , дБ/м.

Соотношение длин кабелей и шнуров (в метрах) может быть выражено общей формулой:

$$L_{\kappa \text{ max}} = L_{\text{опорн}} - a_{\text{ш}} L_{\text{ш обш}} - L_{\text{гран}}, \quad (4-2)$$

где  $L_{\text{маг}}$  — максимальная длина кабеля магистрального,  $L_{\text{опорн}}$  — опорное значение длины (260, 250, 190, 185 и т. д.),  $L_{\text{ш общ}}$  — общая суммарная длина всех шнуров канала,  $L_{\text{гран}}$  — значение длины, равное 3 метрам, учитывающее границу разброса параметра потерь ввода  $IL$ , дБ/м, в кабелях,  $a_{\text{ш}}$  — отношение параметра  $IL$ , дБ/м, для кабеля шнуров к параметру  $IL$ , дБ/м, для кабеля магистрального.

В табл. 4.2 приведены конкретные соотношения длин кабелей и шнуров для каналов всех классов.

**Таблица 4.2.** Соотношения длин шнуров и кабелей каналов СКС всех классов в магистральных подсистемах территории и здания (в метрах)

Категория компонентов	Класс канала					
	A	B	C	D	E	F
кат. 5	2000	$L_{\text{к. маг}} = 250 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	$L_{\text{к. маг}} = 170 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	$L_{\text{к. маг}} = 105 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	.....	.....
кат. 6	2000	$L_{\text{к. маг}} = 260 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	$L_{\text{к. маг}} = 185 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	$L_{\text{к. маг}} = 111 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	$L_{\text{к. маг}} = 105 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}} - 3$	.....
кат. 7	2000	$L_{\text{к. маг}} = 260 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	$L_{\text{к. маг}} = 190 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	$L_{\text{к. маг}} = 115 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}}$	$L_{\text{к. маг}} = 107 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}} - 3$	$L_{\text{к. маг}} = 105 - a_{\text{ш}} L_{\text{ш. общ}} - 3$

При использовании соотношений табл. 4.2 необходимо учитывать, что на практике число соединений в магистральной подсистеме СКС может отличаться от числа, указанного на схеме модели на рис. 4.2. Тогда, если оно больше, то должна быть уменьшена длина кабеля магистрального, а если меньше — то она может быть увеличена. Для кабеля кат. 5 это изменение должно быть 5 м на одно соединение, а для кабелей кат. 6 и кат. 7 — 1 метр на соединение. При такого рода отступлениях в таких каналах обязательно должны быть подтверждены отдельными измерениями параметры *NEXT*, *Return Loss* и *ELFEXT*.

В стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) отдельно подчеркнуто, что в случаях, когда длина канала превышает 100 м, отдельные приложения, чувствительные к задержке и к перекосу задержек сигнала, могут не работать.

Для магистральных каналов классов D, E и F стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) введены также следующие ограничения:

- длина канала не должна превышать 100 м;
- когда в канале используется всего 4 соединения (кросс-коннект), длина кабеля магистрального (стационарного) должна быть не менее 15 метров.

Последнее ограничение гарантирует минимальное влияние переотражений сигнала в тракте на работу аппаратуры при возможном рассогласовании компонентов канала по волновому сопротивлению.

При администрировании (ИПДУ) магистральных подсистем СКС так же, как и в горизонтальной подсистеме, необходимо обеспечить использование таких шнуров и перемычек, которые обеспечат параметры первоначально спроектированных и установленных каналов.

## **4.2. Компонентный состав реальной структурированной кабельной системы**

Для изготовления реальной СКС недостаточно только функциональных компонентов, о которых выше шла речь применительно к стандартам, необходимы и многие другие. Полный перечень необходимых для создания реальной СКС изделий включает в себя:

1. Кабели
2. Распределительные устройства
3. Информационные разъемы
4. Точки консолидации
5. Кабелепроводы (лотки, трубы, декоративные короба и т. п.)
6. Крепеж (шурупы, дюбели и т. п.)
7. Средства маркировки (метки, принтеры и т. п.)
8. Пространства (шкафы, стойки, полки и т. п.)
9. Специализированный инструмент (ударный инструмент для монтажа витых пар и приспособления для прокладки кабелей)
10. Специализированное измерительное оборудование (для наладки и тестирования каналов и линий всех классов)
11. Программно-аппаратные средства для администрирования СКС.

Эти одиннадцать позиций необходимы и достаточны для изготовления реальной СКС. Первые позиции 1–4 этого перечня — это т. н. каналобразующие (функциональные) компоненты, позиции 5–8 — вспомогательные средства и компоненты, позиции 9–11 — специализированный инструмент и электронное оборудование.

Необходимо заметить, что в отдельную позицию в этом перечне не выделены шнуры коммутационные, которые, естественно, являются неотъемлемой частью СКС. Сделано это по простой причине: коммутационный шнур представляет собой кабель, оконцованный вилками информационного разъема, и, таким образом, вошел в этот перечень «по частям». На практике поставщики тех СКС, которые защищены торговыми марками, выделяют коммутационные шнуры в отдельную позицию и разрешают использовать в своих СКС только шнуры своей торговой марки. Кроме того, стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) предъявляет к коммутационным шнурам отдельные требования, о которых будет сказано ниже.

На рынке предлагается громадное количество перечисленных изделий, но при их выборе необходимо учесть, что позиции 1–4, и 10 должны удовлетворять стандартам на СКС (см. Приложение I.1), а остальные — требованиям действующих строительно-монтажных норм и другим промышленным стандартам. Не всякий, например, кабель или информационный разъем можно использовать в СКС, хотя в исключительных кабельных системах можно встретить весьма разнообразные изделия.

В СКС известных торговых марок компоненты, указанные в приведенном выше перечне, подобраны по определенным критериям, которые, собственно говоря, и определяют свойства и качество конкретной торговой марки. При этом, в некоторых «фирменных» СКС в систему входят все перечисленные компоненты, а в некоторых — только часть. Безусловно, чем полнее компонентный состав СКС конкретной торговой марки, тем лучше, поскольку все компоненты «взаимовязаны» в единую систему и всякого рода «нестыковки» в ней невозможны.

Ниже кратко описаны применяемые в электрической части СКС изделия и требования к ним стандарта ISO/IEC 11801:2002(E).

### **4.3. Симметричные электрические кабели для структурированных кабельных систем**

#### **4.3.1. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к симметричным электрическим кабелям**

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к симметричным электрическим кабелям охватывают:

- кабели, использующиеся в горизонтальной и магистральных подсистемах СКС, построенных в соответствии со структурой, рекомендованной стандартом, и с соблюдением его требований по изготовлению СКС;
- симметричные кабели и кабельные элементы (кроссировочные провода), использующиеся в кроссовых перемычках;
- симметричные кабели, использующиеся в шнурах оборудования, коммутационных и рабочего места в конфигурациях каналов, оговоренных стандартом.

Стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) специфицирует только минимальные требования к кабелям и только при температуре 20°C. Кабели, допускаемые к применению в СКС, должны быть протестированы на соответствие спецификациям стандарта IEC 61156-1:2001(E) Ed. 1.2 “Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications — Part 1 Generic specifications” («Многоэлементные и симметричные кабели на основе витых пар/четверок для систем цифровой связи — Часть 1: Основные спецификации») и удовлетворять этим спецификациям.

Требования непосредственно самого стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) сводятся к нижеследующим.

Во-первых, указано, что требования, как к механическим, так и к электрическим характеристикам кабелей, указанные в упомянутом выше стандарте IEC 61156-1:2001(E) Ed. 1.2, достаточны для обеспечения электромагнитных параметров линий и каналов, задаваемых стандартом ISO/IEC 11801:2002(E). Кроме того, требуется, чтобы кабели, используемые в СКС, удовлетворяли отдельным спецификациям, приведенным в частях 2, 3, 4, 5, 6 стандарта IEC 61156, которые уже охватывают диапазон частот до 600 МГц.

Во-вторых, стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) вводит свои дополнительные требования к кабелям и подчеркивает, что если они выполнены, то категория 5 стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) соответствует категории 5е стандарта IEC 61156. Эти дополнительные требования приведены ниже.

Прежде всего, введены требования к механическим характеристикам кабелей, показанные в табл. 4.3.

**Таблица 4.3.** Дополнительные требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к механическим характеристикам симметричных кабелей

Характеристика кабеля	Требования
Диаметр проводника, мм	от 0,4 до 0,8
Диаметр проводника по изоляции, мм	не более 1,6
Наружный диаметр кабеля магистрали здания и территории, мм	не более 90
Температурный диапазон без электрической и механической деградации, °С	инсталляция: от 0 до 50
	эксплуатация: от –20 до +60
Минимально допустимый радиус изгиба 4-х парного кабеля после инсталляции, мм	25 при наружном диаметре до 6 мм
	50 при наружном диаметре свыше 6 мм

Этим требованиям сопутствуют важные комментарии:

- проводники с диаметрами менее 0,5 мм и более 0,65 мм могут оказаться несовместимыми с некоторыми видами соединительного оборудования;
- проводники с наружным диаметром по изоляции более 1,7 мм могут быть несовместимы с некоторым соединительным оборудованием;
- наружный диаметр магистральных кабелей (здания и территории) должен быть минимизирован, чтобы эффективнее использовать емкость кабелепроводов (лотков, труб) и пространств (шкафов, полок, стоек);
- минимальный радиус изгиба кабелей при инсталляции определен рекомендациями его производителя.

Затем вводятся дополнительные требования к электрическим характеристикам кабелей:

- номинальное волновое сопротивление должно быть 100 Ом на стандартной длине 100 м;
- при определении затухания кабеля категории 5 должны быть использованы константы, определенные стандартом IEC 61156-5 (раздел 3.3.2.2). Например, они дают на частоте 100 МГц значение 21,3 дБ/100 м. В расчетах, дающих затухание ниже 4 дБ, должно быть принято значение в 4 дБ;

- значения параметров *ELFEXT* и *PSELFEXT*, определенные стандартом IEC 61156-5 (раздел 3.3.5), должны быть выдержаны в полосе частот от 1 МГц до верхней граничной частоты, специфицированной для данной категории кабеля. При этом, если значения параметра *FEXT* превышают значение 70 дБ, параметры *ELFEXT* и *PSELFEXT* не нужно измерять;
- проводник кабеля должен обеспечить пропускание постоянного тока со значением не менее 175 мА при температуре окружающей среды до 60°C.

Гибкие кабели (для шнуров коммутационных, оборудования и рабочего места), также должны удовлетворять вышеперечисленным требованиям, за исключением требований к параметрам ослабления, возвратных потерь *RL*, и сопротивления петли постоянному току. Ослабление в дБ/100 м и сопротивление постоянному току не должны быть больше, чем на 50% по сравнению с кабелями из одножильных проводников, а параметр *RL* должен измеряться при тестовой длине кабеля в 100 м.

В стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) имеются также дополнительные требования к симметричным кабелям для случая, когда под одной оболочкой по витым парам передаются одновременно сигналы различных инженерных систем (по-английски этот принцип называется «cable sharing» – «совместное использование кабеля»). Этот случай характерен для многопарных кабелей магистрали здания или территории и для гибридных кабелей. Он встречается также в исключительных кабельных системах давней постройки в горизонтальной подсистеме, когда один 4-х парный кабель обслуживает два розеточных модуля (в ЛВС — две рабочих станции). Суть этих дополнительных требований сводится к ужесточению требований по параметрам *NEXT* и *PSNEXT*. Здесь не будем их рассматривать, поскольку на практике, особенно на частотах выше 100 МГц, всегда стараются избежать совместного использования кабелей, а в ЛВС давно уже никто не разделяет 4-х парный кабель.

#### 4.3.2. Классификация кабелей по пожарной опасности

Пожарная безопасность СКС — это первый и самый важный вопрос, который решается при ее создании. Объясняется это двумя обстоятельствами:

- количество телекоммуникационных кабелей в здании велико и масса их кабелочек может достигать десятков тонн. Т. е. создавая СКС, мы наполняем здание большим количеством горючего вещества;
- конструкции современных зданий таковы, что они представляют собой некий «пористый» объем, причем эти «поры» не изолированные. Здание пронизано полыми трубами, лифтовыми шахтами, воздуховодами и т. п. При возникновении даже небольшого локального возгорания все здание целиком и моментально наполняется дымом, и люди не успевают его покинуть.



Показатели пожарной опасности телекоммуникационных кабелей зависят от их конструкции и материалов, использующихся для изоляции проводников, для заполнения сердечников и для изготовления оболочек. На заре развития ЛВС чаще всего применяли кабели, в которых использовался поливинилхлорид (англ. PVC). Этот материал — горючий и выделяет токсичные газы при горении. Затем стали использовать полиэтилен (англ. PE), но, несмотря на то, что при его горении не выделяется галогенов, он горит с очень высокой скоростью, в отличие от поливинилхлорида, который подобно фитилю тлеет до тех пор, пока не погаснет. Кабели с полиэтиленовыми оболочками до сих пор широко используются за пределами зданий. С увеличением количества кабельных систем проблемы их пожарной безопасности стали усугубляться и на смену поливинилхлориду и полиэтилену пришли новые материалы. (Кстати, следует заметить, что хорошей практикой при модернизации кабельной системы является безусловное удаление всех старых или забытых кабелей, которые не перестали быть пожароопасными оттого, что они не используются). Во-первых, на основе комбинаций полиэтилена и поливинилхлорида в Европе были созданы материалы, замедляющие горение, мало-дымные и не содержащие галогенов в продуктах горения (англ. Low Smoke Zero Halogen, LSZH или LSOH). Кабели с оболочками из таких материалов удовлетворяют требованиям международных стандартов IEC 60332, IEC 60754 и IEC 61034, которые регламентируют тесты на выделение токсичных газов, дыма и т. д. Эти кабели дороже кабелей на основе полиэтилена и поливинилхлорида, поскольку такие материалы хуже поддаются экструзии и процесс изготовления кабеля замедляется. В США для этих же целей были разработаны т. н. пленумные кабели (англ. Plenum rated cables), в оболочках которых используется тефлон (англ. Teflon) или тефзел (англ. Tefzel). Такие кабели обладают наилучшими противопожарными свойствами и могут выдерживать температуры в диапазоне от 65 до 260°С. Они же являются и самыми дорогими: примерно в 4 раза дороже кабелей на основе поливинилхлорида.

Определение показателей пожарной опасности кабелей во всех странах производится опытным путем. Образцы кабелей, подготовленные строго определенным образом, сжигаются в специальных установках. При этом производятся достаточно сложные и трудоемкие измерения заранее оговоренных параметров. По результатам испытаний кабелю приписываются соответствующие показатели пожарной опасности. Единообразия такого рода показателей и тестов в мире нет: в Европе, в США и в России существуют собственные стандарты на такого рода тесты и своя система показателей.

В России показатели пожарной опасности определены нормами пожарной безопасности НПБ 248-97 [24]. Таких показателей всего четыре:

- предел распространения горения ПРГ, (одиночным кабелем ПРГО, и пучком кабелей ПРГП); две градации для одиночного кабеля — О1 и О2, и четыре для пучка кабелей — П1, П2, П3, П4;
- предел пожаростойкости кабеля ППСТ; семь градаций — 1÷7;

- показатель коррозионной активности продуктов горения кабеля ПКА, две градации — 1 и 2;
- показатель токсичности продуктов горения полимерных материалов кабеля ПТПМ, четыре градации — 1, 2, 3, 4.

Кратко эти показатели можно охарактеризовать так:

- ПРГО — длина неповрежденной части образца. Чем она больше, тем лучше: пламя распространяется по кабелю медленно; градация О1 лучше градации О2;
- ПРГП — длина обуглившегося пучка кабелей. Чем она меньше, тем лучше: горение распространяется по пучку медленно; градация П1 лучше, чем П4;
- ППСТ — время до пробоя изоляции кабеля в условиях пожара. Чем оно больше, тем лучше; градация 1 лучше, чем 7;
- ПКА — кислотность (рН) и удельная проводимость водного раствора продуктов горения; градация 1 лучше градации 2;
- ПТПМ — отношение массы оболочки к объему замкнутого пространства, при котором гибнет 50% подопытных животных при горении этой массы. Чем оно больше, тем лучше; градация 1 лучше градации 4.

В любой нормативной документации должен быть указан класс пожарной опасности кабеля. Он указывается в формате XX.X.X.X, где знакоместа, разделенные точками, — это градации показателей пожарной опасности: первые два знакоместа — ПРГ, второе знакоместо — ППСТ, третье — ПКА, четвертое — ПТПМ. Например, в документации на кабель написано О1.5.2.3 и это означает:

- О1 — при испытаниях одиночного образца длина неповрежденной его части была более 50 мм;
- 5 — время пробоя изоляции в условиях пожара составило более 1 часа, но менее 1,5 часа;
- 2 — кислотность водного раствора продуктов горения была менее 4, а проводимость его была более  $5,0 \cdot 10^{-3}$  См/м;
- 3 — отношение массы оболочки к объему замкнутого пространства составило менее 40 г/м<sup>3</sup>.

К сожалению, такая «заумная» система мало полезна на практике: запомнить все критерии не просто, документации часто нет «под рукой», на оболочках отечественных кабелей нет обозначения класса пожарной опасности кабеля.

Сегодня в России при построении СКС чаще всего используют симметричные телекоммуникационные кабели зарубежного производства и, в частности, произведенные американскими фирмами. В связи с этим, рассмотрим кратко американскую классификацию кабелей по пожарной опасности. В США такого рода кабели подвергаются трем тестам [25] UL 910, UL 1666, UL 1581, перечисленным в порядке убывания их «жесткости».

Если кабель выдерживает самый «жесткий» тест, то он называется пленумным кабелем (англ. Plenum rated cable) и на оболочке несет букву “Р” от английского слова Plenum, которое в буквальном переводе означает пространство, используемое для подачи окружающего воздуха (приточная вентиляция). Сегодня все пространства в здании, в которые свободно поступает воздух, поддерживающий горение, принято называть пленум-полостями (англ. plenum area). Пленумный кабель можно прокладывать в пленум-полостях, не используя никаких дополнительных противопожарных средств. Если кабель выдерживает следующий, менее жесткий тест, он называется райзер-кабелем (англ. Raiser rated cable) и на оболочке несет букву “R” от английского слова Riser, означающего в буквальном переводе «стояк». Райзер-кабели предназначены для прокладки в металлических трубах между этажами в магистральной подсистеме здания. Он может быть проложен и в горизонтальной подсистеме за фальшпотолком (в пленум-полости), но только в сплошной металлической трубе, имеющей внутренний диаметр, чуть больший наружного диаметра кабеля. Сплошная металлическая труба препятствует доступу воздуха к оболочке и распространению пламени вдоль кабеля. Металлический гофр, не будучи герметичным, не годится для этой цели.

Если кабель выдерживает лишь последний тест, то он называется кабелем для многочисленных целей (англ. cable for general (multiple) purpose) и на оболочке несет буквы “GP” или “MP”.

Наконец, если кабель не подвергается тестам, он называется кабелем ограниченного применения (англ. limited use cable), обозначается английской буквой “X” и не используется в зданиях промышленного назначения.

Таким образом, при выборе кабелей для СКС нужно тщательно учитывать показатели их пожарной опасности и достаточно уверенно разбираться в различных системах определения этих показателей.

### **4.3.3. Американская классификация кабелей по назначению**

В США принято также классифицировать телекоммуникационные кабели по их назначению. При этом кабели подразделяются на следующие пять групп и на их оболочке обязательно присутствуют соответствующие буквы:

- кабели для систем управления (англ. control limited cables). Обозначаются английскими буквами “CL”;
- кабели для противопожарных систем (англ. fire protection limited). Обозначаются буквами “FPL”;
- волоконно-оптические кабели (англ. optical fiber). Обозначаются двояко: если в кабеле нет ни одного металлического элемента, то буквами “OFN” (англ. nonconductive, непроводящий), а если есть — буквами “OFC” (англ. conductive, проводящий);
- кабели для систем связи (англ. communication cables). Обозначаются буквами “CM” от английского communication, что значит «связь»;

- кабели для систем телевидения с общей коллективной антенной (англ. community antenna television cables). Обозначаются буквами CATV.

Кабели группы СМ именно и используются при построении электрической части СКС. Прочитав на оболочке кабеля буквы СМР, понимаем, что это пленумный кабель для систем связи, а если видим СМР, то это означает кабель для систем связи с пожарными характеристиками райзер-кабеля.

#### **4.3.4. Цветовая маркировка проводников в зарубежных кабелях**

Для однозначной идентификации проводников в симметричных многопарных кабелях используется цвет изоляции проводника. Цвета проводников составляют определенную систему, позволяющую легко найти любую пару в многопарном кабеле. Система эта пришла из ранней американской телефонии, когда телефонное соединение осуществлялось вручную с помощью специального диэлектрического штыря, имевшего металлические кончик (англ. tip, T) и кольцо (англ. ring, R). На кончик подавался положительный, а на кольцо — отрицательный потенциал. Два проводника пары нужно было присоединить с соблюдением полярности к кончику и кольцу. Поэтому было выбрано пять цветов для кончиков и пять — для колец. Это дало возможность получить 25 однозначных комбинаций по два провода, где два цвета однозначно определяют номер пары и каждый цвет — однозначно полярность проводников. Для кончиков (положительный потенциал) были заданы белый, красный, черный, желтый и фиолетовый цвета, а для колец (отрицательный потенциал) — синий, оранжевый, зеленый, коричневый и серый. Нужно также иметь в виду, что важна и последовательность, в которой перечисляются цвета, потому что белый это пары 1–5, красный — 6–10, черный — 11–15, желтый — 16–20, а фиолетовый — 21–25. Соответственно, в каждой группе синий — первая, оранжевый — вторая, зеленый — третья, коричневый — четвертая и серый — пятая пары, а общий порядковый номер пары определяется двумя цветами. Например, два проводника с черным и коричневым цветами определяют пару № 14.

Такая же цветовая система применяется для маркировки 25-ти парных модулей, из которых составляются многопарные кабели. Количество пар в симметричных кабелях может достигать 1800. Если число пар в кабеле не превышает 600, то каждый модуль обвязывается двумя ленточками разного цвета: одна — цвета группы, вторая — цвет модуля: пять модулей с белой ленточкой, пять — с красной, пять — с черной, пять — с желтой и четыре с фиолетовой, всего — 600 пар.

В 4-х парных кабелях цвет группы — белый (кончик, T, положительная полярность), а первая, вторая, третья и четвертая пары — соответственно, синий, оранжевый, зеленый и коричневый (кольцо, R, отрицательная полярность)

В отечественной телефонной связи — своя цветовая система, но она не имеет отношения к СКС и потому здесь не рассматривается.

#### 4.3.5. Конструкции симметричных электрических телекоммуникационных кабелей

Конструкции кабелей для СКС весьма разнообразны. Основным элементом любого кабеля является витая пара (англ. twisted pair, TP). Иногда используется не пара, а четверка проводов (англ. quad), а в 4-х парном кабеле — две четверки (англ. dual quad). Каждая пара может не иметь индивидуального экрана, тогда она называется неэкранированная витая пара (НВП) (англ. unshielded twisted pair, UTP), а может — иметь, тогда — экранированная витая пара (ЭВП) (англ. shielded twisted pair, STP). В 4-х парном кабеле на основе НВП пары могут иметь общий экран из фольги, тогда такая конструкция называется «фольгированная» витая пара (англ. screened twisted pair, ScTP, или foiled twisted pair, FTP). Если пара имеет индивидуальный экран, а еще имеется общий экран или оплетка (англ. braid), тогда по-английски конструкция называется screened shielded twisted pair или ScSTP.

К сожалению, общих правил в обозначениях конструкций кабелей до последнего времени не существовало. Каждый производитель использовал удобный ему акроним, например, F2TP, где цифра 2 означает два слоя фольги. В каталогах европейских производителей кабелей можно встретить еще два акронима: PiMF (англ. pairs in metal foil) и ViMF (нем. Vier, четверка). Они, соответственно, означают ЭВП и экранированную четверку.

В связи с этим, международный стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) в информативном специальном приложении E предложил следующий формат построения акронимов для конструкций симметричных кабелей — XX/XXX.

В этом формате два первых знакоместа — это два слоя внешних экранов кабеля: F — фольга (англ. foil), S — оплетка (англ. braid screen), U — экраны отсутствуют и первое знакоместо — это первый снаружи экран. Три знакоместа после разделительной черты — это:

- первое — вид экрана кабельного элемента: U — без экрана (англ. unscreened), F — экран из фольги (англ. foil screened);
- два следующих — вид симметричного кабельного элемента: TP — витая пара (англ. twisted pair), TQ — витая четверка (англ. twisted quad).

При таком построении акронима конструкция кабеля легко идентифицируется. Например, SF/UTP — это кабель, в котором витые пары не имеют индивидуальных экранов, а сам кабель имеет два экрана: сначала пары помещены в общий экран из фольги, а поверх него имеется еще оплетка. Или, упомянутый выше кабель F2TP теперь должен быть обозначен FF/UTP — конструкция сразу понятна.

В дальнейшем изложении будем следовать этим рекомендациям стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) и, вероятно, они станут со временем обязательными.

Диаметр проводников в кабелях (по меди, не по изоляции) измеряется в американских калибрах, AWG (англ. American Wire Gauge), при этом, чем больше

цифра калибра, тем тоньше проводник. В СКС в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) разрешается использовать проводники с диаметрами от 0,4 до 0,8 мм, которые примерно соответствуют диапазону калибров AWG от 26 до 20. При выборе кабелей для СКС необходимо учитывать, что большинство соединительных устройств, использующихся для присоединения проводников кабеля, рассчитано на диапазон калибров 22, 23, 24, 25, 26 AWG (соответственно, 0,643; 0,574; 0,511; 0,455; 0,404 мм) с номинальным значением 24 AWG (0,511 мм). Соотношение диаметров в калибрах AWG (от 10 до 40) и миллиметрах приведено в Приложении I.3.

Имеется много и других конструктивных особенностей кабелей. Они определяются их производителями и учитывают многочисленные факторы: цену, цветовую окраску оболочек, условия эксплуатации кабеля, электромагнитные и механические характеристики и т. п. Более подробную информацию о конструкциях кабелей можно найти в [1].

#### **4.3.6. Надписи на внешней оболочке кабеля**

На внешней оболочке кабеля всегда присутствует надпись, позволяющая узнать его основные данные. Она наносится через каждые два фута или один метр длины. Как правило, в ней содержится (слева направо) следующая информация:

- торговая марка СКС;
- название фирмы-производителя;
- номер спецификации данного кабеля по номенклатуре производителя;
- диаметр проводника по меди (обязательно и, как правило, в калибрах AWG);
- указания на стандарты, которым соответствует кабель, и на фирмы, которые проводили его тестирование;
- категория (обязательно);
- сведения о конструкции (STP, FTP и т. п.);
- заводская служебная информация (номер партии, заказа и т. п.);
- футовая или метровая метка длины (сама цифра ничего не значит, она означает только длину относительно такой же метки, размещенной на другом конце кабеля в его начале, и указанной на коробке или барабане. Длина кабеля определяется разностью этих двух цифр).

Единых правил, регламентирующих содержание таких надписей, не существует. Кроме того, нет возможности в такой надписи сообщить все необходимые данные. В связи с этим, при выборе кабеля для СКС необходимо всегда опираться только на полную заводскую спецификацию конкретного кабеля.

## 4.4 Распределительные устройства

### 4.4.1. Технология IDC — современная технология электрического соединения проводников с контактами устройств

Прежде чем рассматривать распределительные устройства и другие функциональные компоненты СКС необходимо сказать несколько слов о способах присоединения проводников кабеля к различным устройствам. С задачей присоединения проводников мы встречаемся в разнообразных устройствах: в информационных розетках на рабочем месте, в распределительных устройствах этажа, здания и территории, в точках консолидации и во вводных устройствах кабелей в здания. Эта же задача возникает при сращивании двух отрезков кабеля. Существуют разнообразные способы электрических соединений — пайка, накрутка, обжатие, запрессовка — но в современных СКС в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) используется только технология IDC (англ. Insulation Displacement Connection). В отечественной литературе соединение такого рода часто называется «врезной контакт» [26].

Суть технологии IDC заключается в том, что одним ударом специального инструмента проводник в изолирующей оболочке забивается в зазор между двумя ножами. При этом ножи прорезают изолирующую оболочку и врезаются в тело проводника на определенную глубину. В результате использования такой технологии возникают существенные преимущества по сравнению с другими видами соединений:

- высокая скорость монтажа — один удар и соединение готово;
- отсутствие потребности в дополнительных материалах и устройствах — не нужны припой, флюс, паяльник и электричество;
- минимальные паразитные емкости и индуктивности соединения;
- минимальное расплетение витой пары;
- малое (порядка 5 мОм) переходное сопротивление контакта;
- герметичность зоны электрического контакта;
- возможность неоднократного соединения;
- сохранение (и даже уменьшение) в течение длительного срока (десяток лет) малого переходного сопротивления.

Контакты IDC используются во всех перечисленных выше видах соединительного оборудования СКС, а также в устройствах для сращивания электрических телекоммуникационных кабелей, которые получили название «сплайсов» (англ. splice — сращивать). Сразу заметим, что электрические сплайсы в горизонтальной подсистеме СКС запрещены, да и в магистральных подсистемах СКС их

всячески избегают, поскольку это «лишние» устройства, снижающие пропускную способность и надежность линий связи.

Конструктивное воплощение контактов IDC весьма разнообразно. Ножи могут быть плоскими и располагаться перпендикулярно к оси проводника или под углом к ней. Нож может быть трубчатым, тогда два лезвия образованы кромками цилиндра, по образующей которого прорезан паз. Режущие кромки ножей могут иметь форму прямой или изогнутой линии, длина кромок тоже различна. Варьируются также и материалы, из которых изготовлены ножи. В зависимости от конструкции и производителя соединительного оборудования будет меняться цена и характеристики последнего.

Таким образом, при выборе компонентов для построения СКС (розеток, кроссовых блоков и т. п.) нужно обязательно учесть, что соединения в них должны быть основаны только на технологии IDC.

#### **4.4.2. Виды и назначение распределительных устройств**

Распределительные устройства (РУ) встречаются в двух видах: кроссовые блоки и коммутационные панели (патч-панели). Кроссовый блок представляет собой пластмассовую пластину с контактами, к которым присоединяются проводники кабелей. Коммутационная панель представляет собой металлическую пластину, на которой расположены гнезда модульных разъемов, к контактам которых непосредственно присоединяются проводники кабелей. Кроссовые блоки и коммутационные панели выпускаются различными фирмами, отличаются формой, количеством и конструкцией контактов и разъемов и электромагнитными характеристиками. В отечественной литературе, например, [1], часто и то и другое называется «коммутационная панель», но в силу существенной конструктивной разницы этих устройств и, следуя общепринятой международной терминологии [10], здесь будем придерживаться названных терминов. В англоязычной технической литературе эти устройства также называются по-разному: соответственно, “wiring block” и “patch panel”, хотя понятно, что функциональное назначение этих устройств одно и то же.

Первое и основное назначение РУ — это терминирование кабелей, т. е. одновременное электрическое присоединение и механическое закрепление проводников кабелей. Второе — это обеспечение возможности соединять терминированные кабели между собой или присоединять к кабелям активное оборудование инженерных систем, т. е. осуществлять нужные коммутации в кабельной системе.

Кроссовые блоки и коммутационные панели могут размещаться непосредственно на стене, либо на специальных металлических шасси, закрепленных на стене (т. н. кроссовые башни), либо в специальных стандартизованных шкафах, либо на открытых стойках. Конкретное количество блоков и панелей, их тип, а также способы их крепления определяются масштабом СКС, требованиями к ее



характеристикам, а также желаниями и возможностями заказчика и будущего владельца СКС.

Подробное описание и внешний вид кроссовых блоков и коммутационных панелей можно найти в [1]. Здесь обсудим лишь вопрос их выбора. На выбор вида РУ влияют два обстоятельства: нужный частотный диапазон каналов СКС и требования к экранировке каналов.

Примерно до 2000 года, когда полосы пропускания в 100 МГц хватало практически для всех приложений, тогда, в случае благоприятной окружающей обстановки, выбор оставался чаще всего за кроссовыми блоками. Объясняется это, по сравнению с коммутационными панелями, их относительной дешевизной, компактностью, универсальностью, высокой скоростью монтажа, достаточными электромагнитными параметрами.

Но в последние три-четыре года ситуация резко изменилась. Во-первых, выросли рабочие частоты аппаратуры и сегодня в СКС нужны каналы с полосой пропускания 250 МГц и выше. Во-вторых, в современных зданиях при наличии большого количества электронного оборудования обострилась проблема электромагнитной совместимости разного рода устройств. В третьих, возросли требования к защите информации от несанкционированного доступа.

Все это поставило серьезные проблемы перед разработчиками и производителями кроссовых блоков. Были созданы кроссовые блоки категории 6 (250 МГц), но продвижение дальше по частотам при таких конструктивных особенностях вряд ли возможно. Экранировка кроссовых блоков также малоэффективна: они тут же теряют свои преимущества. В то же время эти проблемы легко разрешимы в коммутационных панелях простым использованием гнезд разъемов нужной категории и экранированной конструкции. Поэтому для современной СКС можно порекомендовать для использования в качестве распределительных устройств только коммутационные панели.

Здесь же необходимо заметить, что встречающаяся в практике «привязка» некоторых линий и каналов к оборудованию («для телефонов — кроссовые блоки, для компьютеров — патч-панели») противоречит самой идее СКС, поскольку сразу теряется ее универсальность. Неслучайно, напомним, стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) рекомендует в горизонтальной подсистеме создавать все каналы не ниже класса D.

## 4.5. Информационные разъемы

Под информационным разъемом, или соединителем, понимается устройство, предназначенное для разъемного электрического соединения проводников соединяемых кабелей. Оно состоит из двух частей, каждая из которых называется коннектор (англ. connector), к контактам которого и присоединяются проводники кабелей. Как правило, в электрическом информационном разъеме эти два коннектора кон-

структивно отличаются: один играет роль вилки (англ. plug или male connector), второй — гнезда (англ. jack; socket или female connector). На профессиональном жаргоне — это, соответственно, «папа» и «мама». Иногда встречаются электрические соединители, в которых коннекторы идентичны; сама конструкция коннектора такова, что с ним можно состыковать такой же коннектор. Однако их использование в СКС запрещено стандартами. В то же время, в волоконно-оптической части СКС именно таким способом чаще всего соединяются оптоволоконные; оптоволоконные оконцованы идентичными коннекторами, которые состыкованы в адаптере (в «оптической розетке»).

В электрической части СКС используются два вида информационных разъемов: модульные разъемы и разъемы, используемые в кроссовых блоках.

Модульные состоят из модульной вилки (англ. modular plug) и модульного гнезда (англ. modular jack). Вилка закрепляется непосредственно на кабеле, а гнездо на коммутационной панели или на плате розетки, или на приборной панели, или на плате многопользовательской розетки. Кстати, часто используемый для гнезда термин «розеточный модуль» некорректен, поскольку такое же гнездо может использоваться не только в розетке, но и на патч-панели. Когда говорят «информационная розетка» (англ. telecommunication outlet), то имеют в виду розетку какой-либо конструкции, в которой закреплено гнездо модульного разъема или адаптер для соединения коннекторов (как в волоконно-оптических системах).

Разъемы, использующиеся в кроссовых блоках, состоят из вилки и той детали, в которую вилка вставляется. Эта деталь мало похожа на гнездо в общепринятом смысле, конструкции кроссовых блоков и ножей контактов IDC в них различны, но, как правило, вилка вставляется в т. н. . соединительный блок (англ. connection block), с другой стороны которого к контактам IDC присоединены проводники другого кабеля.

Как бы ни были различны конструкции информационных разъемов, в них всегда используется технология IDC.

В СКС в горизонтальной подсистеме на рабочем месте, в соответствии с требованиями стандарта ISO/IEC 11801:2002(E), имеем право использовать только модульный 8-ми контактный информационный разъем, причем только без «ключа». В распределительных устройствах можно использовать и модульные разъемы, и разъемы кроссовых блоков.

Группировка пар проводников 4-х парного кабеля и схемы их присоединения (T568A и T568B) к 8 контактам гнезда, заданные стандартом ISO/IEC 11801:2002(E), приведены на рис. 4.3.

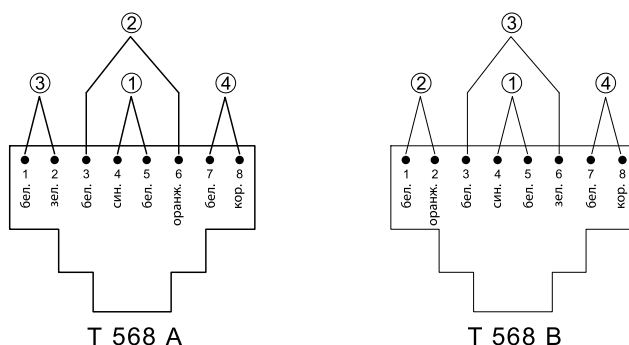


Рис. 4.3. Схемы T568A и T568B присоединения проводников 4-х парного кабеля к контактам модульного 8-ми контактного гнезда информационного разъема (вид с лицевой части гнезда; цифрами обозначены: в кружках — номера пар, без кружков — номера контактов; около контактов указан цвет изоляции присоединяемого проводника)

Группировка пар задана однозначно, а схема присоединения пар может быть любой из указанных двух. Изменение порядка пар, если это необходимо, допускается только с помощью внешних по отношению к гнезду адаптеров, которые не являются компонентом СКС, а относятся к подключаемой инженерной системе. Для класса F необязательно конфигурировать пары на контактах 3, 6 и 4, 5 как показано на этом рисунке. При терминировании пар на разъеме стандарт теперь требует, чтобы длина расплетенного участка пары была минимально возможная. В предыдущей (1995 г.) редакции стандарта в линиях класса D допускалось расплетение пары на длину не более 12,5 мм (0,5 дюйма)). Кроме того, требуется, чтобы была минимальной длина обнаженного участка пар от торца внешней оболочки кабеля до точки терминирования пары. И то, и другое необходимо для минимизации влияния способа терминирования на электромагнитные параметры тракта передачи сигналов.

## 4.6. Точки консолидации

Точка консолидации — это устройство, предназначенное для соединения методом интер-коннект стационарных кабелей горизонтальной подсистемы СКС с квазимобильными кабелями точки консолидации, идущими к розеткам рабочих

мест в залах большой площади или в открытых офисах. Конструктивно она реализуется из тех же устройств, которые применяются при создании распределительных устройств и розеток рабочих мест. В простейшем виде это может быть просто многопользовательская розетка с нужным числом гнезд. Могут быть использованы и кроссовые блоки, и коммутационные панели. Никаких стандартов, регламентирующих конструкции точек консолидации не существует; каждый производитель создает их по собственному усмотрению. Электромагнитные характеристики точек консолидации будут определяться категориями тех информационных разъемов, которые в ней использованы.

Подчеркнем, что точки консолидации необходимо применять лишь при острой и оправданной необходимости, поскольку наличие в тракте передачи сигналов дополнительного соединения всегда ухудшает его электромагнитные характеристики. Кроме того, ее наличие влечет за собой дополнительные затраты на компоненты, монтаж и ремонт, а также снижает надежность СКС.

Общие требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) непосредственно к точке консолидации были обсуждены выше, а конкретные — совпадают с требованиями к соединительным устройствам, о которых будет сказано ниже.

#### **4.7. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к соединительным устройствам**

К соединительным устройствам (англ. connecting hardware) относятся все коннекторы, использующиеся в информационных розетках, коммутационных панелях и кроссовых блоках, в точках консолидации, в сплайсах и в устройствах ввода кабелей в здание. Требования стандарта определены к состыкованному разъему и осуществленному соединению (англ., соответственно, mated connectors и mated connection), где оговорено — отдельно для вилки и гнезда. Требования стандарта должны удовлетворяться в диапазоне температур от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . Специально оговорено, что эти требования не охватывают все внешние по отношению к СКС устройства: медиа-адаптеры, согласующие трансформаторы, фильтры, нагрузочные резисторы и защитные устройства, в связи с чем перед их использованием нужно убедиться в их совместимости с кабельной системой.

Если в одной и той же подсистеме используются внешне одинаковые изделия, но отличающиеся характеристиками (категория, волновое сопротивление), то они должны быть отмаркированы таким образом, чтобы эта разница была сразу видна.

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к механическим характеристикам соединительных устройств даны в табл. 4.4.

Соединительные устройства, использующиеся в СКС, должны соответствовать стандартам IEC 60603-7 и IEC 60352-3, определяющим требования к коннекторам.

**Таблица 4.4.** Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к механическим характеристикам соединительных устройств.

Область, к которой относится характеристика	Механические характеристики		Требование	По документу
	Наименование характеристики	Вид или категория устройства		
Размеры	Физические размеры (только для информационных розеток)	кат. 5, неэкранир.	Сочетающиеся размеры и критерии	IEC 60603-7-2
		кат. 5, экранир		IEC 60603-7-3
		кат. 6, неэкранир.		IEC 60603-7-4
		кат. 6, экранир.		IEC 60603-7-5
		кат. 7		IEC 60603-7-7
Совместимость с кабелями при терминировании кабелей	Номинальный диаметр проводника, мм	.....	от 0,5 до 0,65	.....
	Тип кабеля	для коммутаций	многожильные проводники	.....
		для перемычек	многожильные и одножильные проводники	.....
		другие	одножильные проводники	.....
	Наружный диаметр изоляции проводника, мм	кат. 5 и кат. 6	от 0,7 до 1,4	.....
		кат. 7	от 0,7 до 1,6	.....
	Число проводников	на гнезде информационной розетки	8	.....
		на других устройствах	не менее 2х $l$ , где $l=1,2,3$	.....
	Наружный диаметр кабеля, мм	на гнезде	не более 20	.....
		на вилке	не более 9	.....
	Способы присоединения экранов	.....	соответствие по механическим возможностям и условиям эксплуатации	.....
Механическая эксплуатация (надежность)	Количество циклов терминирования кабеля	одноразовый контакт IDC	1	IEC 60352-3, IEC 60352-4
		многоразовый контакт IDC	не менее 20	IEC 60352-3, IEC 60352-4
		одноразовый IPC (piercing, с проколом)	1	IEC 60352-6
	Количество циклов терминирования перемычек на распределительном устройстве	.....	не менее 200	IEC 60352-3, IEC 60352-4
	Количество циклов стыковки-расстыковки вилки и гнезда на информационной розетке	.....	не менее 750	IEC 60603-7 (неэкранир.) IEC 60603-7-1 (экранир.)
	Другие разъемные соединения	.....	не менее 200	.....

Что касается экранированных коннекторов и экранированных линий и каналов, то в стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) указано, что все экраны должны быть присоединены к системе защитного заземления здания, которая выполняется в соответствии с местными требованиями. Присоединение экранов к коннекторам должно производиться в точном соответствии с рекомендациями изготовителя с тем, чтобы было обеспечено соединение с наименьшим импедансом. Экраны должны быть непрерывны на протяжении всего канала, а система защитного заземления должна обеспечивать среднеквадратичную разность потенциалов между любыми двумя точками заземленных экранов не более 1 В.

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к электромагнитным характеристикам состыкованного информационного разъема приведены в табл. 4.5, а требования по постоянному току — в табл. 4.6.

**Таблица 4.5.** Электромагнитные параметры состыкованного разъема категорий 5, 6 и 7 по стандарту ISO/IEC 11801:2002(E) на граничных частотах

Частота, МГц	RL, дБ, не менее			IL, дБ, не более			NEXT, дБ, не менее			PSNEXT, дБ, не менее			FEXT, дБ, не менее			PSFEXT, дБ, не менее		
	5	6	7	5	6	7	5	6	7	5	6	7	5	6	7	5	6	7
1	30,0	30,0	30,0	0,10	0,10	0,10	80,0	80,0	80,0	77,0	77,0	77,0	65,0	65,0	65,0	62,0	62,0	62,0
100	20,0	24,0	28,0	0,40	0,20	0,20	43,0	54,0	72,4	40,0	50,0	69,4	35,1	43,1	60,0	32,1	40,1	57,0
250		16,0	20,0		0,32	0,32		46,0	66,4		42,0	63,4		35,1	54,0		32,1	51,0
600			12,4			0,49			60,7			57,7			48,3			45,3

Дополнительно для всех частот и категорий: задержка сигнала — не более 2,5 нс; перекося задержек — не более 1,25 нс.

**Таблица 4.6.** Характеристики состыкованного информационного разъема категорий 5, 6, 7 по постоянному току в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E)

Переходное сопротивление контакта, МОм (в том числе и контакта экрана)	не более 200
Разбаланс переходных сопротивлений для всех проводников, МОм	не более 50
Постоянный ток через контакт, А (включая контакт экрана)	не менее 0,75
Сопротивление изоляции проводника по постоянному току, МОм	не менее 100
Напряжение пробоя изоляции, В:	
проводник—проводник	не менее 100
проводник—панель	не менее 1500

При выборе соединительного оборудования для СКС необходимо обязательно убедиться, что оно соответствует вышеприведенным требованиям и особенно внимательно следить за этим при его приобретении.

#### **4.8. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к шнурам коммутационным, шнурам оборудования и к шнурам рабочего места**

Шнуры всех видов (коммутационные, рабочего места и оборудования) являются неотъемлемой частью тракта передачи сигнала, и, пожалуй, самым «тонким местом» любой СКС или ЛВС. Условия их эксплуатации жестче, чем стационарных кабелей: они подвергаются многократным изгибам, скручиванию, поперечным (сдавливанию) и продольным (растяжению) нагрузкам. Коннекторы, которыми оконцован шнур, подвергаются воздействию пыли и влаги и испытывают многочисленные акты стыковки и расстыковки с гнездом разъема. Многожильные проводники, из которых изготавливают шнуры, имеют большее по сравнению с одножильными затухание. Все эти факторы приводят к тому, что качество создаваемого в СКС канала прямо зависит не только от длины, но и от качества шнуров самих по себе. Требования к шнурам с появлением быстродействующей (250 и 600 МГц) аппаратуры, подключаемой к СКС, еще больше ужесточились.

Ситуация со шнурами приблизилась к парадоксальной. Например, по данным [27] из 149 шнуров категорий 5е и 6, приобретенных в 2003 году на открытом рынке США по разным каналам, 70% шнуров категории 5е и 83% категории 6 оказались не удовлетворяющими требованиям американского стандарта TIA/EIA-568B. Причем корреляция между ценой шнура и его качеством оказалась ничтожной. Объясняется эта ситуация, с одной стороны, высокими требованиями к шнурам, а с другой — сложностью и дороговизной оборудования для их тестирования, которым, как правило, многие производители шнуров не обладают. Кроме того, и способы изготовления, хранения и даже упаковки шнуров, применяемые разными изготовителями, оказываются неадекватными таким высоким требованиям.

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к шнурам, прежде всего, включают в себя требование к их длине. Жесткого ограничения длины нет, но, как было показано выше, ее значение будет определяться длиной канала, максимальное значение которой для каналов класса D, E и F не должно превышать 100 м. Дополнительные ограничения касаются горизонтальной подсистемы: длина шнура рабочего места при использовании многопользовательской розетки (MUTOA) не должна превышать 20 м, а длина шнуров коммутационных в распределительном устройстве этажа должна быть не более 5 м.

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к шнурам распространяются на шнуры, оконцованные двумя вилками модульного информационного разъема, причем кабель и вилки, из которых сделан шнур, должны удовлетворять требованиям данного стандарта, а также требованиям упоминавшихся ранее стандартов IEC 60603-7 и IEC 61156 на разъемы и кабели.

Требования к методам и аппаратуре для тестирования шнуров изложены в новом стандарте IEC 61935-2 (см. Приложение I.1), принятом в мае 2003 года. В соответствии с ним каждый шнур должен быть протестирован на соответствие следующим параметрам:

- внешний вид и визуальное качество (англ. visual inspection);
- карта соединений (англ. wire map);
- NEXT для каждого сочетания пар (англ. pair to pair NEXT);
- возвратные потери (англ. Return Loss).

Для репрезентативного набора образцов из партии шнуров в тестах обязательно проверяются следующие параметры:

- прочность на разрыв (англ. tensile strength);
- стойкость к многократным изгибам (англ. flexure);
- стойкость к изгибанию и скручиванию (англ. bending/twisting);
- устойчивость к поперечному сдавливанию (англ. crushing);
- пылеустойчивость (англ. dust test);
- климатическая стойкость (англ. climatic sequence);
- затухание шнура, включенного в соединительную электрическую цепь (англ. coupling attenuation; в настоящее время данный тест находится в стадии разработки).

Электромагнитные характеристики шнура должны оставаться в заданных пределах после первого воздействия любого из вышеперечисленных тестов.

Сами по себе электромагнитные параметры, которым должен удовлетворять шнур в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E), приведены в табл. 4.7.

**Таблица 4.7.** Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к электромагнитным параметрам шнуров

Параметр	Категории	Частоты, МГц	Требования		
Потери ввода, IL, дБ	Все	Все	В соответствии с длиной		
Возвратные потери, RL, дБ	Все	25	24,0		
		100	18,0		
		250	14,0		
		600	10,2		
Переходное затухание на ближнем конце, NEXT, дБ, не менее			Длина шнура, м		
			2	5	10
	5	1	65,0	65,0	65,0
		16	50,3	49,5	48,7
		100	35,0	34,7	34,5
	6	1	65,0	65,0	65,0
		16	61,6	60,0	58,5
		100	46,2	45,0	44,2
		250	38,6	37,9	37,6
	7	1	65,0	65,0	65,0
		16	65,0	65,0	65,0
		100	65,0	65,0	65,0
		250	60,7	61,2	61,9
		600	55,4	56,2	57,0



Наконец, интересно заметить, что стандарты ISO/IEC 11801:2002(E) и IEC 61935-2 предполагают, что шнуры всегда «прямые», т. е. проводники шнура соединяют контакты вилок с одинаковыми номерами. На практике в качестве шнуров оборудования применяются шнуры с другими схемами соединений (нуль-модемные, обращенные и т. п.), но какой бы ни был шнур, его характеристики непосредственно и существенно влияют на электромагнитные параметры канала. Это нужно обязательно учитывать как на стадии проектирования СКС, так и особенно при ее эксплуатации.

#### **4.9. Вспомогательные средства и компоненты для построения реальной кабельной системы**

К вспомогательным, но безусловно необходимым для построения реальной СКС, компонентам относятся, как было перечислено выше, кабелепроводы (лотки, короба и т. д), пространства (шкафы, стойки и проч.), крепежные изделия и средства маркировки компонентов. Эти изделия используются не только для СКС, они имеют общепромышленное назначение. По этим причинам в данном кратком пособии нет возможности подробно останавливаться на них. Полезные относящиеся к ним сведения можно найти, например, в [1].

Здесь необходимо только отметить, что поскольку качество монтажа СКС прямо влияет на ее электромагнитные характеристики и надежность, то выбор этих средств и компонентов также важен, как и выбор кабелей и разъемов. В связи с этим, некоторые поставщики СКС известных торговых марок включают некоторые из этих изделий даже в штатный состав своих СКС, хотя рынок этих изделий, несомненно, обширен.

Кроме того, поскольку цена этих изделий влияет на конечную цену инсталлированной СКС, нужно всегда помнить, что неоправданная экономия на этих вспомогательных средствах может обернуться значительными убытками при длительной эксплуатации и администрировании СКС.

#### **4.10. Специализированный инструмент и монтаж кабелей и разъемов высоких категорий**

Присоединение кабелей категорий 5, 6, и 7 на вилках и разъемах соответствующих категорий по технологии IDC требует сегодня от монтажника СКС глубоких знаний и правильных навыков. К сожалению, традиционные навыки монтажа, возникшие со времен инсталляции низкочастотных кабельных систем для аналоговой телефонии, сегодня часто мешают правильно смонтировать линии и каналы классов D, E и F с верхними граничными частотами в 100, 250 и 600 МГц. Даже после появления компонентов категории 5 почти 80% СКС, построенных на них в США, вследствие нарушений правил монтажа, не могли быть сертифицированы на соответствующую категорию [28].

Для правильного монтажа прежде всего необходим специализированный инструмент. Минимальный перечень инструмента монтажника СКС приведен в Приложении I.4. К специализированным инструментам можно отнести специальный нож для снятия внешней оболочки 4-х парного кабеля и ударный инструмент на одну и пять пар со сменными лезвиями. На рынке предлагается много разного инструмента и, как правило, каждый монтажник подбирает инструмент «по себе», ориентируясь на свои возможности и удобство. Встречающиеся иногда на практике попытки монтировать контакты IDC подручными средствами приводят к плачевным результатам и должны пресекаться со всей строгостью.

При монтаже распределительных устройств и гнезд модульных разъемов, где бы они ни находились и какой бы они ни были конструкции, необходимо, наряду с инструкций производителя, понимать и неукоснительно соблюдать четыре принципа:

- минимальное физическое воздействие на кабель;
- максимально возможный радиус кривизны кабеля и пары при изгибе;
- неизменность шага скрутки проводников в паре;
- минимально возможное расплетение пары.

Эти принципы должны соблюдаться при всех манипуляциях с кабелем и парой на всех этапах работы, начиная от хранения и транспортировки и заканчивая подключением оборудования. Утрируя ситуацию, можно сказать, что монтажник должен выполнить свою работу, вообще не дотрагиваясь до кабеля.

Поясним кратко эти принципы. Минимальное физическое воздействие на кабель предполагает, что не надо лишний раз его тянуть, изгибать и сдавливать. Любое воздействие приводит к изменению взаимного положения проводников и, соответственно, к изменению электромагнитных характеристик кабеля.

Максимальный радиус изгиба также минимально влияет на характеристики кабеля. Обычно допустимый радиус изгиба 4-х парного кабеля составляет 4–6 наружных его диаметров и обязательно указан в спецификации. Но даже если спецификации неизвестны, хорошей практикой является не изгибать кабель с радиусом, меньшим 10-ти наружных диаметров.

Шаг скрутки пары при монтаже нельзя ни уменьшать, ни увеличивать. Он рассчитан и выдержан для каждой пары с высокой точностью. Малейшее его нарушение меняет волновое сопротивление пары, что тут же приводит снова к нежелательному изменению и других параметров.

Минимальное расплетение пары гарантирует минимальное воздействие пары на пару и сохранение паспортных значений параметра NEXT. В действующей редакции стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) сказано, что длина расплетенного участка пары должна быть минимально возможной. Ранее, в редакции 1995 г. допускалось расплетение пары в линиях класса D до 12,5 мм, но требования ужесточились с тех пор. Сегодня опытный монтажник на практике добивается расплетения пары длиной не более 3–4 мм.

Итак, грамотный и правильный монтаж компонентов высоких категорий 5, 6 и 7 в современных СКС — это необходимое условие ее создания. И, соответственно, некачественный монтаж может свести «на нет» все замечательные проектные решения и блестящие частотные характеристики современных компонентов СКС.

## **4.11. Тестирование электрических линий и каналов структурированной кабельной системы.**

### **4.11.1. Общие сведения о тестировании структурированной кабельной системы**

Высокие требования к современной СКС привели к тому, что сегодня недостаточно просто проложить кабели и показать правильную карту соединений. Кабельной системы нет до тех пор, пока не проведено ее тестирование. Процесс тестирования инсталлированной СКС является самым ответственным и финальным моментом ее создания. Он требует сложных и дорогостоящих «полевых» измерительных приборов и предъявляет высокие требования к квалификации персонала, осуществляющего тестирование.

Требования к процедурам тестирования СКС изложены в нормативном Приложении В к стандарту ISO/IEC 11801:2002(E). Ниже кратко рассмотрены эти требования.

Прежде всего стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) требует, чтобы в инсталлированной СКС тестовые процедуры и оборудование для каналов, стационарных линий и линий точки консолидации соответствовали стандарту IEC 61935-1 (см. Приложение I.1). Кроме того, тестовые процедуры должны соответствовать:

- для шнуров — стандарту IEC 61935-2;
- для кабелей — стандарту IEC 61156-1;
- для соединительного оборудования — соответствующим частям стандарта IEC 60603-7.

Тестирование СКС определено стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) в трех видах:

- *приемочное тестирование* (англ. acceptance testing) — как средство объявить готовой и годной кабельную систему, про которую заранее известно, что она сделана в соответствии с рекомендациями стандарта по структуре, топологии и изготовлению, а также состоит из компонентов, соответствующих требованиям к характеристикам компонентов соответствующих категорий;
- *тестирование на соответствие* (англ. compliance testing) — как средство объявить готовой, годной и соответствующей стандарту ISO/IEC 11801:2002(E) кабельную систему, которая содержит не только известные по характеристикам компоненты, но и такие, характеристики которых заранее неизвестны;
- *эталонное тестирование* (англ. reference testing) — как средство тестирования моделей каналов и линий в лабораторных условиях с помощью лабораторного

оборудования, а также как средство для сравнения результатов измерений, полученных с помощью лабораторного оборудования, с результатами, полученными «полевым» измерительным оборудованием. Эталонное тестирование моделей каналов и линий в лабораторных условиях используется также для проверки тех параметров, которые не могут быть протестированы в полевых условиях.

Заметим, что при создании и эксплуатации СКС проводятся разнообразные измерения, необходимость которых вызывается различными причинами: потеря связи, контроль выполненной работы, сомнения в исправности и т. п. При проведении такого рода измерений персонал может использовать любое оборудование и методики, которыми он располагает и которым он доверяет. Но при тестировании СКС одного из указанных видов должно использоваться оборудование и процедуры, как сказано выше, только соответствующие стандарту IEC 61935-1. Именно такое тестирование мы здесь и обсуждаем.

На практике вид тестирования, состав тестирующего оборудования, критерии тестирования и набор измеряемых характеристик должен быть оговорен в техническом задании на СКС. Кстати заметим, что виды тестирования, перечисленные в [1, стр. 479] со ссылкой на стандарт ISO/IEC 11801 в редакции 2000 г., теперь заменены на приведенные выше три вида.

Параметры, измеряющиеся при трех указанных выше видах тестирования в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E), приведены в табл. 4.8.

**Таблица 4.8.** Параметры электрических каналов и линий, измеряемые в трех видах тестирования СКС в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E)

Параметр	Вид тестирования		
	Приемочное	На соответствие	Эталонное
Возвратные потери, RL	Информ	Обязат	Обязат
Потери ввода, IL	Информ	Обязат	Обязат
Переходное затухание на ближнем конце, NEXT	Информ	Обязат	Обязат
«Суммарное» переходное затухание на ближнем конце, PSNEXT	Расчет	Расчет	Расчет
Защищенность на ближнем конце, ACR	Информ	Обязат	Обязат
«Суммарная» защищенность на ближнем конце, PSACR	Информ	Расчет	Расчет
Нормированное переходное затухание на дальнем конце, ELFEXT	Информ	Обязат	Обязат
«Суммарное» нормированное переходное затухание на дальнем конце, PSELFEXT	Расчет	Расчет	Расчет
Сопротивление петли по постоянному току, DCLR	Информ	Обязат	Обязат
Задержка сигнала, PD	Информ	Обязат	Обязат
Перекас задержки, DS	Информ	Обязат	Обязат
Длина канала, линии, L	Информ	Информ	Обязат
Карта соединений, WM	Обязат	Обязат	Обязат
Непрерывность проводников, экранов; короткие замыкания и обрывы цепей	Обязат	Обязат	Обязат

Параметры могут быть:

- *информативными*. Они обозначены буквами «Информ» и могут измеряться в процессе приемочного тестирования по согласованию с Заказчиком СКС;
- *расчетными*. Они рассчитываются по измеренным параметрам и обозначены буквами «Расч»;
- *обязательными*. Они обозначены буквами «Обяз» и обязательно должны измеряться при тестировании любого из трех видов.

Из данных табл. 4.8 следует, что при приемочном тестировании обязательными параметрами для измерений являются только карта соединений и непрерывность проводников. Из этого, однако, не следует, что остальные параметры не нужно измерять при приемке СКС. Поскольку многие из них определяются только монтажом, их измерение — это единственная возможность убедиться в его качестве. Кстати, и Заказчик, который не хотел бы убедиться, что его СКС соответствует стандарту, вряд ли найдется. В связи с этим при приемке СКС чаще всего производится не «приемочное тестирование», а «тестирование на соответствие», даже если соблюдены условия приемочного тестирования.

#### **4.11.2. Оборудование для тестирования кабельной системы в «полевых» условиях**

Современная элементная база радиоэлектроники позволила создать эффективные измерительные приборы для тестирования СКС в «полевых» условиях, т. е. в месте ее инсталляции на конкретном объекте. К приборам такого типа предъявляются серьезные требования как со стороны эксплуатационных условий, так и со стороны стабильности и точности измерений. Кроме того, необходимо проводить многочисленные и разнородные измерения, в том числе и косвенные, требующие от прибора и достаточных вычислительных возможностей. В последнее время эти требования еще более усложнились в связи с необходимостью проводить измерения на частотах вплоть до 600 МГц и выше. Прибор для тестирования СКС должен, как и всякий современный прибор, обладать и сервисными функциями, связанными с хранением, представлением и распечаткой результатов измерений. Перечисленные обстоятельства приводят к тому, что парк таких приборов ограничен по численности, а цена одного прибора в полном комплекте доходит до 10 тысяч долларов США. Добавим также, что, к сожалению, отечественная промышленность на сегодняшний день не выпускает полевых приборов для тестирования СКС на соответствие стандарту ISO/IEC 11801:2002(E).

Приборы и методики для тестирования СКС должны удовлетворять требованиям стандарта IEC 61935-1 (см. Приложение I.1), который был принят в 2000 г. и исправлен дополнением 1, вышедшем в 2002 г. после выхода в свет стандарта ISO/IEC 11801:2002(E). Заявлено, что стандарт останется неизменным до 2006 г.,

после чего он может быть изменен и дополнен. Кратко остановимся на требованиях указанного стандарта.

Прежде всего, в стандарте указано, что измерения на линиях и каналах классов D и E могут проводиться полевыми тестерами, в то время как для класса F в диапазоне частот от 300 до 600 МГц — только с помощью сетевых анализаторов или анализаторов спектра. Характеристики (в основном, точность) полевого тестирующего оборудования и сами приборы классифицируются по уровням (англ. level) и сегодня в телекоммуникационной промышленности используются полевые измерительные приборы уровней I, II, IIE и III. Полевые приборы, используемые для сертификации линий и каналов классов D и E, определяются как приборы уровня IIE и уровня III, соответственно. Стандарт определяет требования только к электрическим характеристикам приборов и методов и их точности; требования к сервисным функциям, размерам, надежности, стойкости к климатическим и механическим воздействиям и т. п. не охватываются данным стандартом. В связи с этим, производители таких приборов не ограничены данным стандартом в выборе конструктивных и сервисных возможностей разрабатываемых устройств.

Стандартом IEC 61935-1 специфицированы требования к методикам и приборам, измеряющим в полевых условиях 11 параметров, а именно: карту соединений с их непрерывностью, задержку, перекос задержек, длину, потери ввода, NEXT, PSNEXT, ELFEXT, PSELFEXT, возвратные потери, сопротивление петли постоянному току. Измерения должны проводиться в конфигурациях «канал» и «стационарная линия». Конкретный набор параметров, как было сказано выше, определяется видом тестирования и техническим заданием на СКС, а сами параметры должны удовлетворять стандарту ISO/IEC 11801:2002(E). Требования к методикам измерений параметров ACR и PSACR стандартом IEC 61935-1 отдельно не специфицируются, но нужно помнить, что эти параметры входят в число параметров, нужных при тестировании на соответствие (см. табл. 4.8).

Требования к погрешностям тестирующих приборов уровней IIE и III при измерениях предельных критериальных значений параметров (критерий теста — «прошел/не прошел», предел параметра — по стандарту ISO/IEC 11801:2002(E)) представлены в таблице 4.9.

Очень важной характеристикой полевого прибора является его динамический диапазон по напряжению. Связано это с тем, что при измерении параметров NEXT и FEXT нужно измерить большое напряжение исходного сигнала и маленькое напряжение наведенного или ослабленного сигнала, а потом сравнить их. По стандарту IEC 61935-1 требуется, чтобы этот динамический диапазон был не менее 63 дБ для приборов уровня IIE и не менее 65 дБ для приборов уровня III.

Порядок проведения тестовых измерений параметров СКС в полевых условиях также имеет свои особенности. Стандарт требует, чтобы владелец полевого измерительного прибора обязательно создал «эталонную» линию (англ. reference link)

и регулярно с помощью своего прибора проводил ее тестирование. Эта линия будет исполнять роль меры. Повторяющиеся на ней измерения должны давать одни и те же результаты с величиной погрешности, определенной в паспорте прибора. Это требование необходимо выполнять, поскольку при многократном использовании полевого прибора изнашиваются его коннекторы и тестовые шнуры и нужно быть всегда уверенным в исправности и годности такого прибора.

**Таблица 4.9.** Допустимые погрешности тестирующих приборов уровней IIE и III при измерениях предельных критериальных значений параметров (критерий теста «прошел/не прошел», предел параметра — по стандарту ISO/IEC 11801:2002(E))

Параметр	Уровень IIE (класс D)	Уровень III (класс E)
	Без адаптера/С адаптером	Без адаптера/С адаптером
Attenuation, dB	1,3/1,9	1,2/1,4
NEXT, dB	1,8/3,6	1,7/2,9
PSNEXT, dB	1,8/3,9	1,8/3,2
ELFEXT, dB	2,4/4,4	2,0/3,4
PSELFEXT, dB	2,5/4,7	2,0/3,7
Return Loss, dB	1,7/2,7	2,4/2,9
Propagation Delay, ns	25/25	25/25
Delay Skew, ns	10/10	10/10
Length, m	5/5	5/5
DC Loop Resistance, Ohm	1,4/1,4	1,4/1,4

Каждая линия должна быть измерена «в двух направлениях»: после первого измерения основной и удаленный блоки прибора меняются местами и проводится второе измерение. При этом все наихудшие значения параметров (за исключением NEXT и Return Loss) должны оставаться теми же самыми в пределах удвоенной погрешности прибора. «Ближние» значения NEXT и RL, полученные в первом измерении, необходимо сравнить с «удаленными» значениями NEXT и RL, полученными во втором измерении. Также и «удаленные» значения в первом измерении необходимо сравнить с «ближними» второго. В обоих случаях разница между значениями не должна превышать удвоенной погрешности прибора.

Полевых приборов, выпускающихся сегодня и способных проводить тестирование на соответствие линий и каналов классов D (уровень IIE) и E (уровень III) не много. В таблице 4.10, взятой из [29], приведен их перечень. Там же проведено сравнение их измерительных и сервисных возможностей.

**Таблица 4.10.** Перечень полевых приборов для тестирования СКС

Компания	Прибор	Цена, \$	Сайт
Ideal Industries	Lantek 6	6995	<a href="http://www.idealindustries.com">www.idealindustries.com</a>
	Lantek 7	7995	
Fluke	DSP 4300	7750	<a href="http://www.flukenetworks.com">www.flukenetworks.com</a>
	OmniScanner 2	7055	
Agilent	WireScope 350	7400	<a href="http://www.wirescope.com">www.wirescope.com</a>
Behacom	Easylan	5480	<a href="http://www.beha.de">www.beha.de</a>

### 4.11.3. Практические рекомендации по тестированию СКС

Правила использования полевых тестеров определены их подробными инструкциями. Здесь необходимо лишь обратить внимание на три главных момента при проведении тестирования.

Во-первых, при проведении тестирования необходимо ясно представлять, по каким критериям проводится тестирование. Как правило, полевые тестеры имеют режим «Автотест», в котором могут использоваться американский, международный или другие стандарты, поэтому необходимо однозначно выбрать стандарт и набор параметров, подлежащих измерению.

Во-вторых, необходимо точно знать скорость распространения сигнала в том кабеле, из которого сделана линия, на которой проводятся измерения. Для кабелей скорость распространения сигнала обязательно указывается в спецификации, а полевые тестеры, как правило, хранят библиотеку этих значений для конкретных типов изделий. Скорость распространения сигнала по кабелю принято характеризовать параметром NVP (англ. Nominal Velocity of Propagation), который указывается в долях или процентах от скорости света, с. В 4-х парных кабелях значения NVP лежат обычно в пределах от 0,6 с до 0,8 с. Тестеры обычно имеют функцию калибровки NVP, которая позволяет на образце данного кабеля известной длины определить этот параметр. Минимальная длина образца при этом должна быть не менее 15 м и чем она будет больше, тем лучше, поскольку точность в значении NVP будет определять точность измерения длины полевым тестером.

И, наконец, в третьих, необходимо прокалибровать прибор именно при выбранных критериях перед началом измерений.

В остальном — нужно тщательно соблюдать требования инструкции по эксплуатации прибора, которая должна быть изучена досконально. Тут же нужно еще раз напомнить о том, что тестовые шнуры и измерительные адаптеры изнашиваются в процессе эксплуатации и погрешности прибора возрастают. Поэтому рекомендация стандарта IEC 61935-1 владельцу тестера создать для себя «эталонную» линию и периодически проверять свой прибор по ней должна, несомненно, быть выполнена.



# **Часть II**

## **Базовые сведения об оптоволокну и волоконно-оптические компоненты структурированной кабельной системы**



# Глава V

## Введение в волоконно-оптическую технику связи

### 5.1. Предварительные замечания

Перед изложением основного материала этой части книги необходимо сделать замечания, которые должны правильно сориентировать читателя.

Во-первых, к сегодняшнему дню волоконно-оптическая техника связи имеет примерно 30-летнюю историю: первое предложение использовать оптоволоконно для связи было высказано в 1966 году. Техника такой связи прекрасно отработана, большинство дальних линий связи — это волоконно-оптические линии, сегодня оптоволоконные кабели подходят к жилым домам. В связи с этим возникает вопрос: почему сегодня надо возвращаться к изучению этой техники? Ответ на этот вопрос заключается в том, что волоконно-оптическая техника связи вторглась в локальные вычислительные сети (ЛВС) и это произошло сравнительно недавно, приблизительно, 8–9 лет назад. К этой области техники подключилось большое число специалистов, не имевших ранее с ней дела: системные инженеры и администраторы ЛВС, руководители отделов автоматизации предприятий, пользователи ЛВС и т. п.

Поэтому, первой целью данной части является краткое ознакомление этой категории специалистов с базовыми понятиями волоконно-оптической техники. Эти сведения должны им помочь использовать волоконно-оптическую технику в ЛВС так же эффективно, как это делают связисты на протяжении последних десятилетий.

Во-вторых, волоконно-оптическая техника требует от специалиста глубоких знаний в области как лучевой, так и волновой оптики. К сожалению, поскольку человек мало использует оптику в быту (в отличие от электричества), и его знания, в лучшем случае, ограничиваются общеинститутским курсом оптики, эта об-

ласть остается для него труднодоступной. К тому же, большинство книг, посвященных волоконно-оптической технике, либо слишком упрощают оптические явления, либо перегружены математическими выкладками. И то, и другое затрудняет понимание процессов, происходящих в оптоволокне при передаче по нему оптических сигналов.

Поэтому, вторая цель данной части состоит в том, чтобы дать этой категории специалистов ясное понимание процесса передачи световых импульсов по оптоволокну, без которого трудно правильно разработать и смонтировать волоконно-оптическую часть структурированной кабельной системы.

В-третьих, в дальнейшем изложении предполагается, что читатель знаком с основными понятиями и терминами в области структурированных кабельных систем (СКС) в объеме первой части и, поэтому, далее они будут использоваться без дополнительных объяснений.

## 5.2. Основные волоконно-оптические понятия и термины

Традиционные линии связи (на основе электрических коаксиального и симметричного кабелей) уже не подходят в некоторых случаях для современных ЛВС и систем передачи данных из-за:

- недостаточного быстродействия и низкой пропускной способности;
- дороговизны;
- неприемлемых массогабаритных характеристик;
- низкой помехозащищенности и недостаточной защищенности от несанкционированного доступа.

К счастью, изобретение лазера привело к интенсивному развитию оптических технологий и, в том числе, к разработке и созданию оптических резонаторов и оптических волноводов, т. е. устройств, давно и эффективно использующихся в технике связи других диапазонов длин волн. В свою очередь, совершенствование технологии изготовления стекла и пластмасс позволило создать оптический волновод в виде *гибкого волоконного световода*, который за свой внешний вид и малый наружный диаметр получил название *оптоволокна* (англ. optical fiber). При этом стеклянные световоды называют стеклянными оптоволоконками (англ. Glass Optical Fiber, GOF), а пластмассовые — пластмассовыми оптоволоконками (англ. Plastic Optical Fiber, POF).

Объединение нескольких отдельных оптоволокон под одной оболочкой позволило создать *волоконно-оптический кабель* (ВОК), а его использование для связи — создать *волоконно-оптические линии связи* (ВОЛС).

Разработаны и все необходимые компоненты ВОЛС: неразъемные соединители оптоволокон (т. н. сплайсы, англ. splice), разъемные соединители (коннекторы и адаптеры), оптические кабельные муфты, оптические распределительные и коммутационные устройства и т. д.

Все это привело к широкому использованию ВОЛС в последние, примерно, 20 лет, а в последние годы — и к использованию ВОЛС в ЛВС и в СКС современных предприятий.

### **5.3. Преимущества волоконно-оптических линий связи и трудности при их использовании**

Преимущества ВОЛС по сравнению с электрическими и радиолиниями связи можно объединить в три крупные группы :

- в электромагнитных характеристиках;
- в технологических показателях;
- в отдельных областях применений.

К первой группе преимуществ можно отнести:

- высокую несущую частоту. Действительно, распространенной, например, в ЛВС длине волны 0,85 мкм соответствует несущая частота  $3,5 \times 10^{14}$  Гц и использование для передачи сигналов, скажем, ширины полосы в 1 % от несущей дает ее значение, равное 3500 ГГц. Отсюда следует, что ВОЛС обладает, в принципе, высокой пропускной способностью и быстродействием;
- высокую помехозащищенность ВОЛС. Во-первых, в промышленности и природе отсутствуют источники электрического и магнитного поля такой напряженности, которая способна изменить условия распространения светового импульса в оптоволокне. В природе таким источником полей является молния, в которой токи могут достигать миллионов ампер, но она скорее просто разрушит линию связи, нежели изменит условия распространения света в оптоволокне. В промышленности же источники мешающих полей, например, трансформаторы, создают поля относительно низкой напряженности, которая также не влияет на распространение света в оптоволокне. Во-вторых, помехозащищенность возникает в силу электрической развязки передающего и приемного концов ВОЛС, когда используются ВОК, не содержащие металлических элементов. Поэтому проблемы, связанные с разностью потенциалов этажей и зданий, с блуждающими токами в почве и т. п. исчезают сами по себе;

- высокие сами по себе передаточные характеристики и, особенно, малое затухание сигналов. Например, современные волокна имеют затухание, равное 0,2 дБ/км, что дает на длине 100 м затухание в 0,02 дБ. На этой же длине современный высококачественный электрический симметричный кабель имеет затухание около 20 дБ, т. е. большее в тысячу раз.

Вторая группа технологических преимуществ включает:

- низкую металлоемкость ВОЛС: в ней нет меди и свинца;
- наличие достаточных запасов сырья (песок) для стеклянных световодов;
- хорошие массогабаритные показатели ВОК, т.к. диаметры оптоволокон невелики (~100 мкм) и плотность кварцевого стекла приблизительно в 4 раза меньше плотности меди;
- большие (до 5 км) строительные длины ВОК (как следствие низких массогабаритных показателей);
- возможность применения необычных технологий монтажа кабельных трасс, например, «вдувание» оптоволокон в заранее проложенные трубы.

Третья группа преимуществ:

- отсутствие излучения во внешнюю среду;
- невозможность незаметного подключения к ВОЛС;
- высокая степень защищенности ВОЛС от несанкционированного доступа (как следствие двух предыдущих особенностей).

При очевидных преимуществах ВОЛС в их использовании имеются и трудности:

- сложное и дорогое активное оптоэлектронное оборудование;
- сложная и дорогая технология производства ВОК и других компонентов;
- повышенные требования к квалификации и культуре обслуживающего персонала;
- «старение» оптоволокон под действием влаги и жесткого гамма-излучения, что приводит к уменьшению его прочности и к увеличению затухания в нем света.

К счастью, эти трудности не являются принципиально неустраняемыми. Оборудование и технологии совершенствуются и удешевляются, культура и квалификация персонала растут, улучшается защита оптоволокон от воды за счет нанесения специальных покрытий, повышается степень чистоты стекла, что делает его прозрачность менее зависимой от гамма-излучения. Именно эти вышеописанные факторы привели к широкому распространению ВОЛС в телекоммуникациях и, в частности, в современных СКС.

## 5.4. Структурная схема волоконно-оптической линии связи

Структурная схема ВОЛС приведена на рис. 5.1, где изображены:

ИИ — источник информации,  
 ПК — преобразователь кода,  
 И — излучатель света,  
 СУ — согласующее устройство (оптическое),  
 К — коннектор оптический,  
 ОМ — оптическая муфта кабельная,  
 ФД — фотодиод,  
 РС — регенератор сигнала,  
 ПИ — приемник информации.

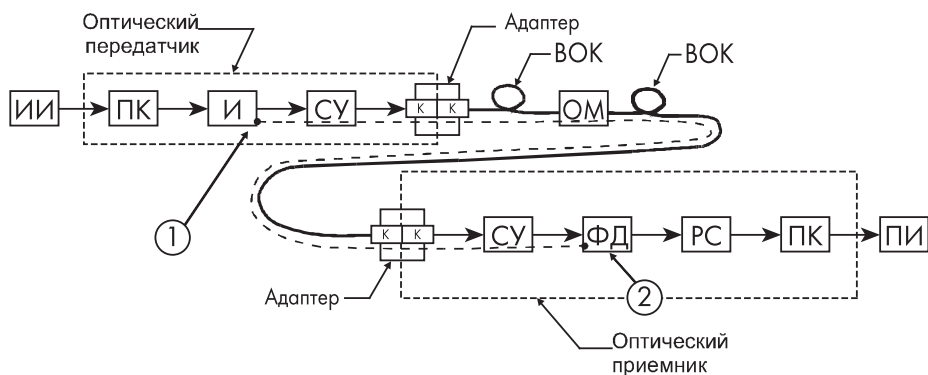


Рис. 5.1. Структурная схема ВОЛС

Оптический передатчик (англ. optical transmitter) и оптический приемник (англ. optical receiver) выделены пунктирной линией. Назначение элементов схемы ясно из их названий.

Пунктиром также показан свет, существующий в ВОЛС: в точке 1 он возникает и в точке 2 исчезает, т. е. при передаче информации по ВОЛС сначала происходит преобразование информации в электрический код, затем — электрического кода в световой, затем — передача светового кода по оптоволокну и затем — его преобразование в электрические сигналы нужной информации. Таким образом, передатчик и приемник — это всегда оптоэлектронные устройства, а согласующие устройства (СУ) после источника излучения (И) и перед фотодиодом (ФД) — это «чисто» оптические устройства. Их назначение состоит в формировании гео-

метрических размеров светового пучка, оптимальных для световода и фотодиода (как правило, СУ — это соответствующая система линз или зеркал).

Следует обратить внимание на то, что выходная «граница» передатчика и входная «граница» приемника проходят через границу раздела одинаковых оптических коннекторов, пристыкованных друг к другу в оптическом адаптере. Такой способ соединения оптических «проводников», характерный для оптоволоконных линий, существенно отличается от способов соединения проводников электрических. На практике в аппаратуре «внутренний» коннектор, как правило, отсутствует, а «внешний» — непосредственно пристыковывается к согласующему устройству.

Дуплексная связь (т. е. одновременные передача и прием сигналов), схема которой представлена на рис. 5.2, реализуется в ВОЛС, как правило, по двум оптоволоконным.

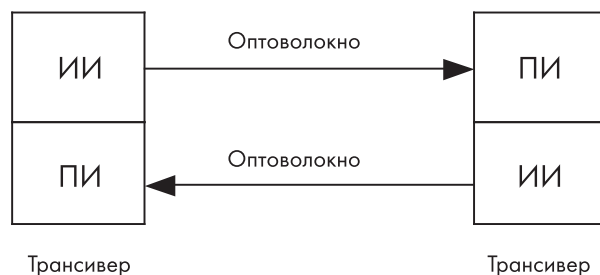


Рис. 5.2. Схема дуплексной связи по двум волокнам  
(ИИ, ПИ — источник и приемник информации, соответственно;  
стрелками указано направление распространения света)

При этом передатчик и приемник объединяются конструктивно в одно устройство — приемопередатчик или трансивер (англ. transceiver) — имеющее два оптических адаптера для присоединения двух оптоволокон. Именно поэтому сетевая карточка компьютера имеет на выходе адаптер для двух оптоволокон: по одному свет входит в карточку, по другому — выходит из нее.

Заметим, что организация дуплексной связи возможна и по одному волокну с использованием на его концах расщепителя светового пучка, но при этом нужны два расщепителя и часть световой мощности принципиально теряется на двух концах. Использование только двух волокон для дуплексной связи оказывается более простым и эффективным решением.

Важно также, что в любых системах, использующих в своем составе ВОЛС, кодирование и обработка информации производится в виде только электрических импульсов тока или напряжения, а свет используется только для передачи сигналов по оптоволокну.



# Глава VI

## Базовые сведения об оптоволоконне

### 6.1. Волоконные световоды

#### 6.1.1. Определение волоконного световода

Формально можно дать следующее определение световода: световод (светопровод, оптический волновод, оптоволокно) — это *устройство* для направленной передачи (канализации) света.

В этом определении выделено слово «устройство», которое показывает, что оптоволокно — не просто стеклянная или пластмассовая нить, подобная рыболовной леске, а специально рассчитанное и изготовленное изделие с заданными и заранее известными свойствами. Оно было создано как средство, альтернативное средствам передачи света в открытом пространстве, которые малоэффективны, так как :

- обеспечивается связь только при прямой видимости источника света в месте приема излучения;
- расходимость пучка света (т. е. увеличение площади поперечного сечения пучка света по мере его распространения) приводит к уменьшению плотности мощности света в месте приема;
- происходит существенное затухание света из-за его поглощения и рассеяния в атмосфере (особенно, в присутствии разного рода частиц: тумана, пыли и т. п.).

Первые реализации световодов представляли собой системы зеркал или линз, расположенных в трубках, из которых иногда откачивался воздух. Ясно, что такие световоды были громоздкими, неудобными и позволяли передавать свет на небольшие ( $\sim 10 \div 100$  м) расстояния.

Ситуация коренным образом изменилась, когда был предложен световод в виде гибкой нити или волокна (англ. fiber или fibre) из стекла или полимера. Такой световод стал называться гибким волоконным световодом или просто *оптоволокном*.

Оптоволокно позволяет:

- передавать свет на большие ( $\sim 2 \div 5$  км) расстояния;
- обеспечить небольшое затухание света (до 0,2 дБ/км);
- обеспечить малые частотные искажения сигналов.

Наша задача и состоит в том, чтобы разобраться, как же сделано это *устройство*, на каких принципах оно работает и каковы его возможности. Ниже рассмотрим принцип действия и конструкции волоконных световодов.

### 6.1.2. Принцип действия оптоволоконна на лучевом языке

В основе канализирующего действия световода, т. е. его способности передавать свет с одного конца на другой, лежит явление полного внутреннего отражения света на границе раздела двух сред, имеющих различные показатели преломления. Эти две среды создают из стекла или полимера, меняя показатель преломления исходного материала с помощью легирования в процессе изготовления оптоволоконна. При этом поперечное сечение оптоволоконна в любом месте по его длине выглядит так, как показано на рис. 6.1.

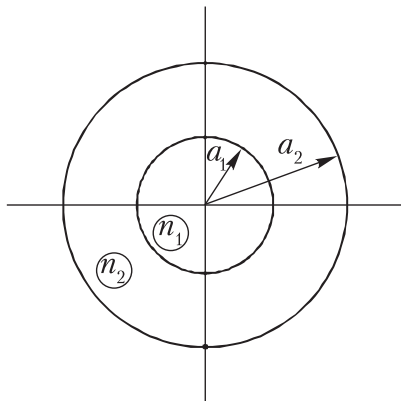


Рис. 6.1. Поперечное сечение оптоволоконна ( $a_1$ ,  $a_2$  — радиусы сердцевины и оболочки, соответственно;  $n_1$ ,  $n_2$  — их показатели преломления, всегда  $n_1/n_2 > 1$ )

Центральную область оптоволоконна принято называть сердцевиной (англ. core), а периферическую область — оболочкой (англ. cladding).

Необходимо запомнить, что в оптоволоконках всегда выполняется важное соотношение —  $n_1/n_2 > 1$  — из какого бы материала они ни были сделаны.

При описании оптических явлений в световодах (а также при любых инженерных дискуссиях об оптических трактах СКС) необходимо строго выбирать «лучевой» или «волновой» языки, чтобы избежать путаницы понятий и представлений.

«Лучевой» язык — это язык геометрической оптики, его применяют тогда, когда длина волны света  $\lambda$  бесконечно мала по сравнению с размерами  $D$  отверстий и экранов, расположенных на пути света:  $\lambda \ll D$  или  $\lambda/D \rightarrow 0$ . И, хотя мы знаем, что свет можно считать электромагнитными волнами, здесь об этом «забывают», считая, что протяженность волнового фронта значительно превышает длину волны, и тогда линию, перпендикулярную к волновому фронту в данной точке фронта, называют *лучом* света, приписывая ему направление, совпадающее с направлением распространения фронта волны.

«Лучевой» язык позволяет просто объяснить ряд оптических явлений (отражение, преломление), а некоторые с его помощью — объяснить трудно (диффракция, интерференция).

«Волновой» язык применяется для описания оптических явлений, когда  $\lambda \approx D$  или  $\lambda/D \sim 1$ . Тогда «забывают» о лучах света и говорят только об электромагнитных волнах.

В оптике световодов мы имеем дело с неким переходным случаем:  $\lambda \leq D$  или  $\lambda/D \leq 1$ . Действительно, если  $\lambda = 1,55$  мкм, а диаметр сердцевины оптоволоконка  $2a_1 = 8,2$  мкм, то их отношение  $\sim 0,2$  и лучевой язык применять нельзя. Тогда оптоволоконно строго описывается на волновом языке как цилиндрический диэлектрический волновод.

Сначала рассмотрим принцип действия оптоволоконка на «лучевом» языке. Для определенности положим  $\lambda = 0,85$  мкм,  $2a_1 = 62,5$  мкм и  $2a_2 = 125$  мкм. Отметим, что  $\lambda/2a_1 = 0,014$  и  $\lambda/2a_2 = 0,007$ , что близко к нулю и, следовательно, будем говорить о лучах света и применять законы геометрической оптики.

На рис. 6.2 изображено продольное сечение световода и три луча света, падающих в точку  $A$  на границу раздела его сердцевины и оболочки.

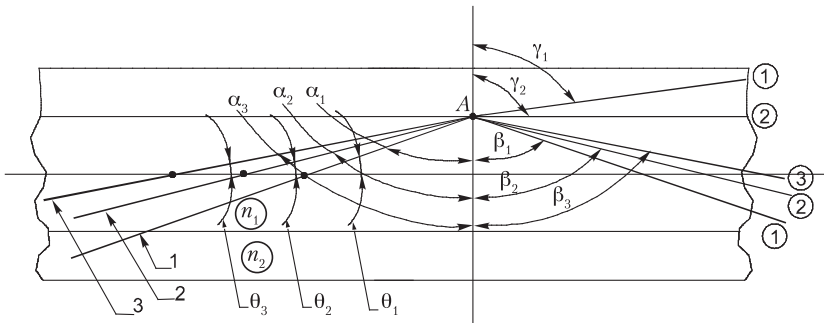


Рис. 6.2. Продольное сечение световода и три луча света

На рис. 6.2 обозначены:  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  — углы падения лучей 1, 2 и 3;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  — углы отражения лучей;  $\gamma_1, \gamma_2$  — углы преломления;  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  — углы между лучами и осью световода.

По законам геометрической оптики:

- падающий, отраженный и преломленный лучи лежат в плоскости сечения;
- углы падения равны углам отражения;
- $n_1 \times \sin \alpha_1 = n_2 \times \sin \gamma_1$  — закон преломления Снелла (Snell van Royen).

Поскольку в световодах всегда  $n_1 > n_2$ , то при некотором угле  $\alpha_2$  угол  $\gamma_2 = 90^\circ$  и преломленный луч 2 идет вдоль границы раздела. При углах  $\alpha_3 > \alpha_2$  преломленные лучи отсутствуют и, соответственно, все лучи с углами  $\theta_3$  к оси световода, меньшими, чем  $\theta_2$ , испытывают полное внутреннее отражение на границе раздела сердцевины и оболочки и в дальнейшем идут только по сердцевине, достигая противоположного торца световода.

Таким образом, если мы сформируем т. н. *параксиальный* пучок света из лучей, практически параллельных оси световода (т. е. с малыми,  $\theta < 10$  градусов, углами к его оси) и направим его в световод, то, испытав внутри световода естественное затухание в среде, пучок дойдет до его противоположного торца. Так на «лучевом» языке объясняется принцип действия оптоволокон.

Теперь можно уточнить данное выше определение световода. На лучевом языке световод — это *устройство* для передачи света в виде параксиального пучка световых лучей, т. е. лучей, почти параллельных его оси. Здесь важно то, что с помощью оптоволокон можно канализировать не *любой* свет, а только свет, «сделанный» из параксиальных лучей. Именно эту функцию преобразования света в параксиальный пучок и выполняет согласующее устройство, показанное в структурной схеме ВОЛС на рис. 6.1.

На лучевом языке можно также теперь просто объяснить, почему на изгибе оптоволокон свет выходит за его пределы. Действительно, при изгибе оптоволокон для части лучей перестают выполняться условия полного внутреннего отражения, поскольку для этих лучей увеличивается угол между ними и осью оптоволокон. Появляются преломленные лучи в его оболочке, которые достигают внешней границы оптоволокон и выходят за его пределы. Отсюда вытекает важное обстоятельство: если мы не хотим терять свет, то оптоволокон должно быть прямым, как стрела. Этот момент является принципиальным: на каждом изгибе мы теряем часть света и чем больше изгибов, тем больше потери.

Итак, если мы хотим эффективно передавать свет по оптоволокону, то, пользуясь лучевым языком, можно сделать два важных вывода:

- мы должны преобразовать свет в параксиальный пучок лучей;
- мы не должны изгибать оптоволокон.

### 6.1.3. Понятие электромагнитных волн

Если мы возьмем случай, когда  $\lambda = 1,55$  мкм, а диаметр сердцевины оптоволокна  $2a_1 = 8,2$  мкм, то их отношение  $\sim 0,2$  и лучевой язык применять нельзя. Необходимо «вспомнить», что свет — это волны и пользоваться волновым языком для пояснения принципа его действия. Однако, перед этим необходимо уточнить общее понятие *волна* и понятие *электромагнитная волна*, в частности.

С волнами мы очень часто сталкиваемся в природе и обычной жизни. Мы видели волны на поверхности моря или реки (волны смещения), мы слышим речь и музыку (волны давления), мы знаем о взрывах (ударные волны) и, наконец, мы знаем, что свет — это волны.

Любую волну можно понимать как одновременное изменение в пространстве и во времени некоторой физической величины. Действительно, на поверхности воды эта физическая величина — смещение частиц воды от их первоначального положения, в звуковых волнах — это давление и т. п. Эти физические величины всегда можно измерить, а в каждый конкретный момент времени можно узнать распределение этой физической величины в пространстве.

Свет — это электромагнитные волны и физическими величинами, изменяющимися во времени и пространстве, являются напряженность электрического поля  $E$  и связанная с ней напряженность магнитного поля  $H$ . Величины  $E$  и  $H$  можно измерить в единицах В/м и А/м, соответственно. Когда свет «идет» по оптоволокну, то это значит, что в каждой точке этого волокна изменяется напряженность электрического и магнитного полей, т. е. по волокну «бегут» электромагнитные волны.

Волны бывают поперечные и продольные. В поперечных волнах изменение физической величины происходит в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны (волны на поверхности воды), в продольных — в направлении распространения волны (звуковые волны). Свет в открытом пространстве — это поперечные электромагнитные волны, а в направляющих системах (например, в СВЧ волноводах) могут существовать и продольные электромагнитные волны.

Волны всегда существуют при определенных условиях и всегда в определенных системах, имеющих вполне определенные размеры и свойства. От сочетания размеров системы и свойств среды будут зависеть и свойства волн, которые могут в этих системах существовать. Волны на море в соленой воде и волны в тазу, наполненном мыльным раствором, это по сути — одни и те же волны смещения на поверхности жидкости, но попробуйте в тазу устроить «шторм» в 9 баллов и ничего не получится, потому, что в такой системе такие волны не могут существовать. Принято называть волны, которые могут существовать в системе, *нормальными волнами*. Если волны не являются для системы нормальными, они быстро затухают, даже если попытаться их в этой системе возбудить.

Итак, когда мы говорим «волны», мы всегда должны указать их физическую сущность и характеристики изменяющихся физических величин: частоту,

амплитуду, фазу, поляризацию; должны указать поперечные это волны или продольные; являются ли они нормальными для данной системы или нет. Вышеприведенных понятий достаточно, чтобы пояснить принцип действия оптоволокна на волновом языке.

#### 6.1.4. Принцип действия оптоволокна на волновом языке

Как только мы взяли конкретное оптоволокно, мы тут же имеем дело с конкретной системой с вполне определенными свойствами. Действительно, выбрав оптоволокно, мы сразу задали следующие параметры:

- форму — оптоволокно есть цилиндр;
- материал — оптоволокно — это стеклянный цилиндр;
- размеры — наружный диаметр цилиндра равен 125 мкм;
- распределение плотности стекла по диаметру цилиндра — есть более плотная по сравнению с оболочкой сердцевина с диаметром  $2a_1$ .

Это все сразу означает, что в этой конкретной системе имеется конкретный набор *нормальных* волн, которые могут в этой системе существовать. Попытки возбудить в этой системе волны, не являющиеся для нее нормальными, обречены на неудачу. Кроме того, стоит нам изменить любой из этих параметров, например, размер или материал, как сразу мы получаем другую систему и, соответственно, другой набор нормальных волн.

Поэтому, если мы хотим по оптоволокну передавать свет, мы должны «сделать» его из электромагнитных волн, соответствующих нормальным волнам этого конкретного волокна. Таким образом, можем, пользуясь волновым языком, сказать, что оптоволокно — это устройство для канализации света, «сделанного» из электромагнитных волн, соответствующих нормальным волнам этого оптоволокна.

Также, как говоря на лучевом языке, по оптоволокну мы можем передавать свет только в виде параксиальных лучей, на волновом языке мы говорим, что по оптоволокну мы можем передавать свет только в виде нормальных для этого волокна волн. И в том, и в другом случае важно одно: по оптоволокну мы передаем не «вообще» свет, не любой свет, а свет, подготовленный и сформированный конкретным образом. В дальнейшем изложении волновые представления о свете будут уточняться.

#### 6.1.5. Понятие моды электромагнитных волн

Как мы уже видели, одних представлений геометрической (лучевой) оптики недостаточно, чтобы разобраться в принципах действия волоконных световодов. К тому же, непонимание физических основ оптоволоконной техники, как показывает практика, сужает возможности специалиста, проектирующего, монтирующего или использующего оптоволоконную технику в ЛВС или телефонии.

Оптическая техника и, в том числе оптоволоконная, строится на основе глубокого понимания принципов и понятий волновой оптики [30]. Одним из таких понятий является понятие *мода* (англ. mode) или *тип колебаний*.

«Забудем» про лучи света и «вспомним», что свет — это электромагнитные волны. Электромагнитные волны — это колебания значений напряженности электрического и магнитного полей (характеризующиеся определенными частотой, фазой, амплитудой и направлением колебаний), распространяющиеся в среде в определенном направлении с некоторой скоростью.

Теперь мы хотим направить свет в световод и хотим, чтобы свет распространялся вдоль световода и достиг его конца, т. е. хотим, чтобы электромагнитные волны распространялись в некоторой системе (световод), обладающей определенными размерами и электромагнитными свойствами. Свойства этой системы (световода) таковы, что она не изотропна: как мы уже знаем, показатель преломления световода заметно меняется по радиусу, не изменяясь по длине световода. Размеры же световода таковы, что  $\lambda \leq 2a$ , т. е. длина волны падающего света меньше или сравнима с диаметром сердцевины оптоволокна.

Как же будет взаимодействовать такая колебательная система (световод) с внешним возбуждающим колебательным воздействием (светом)?

В соответствии с законами физики это взаимодействие будет определяться тем, какие собственные электромагнитные колебания возможны в этой системе — в световоде — (т. е. нормальные колебания, частоты которых называются собственными частотами) или какие собственные (нормальные) волны могут распространяться в системе (в световоде).

Как было сказано выше, нормальные волны (собственные волны) — это бегущие электромагнитные гармонические волны в линейной динамической системе с постоянными параметрами, в которой можно пренебречь поглощением и рассеянием энергии.

Все нормальные волны в системе обладают такими свойствами:

- каждая нормальная волна является свободным движением системы и может быть возбуждена независимо от других нормальных волн (специальным выбором начальных условий);
- любой волновой процесс в системе можно представить в виде суперпозиции (наложения) нормальных волн;
- спектр частот нормальных волн является сплошным, реальные процессы могут быть представлены в виде сумм нормальных волн;
- в случае периодического процесса средний по периоду процесс поток энергии равен сумме потоков энергии отдельных нормальных волн.

В случае оптоволоконного световода, параметры которого не меняются вдоль его оси  $Z$ , нормальные волны синусоидальны не только во времени, но и в пространстве, обладают неизменной поперечной структурой и могут быть выражены формулой:

$$a_i = A_i(x, y, \omega) \times \cos(\omega t - K_z \times z), \quad (6-1)$$

где  $a_i$  — текущее значение компонентов волнового поля (в нашем случае — это напряженности электрического  $E$  и магнитного  $H$  полей),  $\omega$  — циклическая частота,  $A_i$  — распределение амплитуды компонентов волнового поля, зависящее от поперечных координат  $x, y$  и частоты  $\omega$ ,  $t$  — текущее время,  $z$  — текущая продольная координата,  $K_z$  — продольное волновое число.

Волновое число связано с продольной длиной волны  $\lambda_z$ :

$$\lambda_z = \frac{2\pi}{K_z} \quad (6-2)$$

и фазовой скоростью нормальной волны,  $V_\phi$ :

$$V_\phi = \frac{\omega}{K_z} \quad (6-3)$$

Главное же в том, что в реальной инерционной системе связь между  $\omega$  и  $K_z$ , как правило, неоднозначна, т. е. одному значению волнового числа  $K_z$  может соответствовать целый набор нормальных волн с разными частотами, т. е. функция  $\omega = \omega(K_z)$  — неоднозначна. Значит, можно выбрать группы нормальных волн, для которых зависимость  $\omega(K_z)$  разная, например, как в табл. 6.1.

**Таблица 6.1.** Волновые числа и частоты нормальных волн двух разных групп (мод)

Волновое число	Частота волн I группы	Частота волн II группы
$K_{z_1}$	$\omega_1'$	$\omega_1''$
$K_{z_2}$	$\omega_2'$	$\omega_2''$
$K_{z_3}$	$\omega_3'$	$\omega_3''$
...	...	...
$K_{z_i}$	$\omega_i'$	$\omega_i''$

Нормальные волны, частоты и волновые числа которых принадлежат одной ветви многозначной функции  $\omega = \omega(K_z)$ , относятся к одной нормальной *мод* системы (или просто к *мод*е). В табл. 6.1 волны первой группы — это одна мода ( $K_{z_i}, \omega_i'$ ), а волны второй группы — другая мода ( $K_{z_i}, \omega_i''$ ). Таким образом, мода — это не одна волна, а набор (группа) волн с присущей этому набору зависимостью частоты от волнового числа.

Моды колебаний различаются амплитудными и поляризационными структурами полей, либо физической природой колебаний.

Ярким примером многомодовой системы является плазма: в ней среди нормальных могут одновременно существовать поперечные электромагнитные



волны, волны разделения зарядов (лэнгмюровские волны) и волны плотности ионов («ионный звук»), т. е. электромагнитные, лэнгмюровские и ионно-звуковые моды, у каждой из которых своя зависимость между частотой и волновым числом.

В волоконном световоде, который является волноводной системой, имеющей резкие поперечные границы и небольшие (по сравнению с длиной световых волн) поперечные размеры, набор нормальных (собственных) мод становится дискретным, а поля этих мод локализованы в поперечных сечениях оптоволокна отражающими границами или эффектами полного внутреннего отражения.

Поэтому, когда мы посылаем в световод световые импульсы на длинах волн  $\lambda < 2a_1$ , т. е. цуги (волновые пакеты) электромагнитных волн с разными частотами и распределениями амплитуд, т. е. электромагнитные волны разных мод, то на выходе световода мы получаем иной модовый состав волн, поскольку в световоде распространяются только моды, аналогичные его нормальным (собственным), а остальные быстро затухают. Именно поэтому на выходе световода мы имеем иной цуг волн и, следовательно, иной по форме, амплитуде и длительности световой импульс.

Световоды, по которым могут (практически без существенных потерь) распространяться многочисленные моды световых волн, называются многомодовыми волоконными световодами. При этом число собственных мод световода составляет  $500 \div 1000$ .

Ограничив поперечный размер сердцевины световода условием  $\lambda \approx a_1$ , уменьшаем число собственных мод световода (вплоть до одной) и получаем т. н. «одномодовый» световод.

По отношению к модовому составу падающего на него света световод ведет себя, таким образом, как «модовое» сито: часть мод, соответствующих его нормальным, он пропускает, а моды, не соответствующие его нормальным, в нем затухают и не появляются на его выходе.

Таким образом, слово «мода» в теории электромагнитных волн вполне совпадает по смыслу со словом «мода», например, в одежде. Если есть в городе такая мода — мужской костюм «тройка», то к этой моде мы отнесем бесчисленное количество всех костюмов, удовлетворяющих двум условиям: а) мужской и б) из трех предметов. Также и в оптоволокне, к моде отнесем бесчисленное количество электромагнитных волн, удовлетворяющих одному условию: у них у всех одна и та же зависимость между частотой и волновым числом:  $\omega = \omega(K_z)$ .

Необходимо четко представлять себе, что одна мода — это ни в коем случае не одна единственная монохроматическая электромагнитная волна. Единственная монохроматическая волна, это — математическая абстракция: она нигде не началась и нигде не заканчивается; в природе таких волн нет. Даже в одномодовом лазерном пучке света мы имеем дело с бесчисленным количеством электромагнитных волн с различными частотами, фазами и амплитудами, хотя и охватывают эти параметры достаточно узкий диапазон значений. Предпринимаемые иногда в технической литературе попытки представлять моды лучами (для облегчения

понимания процессов в оптоволокне) также непродуктивны, поскольку волновые и лучевые понятия несовместимы.

К модам нормальных (собственных) электромагнитных волн световода мы еще вернемся далее при изучении передаточных характеристик волоконно-оптических линий связи.

### 6.1.6. Профили показателя преломления оптоволокон

В оптоволоконных линиях связи наибольшее распространение получили оптоволоконные световоды, имеющие ступенчатое и плавное распределение показателя преломления по диаметру их поперечного сечения. На рис. 6.3 представлен профиль показателя преломления  $n$  т. н. «ступенчатого», а на рис. 6.4 — «градиентного» оптоволоконна.

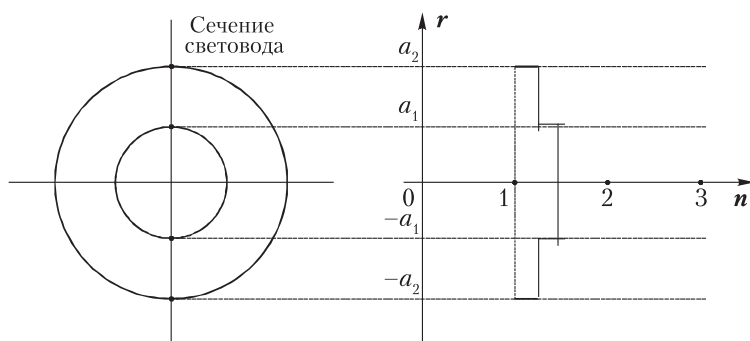


Рис. 6.3. Профиль показателя преломления  $n(r)$  ступенчатого световода ( $r$  — радиус световода)

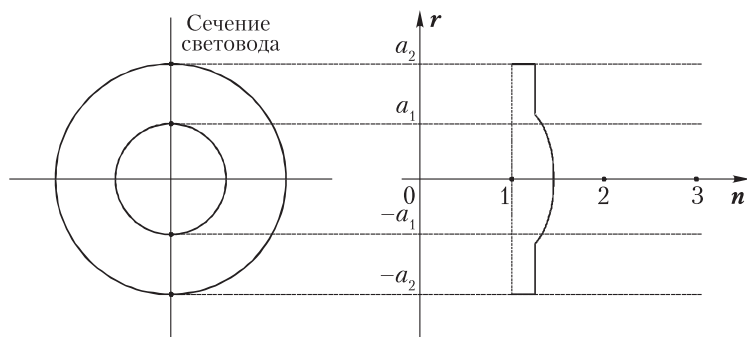


Рис. 6.4. Профиль показателя преломления  $n(r)$  градиентного световода ( $r$  — радиус световода)

Показатель преломления стекла, использующегося для изготовления световодов близок к значениям 1,5 и разница между показателем преломления сердцевины и оболочки невелика — порядка  $0,02 \div 0,03$  [31]. Многомодовые градиентные оптоволоконна обладают лучшими, по сравнению со ступенчатыми, оптическими характеристиками и сегодня являются предпочтительными при изготовлении многомодовых волоконно-оптических кабелей.

Иногда изготавливают оптоволоконна и с более сложными профилями показателя преломления (например, с  $W$  — образным), но в технике связи широкого распространения они не получили.

Изучение свойств световодов, с целью улучшения их передаточных характеристик и удешевления, продолжается, исследуются различные материалы (например, пластмассы) и профили; технология производства также совершенствуется.

Профиль показателя преломления является одной из важнейших характеристик оптоволоконна, он влияет на распространение мод в оптоволоконне, а также определяет число нормальных мод в нем и, в конечном счете, определяет его передаточные характеристики.

Получение нужного профиля осуществляется технологически при производстве оптоволоконна. Процесс производства оптоволокон кратко описан ниже.

### **6.1.7. Изготовление оптоволокон и их технологические параметры**

Технология изготовления оптоволокон — это сложный процесс, объединяющий в себе многие современные достижения в области химии стекол и пластмасс, оптики и лазеров, методов измерений и т. д. Здесь дадим только общее представление об изготовлении оптоволоконна, более подробные сведения можно найти в [31, 32].

При производстве оптоволоконна необходимо решить как чисто оптические задачи: добиться исключительной чистоты стекла и сформировать необходимое распределение показателя преломления по сечению световода, так и технологические: добиться его нужной прочности и защиты от внешних факторов.

Методы получения оптоволоконна разделяются на две большие группы: методы осаждения на стекло материалов, которые меняют его показатель преломления а) из жидкой и б) из газовой фазы.

В первой группе методов применялись два коаксиальных тигля, заполненных материалами сердцевины (центральный) и оболочки (наружный), из которых, при их нагревании и плавлении в них исходных материалов, вытягивали готовое оптоволоконно.

Методы осаждения из газовой фазы обеспечили получение оптоволокон высшего качества. В одном из них, например, они реализуются вдуванием внутрь разогретой (сделанной из чистого плавленого кварца) трубки паров  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{GeCl}_4$ ,  $\text{PoCl}_4$  и других легирующих примесей и последующим превращением этой трубки в стержень диаметром  $\approx 5$  мм, который представляет собой уже заготовку, содержащую сердцевину и оболочку. На окончательной стадии из этой заготовки

вытягивают оптоволокно и затем покрывают его защитными покрытиями (буферными оболочками).

В результате сечение готового оптоволоконна (например, используемого во внутриобъектовых волоконно-оптических кабелях) имеет вид, приведенный на рис. 6.5

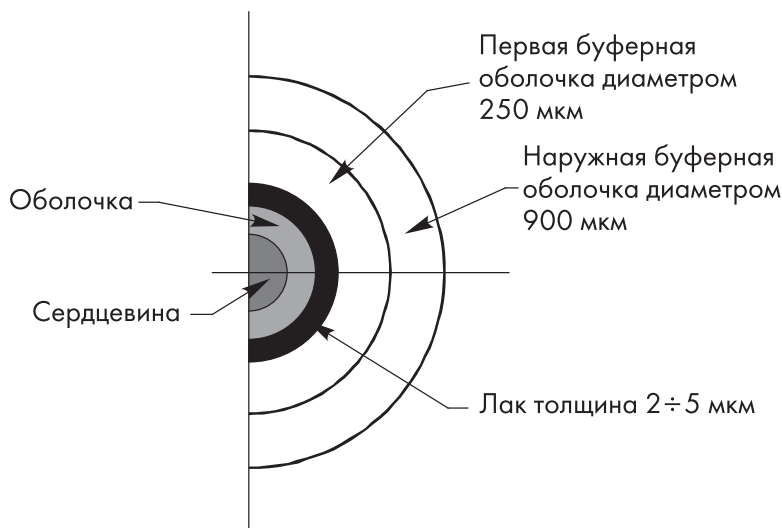


Рис. 6.5. Сечение оптоволоконна в кабеле внутриобъектовой прокладки

В англоязычной технической литературе для слоев, указанных на рис. 6.5, используются следующие термины:

- сердцевина — core;
- оболочка — cladding;
- первая буферная оболочка — coating;
- наружная буферная оболочка — buffer.

В кабелях внешней прокладки буферная оболочка диаметром 0,9 мм у оптоволоконна отсутствует, т. к. здесь не требуется повышенной прочности, поскольку механическая защита оптоволоконна обеспечивается другими конструктивными элементами кабеля (например, полиэтиленовыми трубками).

Технологические параметры оптоволоконна — это результат компромисса между оптическими требованиями и требованиями его механической прочности. Чтобы увеличить прочность, выгодно увеличивать диаметр оптоволоконна, но тогда снижается его гибкость и растут оптические потери. Для наружного диаметра оптоволоконна оптимальной оказалась величина 125 мкм, положенная в основу стандартного размера оптоволокон для связи.

Из условий оптимального затухания получено оптимальное отношение  $a_2/a_1 \approx 2 \div 2,5$ , которое сразу приводит к диаметру сердцевины  $2a_1 = 50 \div 62,5$  мкм, также являющемуся стандартным для многомодовых оптоволокон. Для одномодовых оптоволокон (в целях унификации) диаметр внешней оболочки оставлен стандартным, 125 мкм, а диаметр сердцевины, как правило, составляет 8–10 мкм.

Краткие сведения о волоконно-оптических световодах, изложенные выше, позволяют перейти к рассмотрению параметров оптоволокон, определяющих качество волоконно-оптических линий связи.

## 6.2. Параметры оптоволокон

### 6.2.1. Влияние параметров оптоволоконна на качество линий связи

Параметры оптоволокон определяют, в конечном итоге, предельно достижимые характеристики волоконно-оптических линий связи. При передаче сигналов по линии всегда решаются две основные задачи:

- передать сигнал с минимальным затуханием (или передать возможно большую мощность);
- передать сигнал с минимальными искажениями.

В электрических линиях первая задача решается улучшением свойств проводника и изоляции симметричного кабеля, т. е. в идеале должно быть  $r_0=0$ ,  $g_0=0$ , где  $r_0$ ,  $g_0$  — погонные сопротивление и проводимость изоляции проводников линии, и тогда имеем дело с т. н. «линией без потерь».

Вторая задача решается таким подбором характеристик кабеля, чтобы  $r_0/g_0 = L_0/C_0$  во всей полосе частот сигнала, где  $L_0$ ,  $C_0$  — погонные индуктивность и емкость кабеля, соответственно. Тогда волновое сопротивление линии не зависит от частоты и в определенной (достаточно широкой) полосе частот искажения сигнала отсутствуют (т. н. «линия без искажений»).

Как же решаются эти две задачи в волоконно-оптических линиях? Что конкретно нужно делать, чтобы уменьшить затухание и искажения сигнала? Какие параметры самого оптоволоконна влияют на затухание и искажение сигналов?

Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо рассмотреть явления, происходящие в волоконных световодах при передаче по ним света, и те параметры оптоволокон, которые непосредственно определяют затухание и искажение световых импульсов.

### 6.2.2. Числовая апертура оптоволокон

Одним из важных параметров световода является его апертура (лат. *apertura* — отверстие). Этот параметр иногда выражают в единицах угла и тог-

да говорят «угловая апертура», а иногда имеют ввиду синус угла и тогда говорят «числовая апертура». Чтобы пояснить этот термин, обратимся к рис. 6.6.

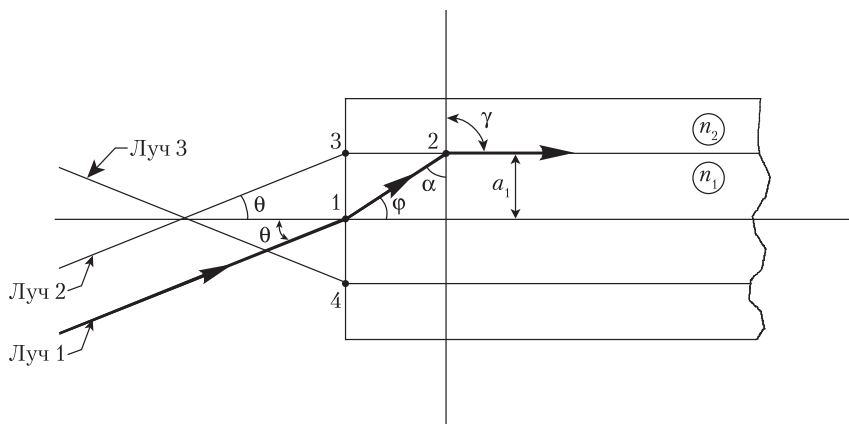


Рис. 6.6. К определению апертуры оптоволокна

Будем использовать лучевой язык. Предположим, что на плоский торец световода, плоскость которого перпендикулярна к оси световода, в центр сердцевинки падает луч 1, для которого в световоде выполняются условия полного внутреннего отражения. Поставим себе задачу выразить угол падения  $\theta$  этого луча на торец световода через известные параметры оптоволокна, а именно через показатели преломления сердцевинки  $n_1$  и оболочки  $n_2$ .

Для падения луча из воздуха в стекло сердцевинки справедлив закон Снелла:

$$n_b \times \sin \theta = n_1 \times \sin \varphi, \quad (6-4)$$

где  $n_b$  — показатель преломления воздуха, равный 1 (если среда — не воздух, то это ее показатель преломления),  $n_1$  — показатель преломления сердцевинки.

Очевидно, что  $\sin \varphi = \cos \alpha$  (в прямоугольном треугольнике). При  $n_b = 1$  имеем:

$$\sin \theta = n_1 \sin \varphi = n_1 \cos \alpha \quad (6-5)$$

Чтобы определить  $\cos \alpha$  заметим, что в точке 2 тоже происходит преломление луча и выполняются условия полного внутреннего отражения:

$$\begin{aligned} n_1 \sin \alpha &= n_2 \sin \gamma \\ \sin \gamma &= 1 \\ \sin \alpha &= \frac{n_2}{n_1} \end{aligned} \quad (6-6)$$

Зная из (6-6) значение  $\sin\alpha$  и вспоминая, что  $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$ , выражаем  $\cos\alpha$  через  $n_1$  и  $n_2$ :

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 + \cos^2\alpha = 1$$

$$\cos\alpha = \sqrt{1 - \frac{n_2^2}{n_1^2}} = \frac{1}{n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (6-7)$$

Положив  $n_1 - n_2 = \Delta n$  и  $(n_1 + n_2)/2 = n_{cp}$  из (6-7) получаем:

$$\cos\alpha = \frac{1}{n_1} \sqrt{2\Delta n \times n_{cp}} \quad (6-8)$$

Подставив (6-8) в (6-5) имеем:

$$\sin\theta = \sqrt{2\Delta n \times n_{cp}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (6-9)$$

Выражение (6-9) показывает, что угол падения луча  $\theta$  на торец световода, при котором начинают выполняться условия полного внутреннего отражения, зависит только от значений  $n_1$  и  $n_2$ . Величина  $\sin\theta$  называется *числовой апертурой* и обозначается NA (от англ. Numerical Aperture), а величина  $2\theta$  называется *угловой апертурой* волоконного световода. Кстати, обозначение одной величины двумя буквами — не очень удачно, особенно в формулах, лучше было бы обозначать числовую апертуру символом  $N_N$ , но обозначение NA уже «прижилось» и широко используется в технической литературе.

На рис. 6.6 видно, что если параллельно лучу 1 провести луч 2 в точку 3, и луч 3, симметричный лучу 2, в точку 4, то лучи 2 и 3 определяют (как образующие конуса) максимально возможный «раскрыв» для лучей, которые мы хотим передать по световоду.

Значения числовой апертуры NA лежат для световодов в пределах приблизительно  $0,2 \div 0,3$ . Это означает, что угол раскрыва конуса лучей, т. е. угловая апертура составляет 23–35 градусов, а телесные углы, из которых световод может собрать свет — невелики и составляют примерно 0,1стерадиана.

Апертура является важным параметром световодов, поскольку именно соотношение между угловыми размерами светового пучка источника света и угловой апертурой световода определяет ту часть световой мощности источника, которая будет введена в световод. По отдаленной аналогии можно сравнить апертурное согласование с переходным сопротивлением контакта двух электрических проводников. Для апертурного согласования световода с источником или приемником света используются специальные оптические согласующие устройства (см. структурную схему ВОЛС), представляющие собой систему линз или зеркал, формирующую световой пучок таким образом, чтобы его расходимость соответствовала угловой апертуре световода.

Апертурные соотношения важны и при соединении оптоволоконных коннекторов. Смещения или перекосы наконечников коннекторов относительно оптической оси оптоволокна (т. е. несогласованность по углу) приводят к увеличению потерь мощности в соединении и, следовательно, к увеличению потерь во всем тракте ВОЛС.

Наконец, отметим, что при одинаковых геометрических размерах два оптоволокна могут иметь разные апертуры и, следовательно, даже их идеальная юстировка друг относительно друга и идеальная сварка не позволят избавиться от апертурных потерь, обусловленных разными значениями их числовых апертур.

Значение числовой апертуры обязательно указывается в спецификациях волоконно-оптических кабелей при их поставке. Иногда, вместо NA, указываются показатели преломления сердцевины и оболочки и, в этом случае, числовую апертуру можно вычислить по формуле (6-9).

Заметим также, что в силу зависимости показателя преломления от длины волны, значение NA также будет различным для света с различными длинами волн.

Итак, числовая апертура оптоволокна, NA, — это его первый параметр, влияющий на потери мощности света в тракте ВОЛС. Измерения этого параметра не производятся в «полевых» условиях, но, безусловно, его значения учитываются при разработке и инсталляции волоконно-оптических линий и каналов СКС.

### 6.2.3. Виды потерь света при его передаче по ВОЛС

Направив в световод свет с интенсивностью  $I_0$ , на его выходе мы получим свет с меньшей интенсивностью  $I$ , т. е. всегда  $I < I_0$ . Под интенсивностью света понимают мощность и, соответственно, размерность этой величины — Вт (мВт, мкВт). Каковы же «каналы утечки» световой мощности, чем объясняются потери света при его передаче по оптоволоконной линии?

На рис. 6.7 условно показаны виды потерь интенсивности света в оптоволокне. Рассмотрим их по отдельности.

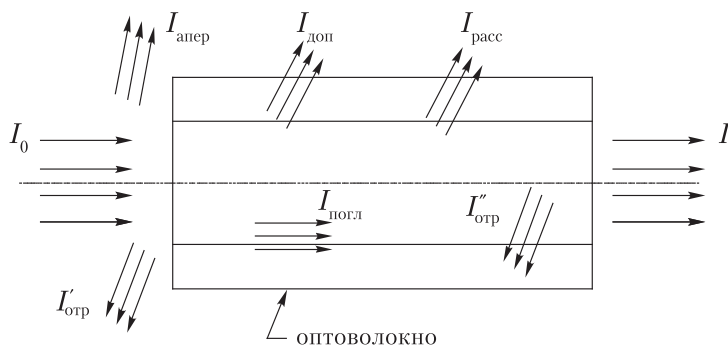


Рис. 6.7. Виды потерь интенсивности света в оптоволокне



Во-первых, часть света  $I_{\text{аперт}}$  теряется из-за апертурной несогласованности источника света и световода (или из-за апертурной несогласованности волокон, соединяемых в линию).

Во-вторых, на границах среда-оптоволокно ( $I'_{\text{отр}}$ ) и оптоволокно-среда ( $I''_{\text{отр}}$ ) всегда имеется отражение света, т. к. всегда на них имеется скачок показателя преломления.

В-третьих, в любой среде, даже однородной, всегда происходит рассеяние света ( $I_{\text{расс}}$ ), т. е. изменение направления его распространения.

В-четвертых, свет взаимодействует со средой и часть его мощности ( $I_{\text{погл}}$ ) безвозвратно уходит в конечном итоге на нагревание оптоволокна.

И, наконец, в-пятых, существуют т. н. «кабельные» или дополнительные потери ( $I_{\text{доп}}$ ), обусловленные деформациями оптоволокна, буферными покрытиями, и т. п., т. е. факторами, существующими при производстве и эксплуатации оптоволокна.

При создании оптоволоконной линии, естественно, стремятся к уменьшению потерь света всех видов. При этом апертурные потери минимизируют апертурным согласованием. Потери на отражение снижают, используя явление иммерсии, когда источник света и торец оптоволокна погружают в вещество (гель), имеющее показатель преломления, близкий к показателю преломления сердцевины оптоволокна. Отражение также можно уменьшить «просветлением», нанося на поверхность стекла слой, например, металла, такой толщины, что в определенном интервале длин волн отражение будет отсутствовать (просветление фотообъективов). Оптические коннекторы при соединении иногда смазывают иммерсионным гелем, а оптоволокна — при сращивании помещают в гильзу, наполненную им.

Кабельные потери уменьшают, совершенствуя технологию производства кабелей и выполняя монтаж кабелей так, чтобы механические нагрузки (растяжение, сжатие, изгиб, скручивание) были минимальными.

Что касается потерь на рассеяние и поглощение, то для понимания этих причин ослабления света необходимо кратко рассмотреть физические механизмы этих явлений.

#### 6.2.4. Рассеяние и поглощение света в оптоволокне

При прохождении света в веществе мы сталкиваемся с распространением электромагнитных волн в системе, состоящей из микрочастиц (электроны, атомы, молекулы) и макрочастиц (примеси, мелкие и крупные частицы других веществ). При этом неизбежно взаимодействие этих частиц с полем волны, поскольку микрочастицы обладают зарядом и, оказавшись в поле волны, они, в соответствии с законами электродинамики, начинают двигаться иначе, чем в ее отсутствие. Двигаясь в поле волны, забирая таким образом у нее энергию на свое движение, они начинают, также по законам электродинамики, излучать электромагнитные волны, направление которых может и не совпадать с направлением упавшей на них волны, а длины этих волн также могут отличаться от длины упавшей на частицы волны.

Таким образом появляется свет на направлениях, по которым мы его не посылали, в том числе, и на направлении «назад». То есть, возникает *рассеянный* свет, а часть энергии падающей волны, безвозвратно потраченная на перемещение частиц, и есть поглощенная энергия, т. е. *поглощенный* свет. Существенно, что при рассеянии могут меняться пространственные, частотные и поляризационные характеристики света.

Количественно рассеяние света характеризуют дифференциальным сечением рассеяния  $d\sigma$ , выражая его соотношением:

$$d\sigma = \frac{dI_{\Omega}}{I_0}, \quad (6-10)$$

где  $dI_{\Omega}$  — интенсивность рассеянного света в элементарном телесном угле  $d\Omega$ ;  $I_0$  — интенсивность падающего света.

Полное сечение рассеяния  $\sigma$  есть сумма всех  $d\sigma$  по всем направлениям. Оно имеет размерность площади и его можно считать «площадкой, не пропускающей свет» в направлении его первоначального распространения.

По механизмам можно рассматривать рассеяние на:

- свободных электронах (Томсоновское);
- отдельных атомах (Рэлеевское);
- отдельных молекулах;
- мелких (по сравнению с длиной волны) частицах (рассеяние Ми);
- крупных (по сравнению с длиной волны) частицах.

Все эти механизмы могут присутствовать в световоде, но в нем нет мелких и крупных частиц (чистое стекло!) и, следовательно, нет рассеяния на них. Пренебрежимо мало ( $\sigma \approx 10^{-25} \text{ см}^2$ ) и Томсоновское рассеяние. Основным механизмом рассеяния в волоконных световодах является рассеяние на атомах, при котором

$$\sigma \sim 1/\lambda^4 \text{ (закон Рэля)}.$$

Рассеянием на молекулах также можно пренебречь, поскольку сечение рассеяния на молекулах составляет миллионные доли от Рэлеевского сечения.

Необходимо подчеркнуть, что рассеяние света в оптоволокне, несмотря на его исключительную чистоту, неизбежно: свет всегда рассеивается в любой материальной среде. Даже в абсолютно чистом, однородном и изотропном стекле рассеяние света всегда присутствует, поскольку стекло находится при ненулевой температуре, и в нем всегда существуют термодинамические флуктуации плотности, которые и обуславливают рассеяние света. Встречающиеся иногда в технической литературе представления, что причиной рассеяния света в оптоволокне является наличие в нем механических примесных частиц, весьма некорректны.

Для количественных расчетов рассеяния света в веществе вводят натуральный показатель рассеяния  $\alpha_{\text{расс}}$ :

$$I = I_0 \times e^{-\alpha_{\text{расс}} \times l}, \quad (6-11)$$

где  $I_0$ ,  $I$  — интенсивности упавшего на слой и прошедшего слой света, соответственно;  $l$  — толщина слоя вещества.

Поглощение света в веществе, обусловленное, по сути, теми же механизмами взаимодействия микрочастиц с полем электромагнитных волн, отличается значительными резонансными эффектами, возникающими при совпадении частот падающих волн с частотами собственных колебаний атомов и молекул.

Количественно поглощение света описывается эмпирической формулой (закон Бугера-Ламберта-Бера):

$$I = I_0 \times e^{-\alpha_{\text{погл}} \times l}, \quad (6-12)$$

где  $\alpha_{\text{погл}}$  — натуральный показатель поглощения;  $I_0$ ,  $I$  — интенсивность падающего и прошедшего слой вещества света, соответственно;  $l$  — толщина слоя.

Спектр поглощения, т. е. зависимость  $\alpha_{\text{погл}}$  от длины волны, различен для изолированных атомов, молекул и этих же частиц в твердом теле: спектр поглощения изолированных атомов имеет вид узких линий шириной  $10^{-5} \div 10^{-6}$  мкм, молекул — полос шириной  $10^{-3} \div 10^{-4}$  мкм, а в твердом теле спектр поглощения — это полосы шириной  $\approx 10^{-1} \div 1,0$  мкм. Именно последний и характерен для световодов (твердое тело: стекло), где жесткие связи микрочастиц между собой приводят к быстрой передаче энергии света, поглощенной одной частицей, всему коллективу частиц.

Таким образом, потери света в оптоволокне за счет поглощения и рассеяния также неизбежны, как джоулевы потери в электрических проводниках.

Одновременные потери света в световодах за счет рассеяния и поглощения называются экстинкцией света (от лат. *extinctio* — гашение). Количественно суммарные потери можно выразить соотношением:

$$I = I_0 \times e^{-(\alpha_{\text{расс}} + \alpha_{\text{погл}}) \times l} \quad (6-13)$$

Обозначая  $\alpha_{\text{расс}} + \alpha_{\text{погл}} = \alpha$ , перепишем (2-13) в виде:

$$I = I_0 \times e^{-\alpha l}, \quad (6-14)$$

где  $\alpha$  — натуральный показатель экстинкции.

Выражение (6-14) используют для того, чтобы описывать важный параметр световода: *затухание*  $A$  (англ. *Attenuation*).

Затухание конкретного световода можно охарактеризовать, зная его показатель экстинкции  $\alpha$  и длину  $l$ : для этого достаточно подставить их значения в (6-14) и вычислить его коэффициент передачи  $k$ :

$$k = \frac{I_0}{I} = e^{-\alpha l}$$

На практике удобнее характеризовать затухание световода логарифмическими единицами отношения  $I/I_0$  и нормировать это отношение на длину световода.

Логарифмической единицей отношения двух величин является 1 Бел, т. е. отношение двух величин тогда равно 1 Белу, когда десятичный логарифм их отношения равен 1.

Чаще используют десятые доли Бела, обозначая их дБ. Для ориентировки в табл. 6.2 приведены отношения двух величин  $P_1$  и  $P_2$ , выраженные в обычных единицах, в Белах и в дециБелах.

**Таблица 6.2.** Отношения двух величин  $P_1$  и  $P_2$  в обычных и логарифмических единицах

$P_1/P_2$	$\lg(P_1/P_2)$ , Б	$\lg(P_1/P_2)$ , дБ
0,001	-3	-30
0,01	-2	-20
0,1	-1	-10
~0,1259	-0,9	-9
~0,1585	-0,8	-8
~0,1995	-0,7	-7
~0,2512	-0,6	-6
~0,3162	-0,5	-5
~0,3981	-0,4	-4
~0,5012	-0,3	-3
~0,6310	-0,2	-3
~0,7943	-0,1	-2
1	0	0
~1,2589	0,1	1
~1,5849	0,2	2
~1,9953	0,3	3
~2,5119	0,4	4
~3,1623	0,5	5
~3,9811	0,6	6
~5,0119	0,7	7
~6,3096	0,8	8
~7,9433	0,9	9
10	1	10
100	2	20
1000	3	30

Теперь, если мы послали в отрезок световода световую мощность  $P_2$  и на его выходе получили меньшую световую мощность  $P_1$ , такую, что  $P_1/P_2=0,50-12$  (см табл. 6.2), то говорим, что этот отрезок имеет затухание -3 дБ (или -0,3 Б), или говорим, что логарифмический коэффициент передачи этого отрезка равен -3 дБ.

Если мы усилили некий сигнал с мощности  $P_2$  до мощности  $P_1$ , так, что  $P_1/P_2 = 1,9953$  (в два раза), то говорим, что усиление составило +3 дБ (или +0,3 Б).

Логарифмические единицы очень удобны, т. к. при определении затухания цепочки световодов или усиления цепочки усилителей логарифмические коэффициенты передачи звеньев цепочки просто складываются (поскольку логарифм произведения равен сумме логарифмов сомножителей).

Теперь определим коэффициент передачи (коэффициент затухания) световода длиной 1 км как отношение (в логарифмических единицах) прошедшей интенсивности света к упавшей на него, воспользовавшись формулой (6-14):

$$k = \frac{I_0}{I} = e^{-\alpha l} \quad (6-15)$$

Прологарифмируем и умножим на 10 обе части равенства (6-15):

$$10 \lg \frac{I_0}{I} = -\alpha \times l \times \lg e \quad (6-16)$$

Обратим внимание на то, что левая часть (6-16) — это отношение интенсивностей, выраженное в дБ, т. е. коэффициент передачи световода в логарифмических единицах. Пронормируем коэффициент затухания на длину, т. е. перенесем длину  $l$  в левую часть формулы (6-16):

$$\frac{1}{l} 10 \lg \frac{I_0}{I} = -\alpha \times 10 \lg e \quad (6-17)$$

Левая часть (6-17) и есть коэффициент затухания или просто затухание  $A$  световода длиной 1 км, выраженное в единицах дБ/км ( $l=1$  км):

$$A, \frac{\text{дБ}}{\text{км}} = \frac{1}{l} 10 \lg \frac{I_0}{I} \Big|_{l=1 \text{ км}} \quad (6-18)$$

Выражение (6-17) позволяет связать затухание световода  $A$ , дБ/км с показателем экстинкции  $\alpha$  того оптического материала, из которого он сделан (заметим, что  $A$  всегда — отрицательная величина, т. к.  $I < I_0$  и  $\lg(I/I_0) < 0$ ):

$$A = -\alpha \times 10 \lg e \quad (6-19a)$$

$$\alpha = -\frac{1}{10 \lg e} \times A$$

$$A, \frac{\text{дБ}}{\text{км}} = 4,34 \times \alpha, \frac{1}{\text{км}} \quad (6-19б)$$

$$\alpha, \frac{1}{\text{км}} = 0,23 \times A, \frac{\text{дБ}}{\text{км}}$$

Отметим, что выражения (6-19) справедливы только тогда, когда затухание определяется только экстинкцией. На практике, помимо экстинкции, как мы видели

выше, присутствуют кабельные и другие потери, поэтому выражения (6-19) можно использовать только для оценок величин  $A$  и  $\alpha$ . Реальные значения величины  $A$  для оптоволокон в кабелях получают непосредственными ее измерениями.

Зависимость затухания  $A(\lambda)$  от длины волны  $\lambda$  является немонотонной, поскольку оно определяется одновременным результатом как рассеяния, так и поглощения света, т. е. экстинкцией. С ростом длины волны эффекты рассеяния убывают, а спектр поглощения имеет резонансы, соответствующие конкретному химическому составу оптоволокна. Для кварцевого оптоволокна, чаще всего используемого в связи, области длин волн, в которых зависимость  $A(\lambda)$  имеет ярко выраженные минимумы, называются «окнами прозрачности» [32, 33]. Минимальные значения  $A_{\min}$  достигаются на длинах волн 0,85; 1,3; 1,55 мкм и, соответственно, для промышленных оптоволокон составляют 2–3; 0,4–1,0; 0,2–0,3 дБ/км.

Таким образом, специалист, создающий оптоволоконную часть СКС, для обеспечения минимальных потерь света в оптоволоконных линиях должен постараться:

- выбрать оптоволоконный кабель с минимальным затуханием на рабочей длине волны;
- выбрать оптоволокна с максимальным значением (из допускаемых стандартами на СКС) числовой апертуры;
- произвести монтаж оптоволоконных кабелей с минимальными изгибами, скрутками и натяжениями, чтобы минимизировать кабельные потери;
- выполнить оптические соединения (источник излучения — световод, коннектор — коннектор, оптоволокно — оптоволокно) с максимальным апертурным согласованием;
- использовать (если необходимо) иммерсионный гель в соединениях, чтобы снизить потери на отражение;
- соблюсти чистоту в оптических соединениях, чтобы предотвратить рассеяние и поглощение света на частичках пыли и грязи, которые невидны невооруженным глазом на торцах соединяемых волокон.

Как видим, этот «перечень мер» по снижению потерь в оптической линии весьма специфичен: эти меры существенно отличаются от мер, принимаемых с аналогичной целью в электрических линиях.

Не менее специфично решается в ВОЛС и вторая задача: обеспечение минимальных искажений сигнала. Вопросы искажений сигнала и широкополосности ВОЛС обсуждаются в следующих параграфах.

### 6.2.5. Световой импульс

Что мы посылаем в световод, когда подаем на его торец выходной сигнал, например, от сетевой оптической карточки компьютера? Ответ очевиден: мы посылаем в световод световые импульсы, соответствующие закодированной информации.

Под световым импульсом понимается зависимость интенсивности света  $I$  от времени  $T$  изображенная на рис. 6.8.

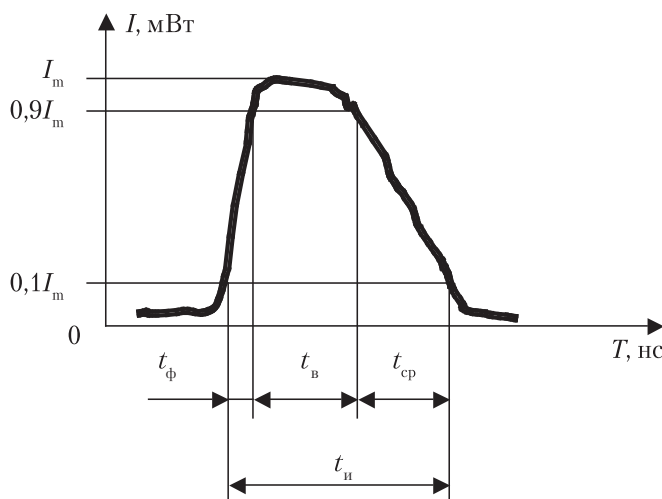


Рис. 6.8. Параметры импульса света

Напомним, что интенсивность света (мощность) пропорциональна квадрату напряженности поля электромагнитной волны:  $I \sim E^2$  и все фотодиоды, используемые в волоконно-оптических системах в качестве приемников излучения, вырабатывают ток, пропорциональный именно интенсивности света. В этом состоит одно из отличий этой техники, например, от длинноволновой радиотехники, где ток на выходе детектора пропорционален напряженности поля, а не интенсивности.

Для описания импульсных величин используют следующие параметры (см. рис. 6.8):

- $t_i$  — длительность импульса, определяемая по уровню  $0,1 I_m$  от максимальной интенсивности  $I_m$  за время импульса;
- $t_\phi$  — длительность фронта импульса, определяемая по уровням  $0,1 I_m$  и  $0,9 I_m$ ;
- $t_v$  — длительность вершины импульса, определяемая по уровню  $0,9 I_m$ ;
- $t_{ср}$  — длительность среза импульса, определяемая по уровням  $0,1 I_m$  и  $0,9 I_m$ .

При передаче светового импульса по оптоволокну мы хотим передать его без искажений формы, т. е. хотим, чтобы все его параметры, а именно  $I_m$ ,  $t_i$ ,  $t_\phi$ ,  $t_v$ ,  $t_{ср}$  остались без изменений. Естественно, в силу различных причин, нам это не удастся и на выходе оптоволокну мы получаем искаженный по форме импульс. Наша задача состоит в том, чтобы понять, какие же свойства и характеристики

оптоволоконна влияют на искажения формы световых импульсов. Прежде всего нужно уточнить следующее.

Во-первых, мы подаем в оптоволоконно свет с определенными длинами волн, сосредоточенными в конкретном интервале значений (т. е. источник возбуждения световода генерирует электромагнитные волны в определенной полосе частот).

Во-вторых, импульс света имеет начало и конец, т. е. имеет определенную длительность.

В-третьих, «включение» и «выключение» света происходит не мгновенно, т. е. длительности фронта и спада светового импульса не равны нулю, а имеют конкретное значение.

Все это означает, что на входе световода мы (каким-либо методом модуляции) сформировали т. н. *радиоимпульс*. Для примера, если мы использовали источник света с длиной волны 0,85 мкм и длительность нашего импульса равнялась 1 нс, то мы на несущей частоте около 350 ТГц передаем сигнал, занимающий полосу частот шириной примерно 2 ГГц. Это значит, что световой импульс представляет собой набор гармонических волн, или «*волновой пакет*», или «*цуг*» волн. Каждая из этих волн имеет свою частоту и свои характеристики (например, свое распределение электрического поля по фронту волны). Кроме того, этот цуг волн имеет свои пространственные и «временные» размеры. «Временные» размеры — это длительность импульса, пространственные — это длина цуга волн в пространстве в направлении его распространения. Взятый нами для примера импульс длительностью 1 нс занимает в воздухе пространство  $t_{\text{и}} \times c = 30$  см. Здесь  $t_{\text{и}} = 10^{-9}$  с — его длительность, а  $c = 3 \times 10^{10}$  см/с — скорость электромагнитных волн в воздухе, она одинакова в воздухе для всех волн цуга.

Таким образом, подавая световой импульс в световод, мы как бы «вдвигаем» в него некий электромагнитный сгусток длиной 30 см, состоящий из бесконечно большого количества гармонических волн, частотный и модовый состав которых сформирован источником света. Отдельные волны в цуге могут иметь различную поляризацию, частоту, распределение полей и т. п.

Если бы световод не взаимодействовал с цугом волн (или взаимодействовал, но с каждой волной цуга одинаково), то на выходе световода мы бы имели тот же набор волн, ту же их суперпозицию, т. е. тот же радиоимпульс или световой импульс, а, следовательно, передали бы сигнал без искажений. Такому «идиллическому» случаю препятствует явление дисперсии электромагнитных волн в световоде, т. е. зависимость их фазовой скорости в световоде (и других их характеристик: амплитуды, поляризации, распределения полей и т. п.) от их частоты. Рассмотрим эти явления в световоде подробнее.

### 6.2.6. Дисперсия световых волн в оптоволоконне и искажения формы светового импульса

Для описания искажений сигнала в ВОЛС необходимо ввести понятие *дисперсии электромагнитных волн*.



Слово «дисперсия» происходит от латинского «dispergo», что означает рассеивать, развеивать, разгонять. Поэтому, когда говорят о дисперсии, то имеют в виду распределение какой-либо физической величины по какой-либо другой физической величине. Например, дисперсия частиц по их размерам, дисперсия погрешностей измерения по их размеру. Отсюда и «мелкодисперсный» порошок и «случайные погрешности с небольшой дисперсией» и т. п.

В этом же смысле говорят и о дисперсии электромагнитных волн, подразумевая разброс каких-либо их параметров по какой-либо физической величине. Какие же именно величины имеются в виду? Дисперсия электромагнитных гармонических волн — это разброс их фазовых скоростей по частоте. Выше мы уже говорили о модах нормальных волн в световодах и определили фазовую скорость волны как  $V_{\phi} = \omega/k$ , где  $\omega$  — частота и  $k$  — волновое число, равное  $2\pi/\lambda$  ( $\lambda$  — длина волны в среде). Главное, что в световоде, как мы уже установили, во-первых, собственные (нормальные) волны обладают дисперсией, т. е. имеется некоторая зависимость  $\omega = \omega(k)$ , и, во-вторых, в световоде эта зависимость является неоднозначной, т. е. нормальные волны разбиваются на группы (моды), такие, что внутри группы  $N$  (моды  $N$ ) все волны имеют одинаковую зависимость частоты  $\omega$  от волнового числа  $k$ .

Именно явление дисперсии электромагнитных (световых) волн совместно с их затуханием и определяет процесс распространения светового сигнала по световоду, т. е. его конечные амплитудно-частотные искажения на выходе ВОЛС.

Чтобы пояснить, каким образом можно минимизировать искажения сигналов в волоконно-оптических линиях СКС (т. е. решить вторую «связную» задачу), необходимо рассмотреть явление дисперсии электромагнитных волн и ее виды более подробно.

Прежде всего, рассмотрим явление материальной дисперсии.

При распространении цуга волн в световоде мы имеем дело с распространением света в среде, характеризуемой присущими ей параметрами: показателем преломления  $n$ , показателем поглощения  $\alpha_{\text{погл}}$  и показателем рассеяния  $\alpha_{\text{расс}}$ . Световод может быть сделан из разного материала: стекла, полимера, жидкости и т. д. Свойства этого материала и определяют дисперсию электромагнитных волн при их распространении в нем. Каждая волна исходного цуга будет распространяться в материале со своей фазовой скоростью  $V_{\phi i} = c/n_i$ , где  $n_i$  — показатель преломления для волны с частотой  $\omega_i$ , а ее амплитудные характеристики будут определяться соответствующими показателями поглощения  $\alpha_{i\text{погл}}$  и рассеяния  $\alpha_{i\text{расс}}$ . Это значит, что к противоположному концу световода все волны, составлявшие цуг, «прибудут» в разное время и с различными амплитудными (и иными) характеристиками. Ясно, что результат суперпозиции таких волн не будет похож на результат суперпозиции исходных. Произойдет дисперсия (разброс) электромагнитных волн по частотам, обусловленная материалом световода, т. е. *материальная дисперсия*.

Ее результатом явится искажение цуга: его «расплывание» по времени и пространству, т. е. произойдет изменение формы и длительности первоначального светового импульса, посланного в световод.

Для заметного проявления этого эффекта необходимо, чтобы длина световода существенно превышала длину цуга, иначе эти изменения будут малозаметны.

Для описания распространения цуга в световоде вводят еще одно понятие: понятие *групповой скорости*  $V_{гр}$ . Т. е. за скорость распространения всего цуга целиком принимают скорость какой-либо характерной точки исходного радиоимпульса, например, максимума интенсивности или точки перегиба фронта импульса, или точки пересечения фронта с определенным уровнем амплитудных значений и т. п.

На рис. 6.9 приведена иллюстрация «расплывания» светового импульса при его распространении в световоде, обусловленного материальной дисперсией волн, составляющих цуг.

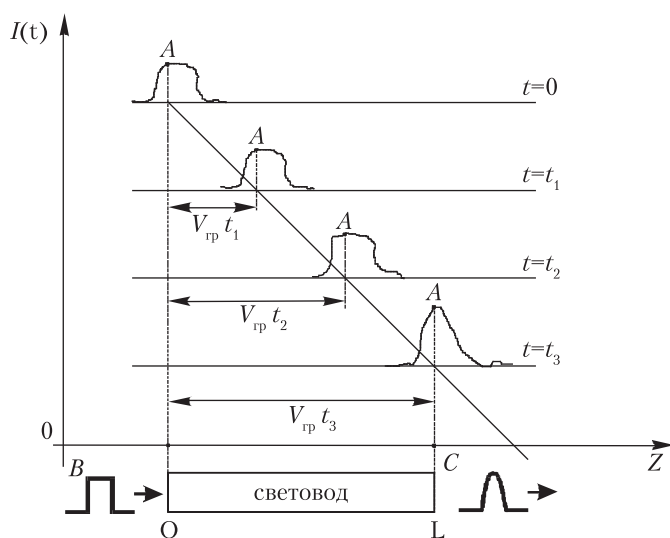


Рис. 6.9. Расплывание импульса при его распространении в оптоволокне, вызванное материальной дисперсией волн

( $L$  — длина оптоволокна, существенно превышающая длину цуга волн)

Характерная точка  $A$  импульса перемещается со скоростью, равной групповой скорости цуга и проходит расстояния, соответственно, равные  $V_{гр} t_1$ ,  $V_{гр} t_2$ ,  $V_{гр} t_3$ . Скорости гармонических волн, составляющих цуг, все — разные; изменения их амплитуд, обусловленные экстинкцией, тоже разные, поэтому результаты суперпозиции волн в моменты времени  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  и на различных расстояниях от начала

световода — тоже разные. Поэтому форма и длительность импульса  $C$  на выходе световода, хотя и соответствуют в какой-то мере исходным в импульсе  $B$  на входе световода, но заметно отличаются от них.

При описании материальной дисперсии электромагнитных волн в световоде мы сознательно умолчали о его поперечных размерах, об их соотношении с длиной волны света. Теперь допустим, что диаметр его сердцевины близок к длине волны света, т. е. что световод будет одномодовым, т. е. его собственные (нормальные) гармонические волны, которые могут в нем распространяться, относятся к одной моде. Это означает, что зависимость  $\omega = \omega(k_z)$  существует в нем, но однозначна (одна мода). Еще, для простоты картины, допустим, что световод изготовлен из материала, у которого отсутствуют зависимости показателей преломления и экстинкции от длины волны, т. е. допустим, что отсутствует материальная дисперсия. Теперь зададим себе вопрос: произойдут ли искажения светового импульса, если мы его направим в такой световод и будем регистрировать световой импульс на выходе?

Ответ однозначен: произойдут. Во-первых, световод «отберет» из всего входного цуга только те гармонические волны, которые соответствуют волнам его моды (волны других мод не могут в нем существовать, они быстро затухают). Во-вторых, «разрешив» этим волнам распространяться, световод «назначит» каждой из них свою фазовую скорость в соответствии с действующим в нем однозначным правилом: дисперсионным уравнением  $\omega = \omega(k_z)$ . В результате произойдут искажения светового импульса, аналогичные показанным на рис. 6.9.

Описанный в этом случае механизм дисперсии носит название *волноводной дисперсии*, поскольку конкретный вид дисперсионного уравнения определяется конкретной конструкцией волновода.

Ситуацию с минимизацией искажений светового импульса в описанном примере можно улучшить: входной световой импульс (цуг волн) мы можем сформировать только из таких волн, которые соответствуют моде световода. Тогда искажения, связанные с «отбором» волн, исчезнут: все эти волны могут распространяться в световоде. Но «отменить» в световоде зависимость фазовой скорости волн одной моды от частоты мы не можем. И, следовательно, даже в одномодовом световоде неизбежны искажения формы и длительности импульсов.

Материальная и волноводная дисперсия одновременно присутствуют в оптоволокне при распространении в нем цуга, поскольку оно сделано из конкретного материала и конкретной конструкции. Оба вида дисперсии зависят от длины волны света, в связи с чем оба этих механизма дисперсии часто объединяют под названием *хроматической дисперсии*.

Наконец, рассмотрим еще один вид дисперсии волн, имеющий место в многомодовом оптоволокне и показанный на рис. 6.10.

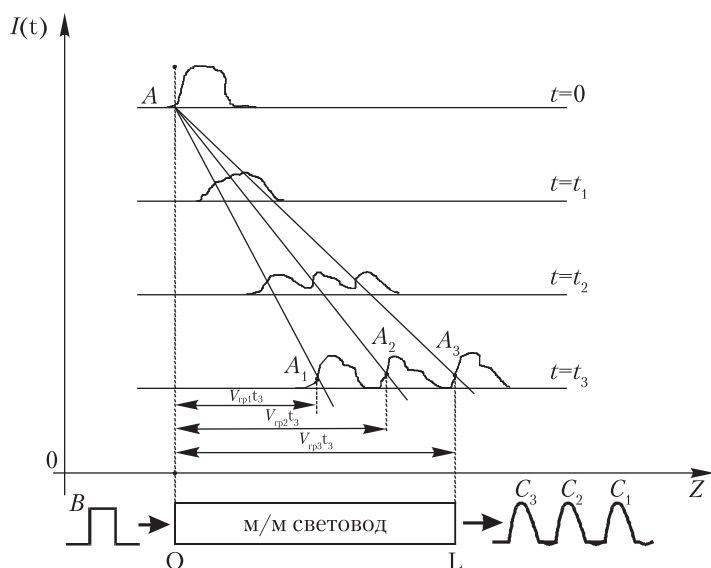


Рис. 6.10. Расплывание импульса при его распространении в многомодовом световоде, обусловленное межмодовой дисперсией

Если в световоде могут существовать собственные (нормальные) волны разных мод, то такой световод, как мы уже знаем, называется многомодовым. При этом зависимость  $\omega = \omega(k_z)$  в нем уже неоднозначна: каждой моде соответствует собственная зависимость  $\omega_i = \omega_i(k_z)$  и, следовательно, волнам каждой моды соответствуют свои фазовые и групповые скорости. По аналогии с предыдущим случаем можно сказать, что при передаче светового импульса (цуга волн) многомодовый световод сначала «отбирает» из входного цуга для передачи только те волны, которые соответствуют модам его собственных (нормальных) волн (а таких мод у него значительно больше, чем у одномодового), а затем в каждой моде «назначает» волнам фазовые скорости в соответствии с правилом  $\omega_i = \omega_i(k_z)$  (а таких правил у него столько, сколько собственных мод). В результате, одиночный световой импульс, запущенный в световод, как бы распадается на серию отдельных световых импульсов, распространяющихся с различными групповыми скоростями, соответствующими групповым скоростям нормальных мод. Такой механизм дисперсии электромагнитных волн получил название *межмодовой дисперсии*.

На рис. 6.10 из характерной точки  $A$  проведены три линии  $AA_1$ ,  $AA_2$  и  $AA_3$ , соответствующие, например, трем групповым скоростям трех различных мод. К моменту времени  $t_3$  разница пройденных этими группами волн расстояний превысила уже длину цугов этих волн, и исходный импульс  $B$ , пройдя световод, распался на три импульса  $C_3$ ,  $C_2$  и  $C_1$ .

Итак, причиной искажений формы светового импульса при его передаче по оптоволокну (наряду с затуханием), является неустранимое в любой материальной среде явление — дисперсия электромагнитных волн в среде. Она является отражением инерционности среды по отношению к волнам различной частоты. Важно также отметить, что при распространении импульса света по оптоволокну искажения его формы будут пропорциональны длине оптоволокну, поскольку фазовый набег любой волны цуга пропорционален произведению ее фазовой скорости на длину ее пути.

### 6.2.7. Коэффициент широкополосности оптоволокну

Описанные выше механизмы дисперсии электромагнитных волн присутствуют одновременно в световодах любого типа, но их вклад в итоговые искажения сигнала в ВОЛС различен.

В одномодовых световодах, из-за отсутствия большого числа мод, практически отсутствует и межмодовая дисперсия (в идеальном случае в нем распространяются волны только одной моды), и поэтому искажения определяются только материальной и волноводной дисперсиями. Волноводная и материальная дисперсии «неотделимы» друг от друга, и, как было сказано выше, их суммарный эффект объединяют и называют хроматической или *внутримодовой* дисперсией [32, стр. 149].

В многомодовых световодах эффекты, связанные с межмодовой дисперсией, превалируют над эффектами внутримодовой, в связи с чем, последней обычно можно пренебречь.

Если представить световод как линейную радиотехническую систему [34], изображенную на рис. 6.11, состоящую из двух независимых звеньев и передающую сигнал в виде импульса с длительностью фронта сигнала  $t_{\text{фS}}$ , то два независимых звена (имеющих времена нарастания переходных характеристик  $t_{\text{н1}}$  и  $t_{\text{н2}}$ ) увеличат длительность фронта выходного импульса до результирующего значения  $t_{\text{фрез}}$ , определяемого соотношением:

$$t_{\text{фрез}}^2 = t_{\text{фS}}^2 + t_{\text{н1}}^2 + t_{\text{н2}}^2 \quad (6-20)$$

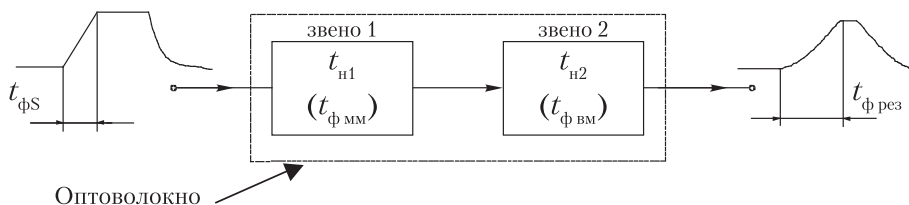


Рис. 6.11. Передача импульса линейной радиотехнической системой

Полагая, что  $t_{\phi S} = 0$  (идеальный импульс на входе) и что первое звено — это звено, искажающее импульс только за счет межмодовой дисперсии ( $t_{н1} = t_{\phi мм}$ ), а второе — за счет внутримодовой ( $t_{н2} = t_{\phi вм}$ ), из (6-20) получим:

$$t_{\phi рез} = \sqrt{t_{\phi мм}^2 + t_{\phi вм}^2} \quad (6-21)$$

Выражение (6-21) используется для определения ширины полосы пропускания световода, поскольку время нарастания переходной характеристики радиотехнической системы однозначно связано с верхней граничной частотой  $f_{вг}$  полосы ее пропускания:

$$f_{вг} = \frac{0,35}{t_{\phi рез}} \quad (6-22)$$

Измерив величину  $t_{\phi рез}$  для оптоволокна известной длины, можем по формуле (6-22) определить верхнюю граничную частоту полосы пропускания этого отрезка оптоволокна.

Поскольку влияние эффектов дисперсии тем больше, чем больше длина световода, то верхняя граничная частота полосы пропускания световода оказывается обратно пропорциональной его длине  $L$ :

$$f_{вг} = \frac{K_{шп}}{L}, \quad (6-23)$$

где  $K_{шп}$  — т. н. *коэффициент широкополосности* оптоволокна, имеющий размерность [МГц×км].

Для многомодового световода:  $t_{\phi мм} \gg t_{\phi вм}$  и тогда  $t_{\phi рез} \approx t_{\phi мм}$ , а для одномодового:  $t_{\phi мм} = 0$  и тогда  $t_{\phi рез} = t_{\phi вм}$ . Поэтому  $t_{\phi рез}$  многомодового волокна будет много больше  $t_{\phi рез}$  одномодового при одинаковой длине и, соответственно, верхняя граничная частота будет меньше, чем у одномодового (см. формулу 6-22).

Коэффициенты широкополосности современных световодов достигают следующих значений [33]:

- 0,5 ÷ 1,0 ГГц×км — для многомодовых
- 50 ÷ 100 ГГц×км — для одномодовых.

Покажем искажение формы импульса (рис. 6.12) на простом численном примере, для чего рассчитаем время нарастания фронта импульса на выходе многомодового световода длиной  $L=2$  км, имеющего коэффициент широкополосности  $K_{ш.п.}=200$  МГц×км на длине волны 0,85 мкм. Пусть источник излучения, работающий на длине волны 0,85 мкм, генерирует идеальный прямоугольный входной световой импульс, обозначенный цифрой 1 на рис. 6.12, с пренебрежимо малым временем нарастания фронта и имеющий длительность 1 нс. Какое будет время нарастания фронта импульса на выходе такого световода? Как изменится его форма?

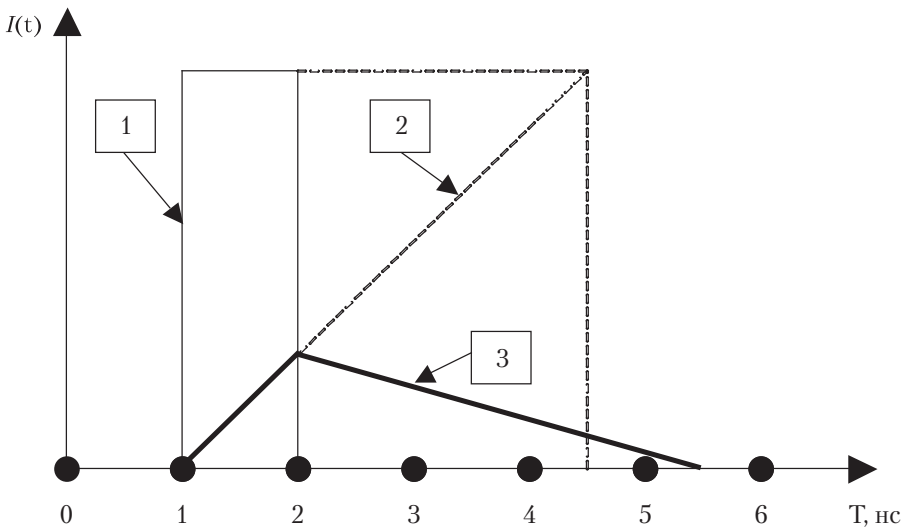


Рис. 6.12. Искажение формы светового импульса из-за ограниченной полосы пропускания оптоволокна

Из значения коэффициента широкополосности световода 200 МГц×км находим по формуле (6-23) верхнюю граничную частоту световода длиной 2 км:

$$f_{\text{вг}} = 200 \text{ МГц} \times \text{км} / 2 \text{ км} = 100 \text{ МГц}.$$

Из (6-22) получаем:  $t_{\text{фрез}} = 0,35 / 100 \text{ МГц} = 3,5 \text{ нс}$ .

Таким образом, влияние межмодовой дисперсии приводит в данном случае к тому, что время нарастания фронта импульса увеличивается до 3,5 нс.

На рис. 6.12 видно, что интенсивность света на выходе световода начинает нарастать по линии 2 с временем нарастания 3,5 нс, но по истечении 1 нс свет на входе в оптоволокно уже «выключили» и инерционная система начинает обрабатывать

этот перепад с тем же временем среза (линия 3). Результирующая форма выходного импульса, выделенная жирной линией, как видим, существенно отличается от формы входного.

Заметим также, что рис. 6.12 построен без учета затухания в оптоволокне, которое добавочно уменьшит выходную интенсивность света.

Из вышеизложенного становится ясно, что специалист, создающий оптическую линию СКС и желающий обеспечить минимальные искажения сигнала и наибольшую ширину полосы пропускаемых частот в ней, может достигнуть результата следующими действиями:

- выбором оптоволоконного кабеля с максимальными значениями коэффициента широкополосности для той длины волны, на которой предположительно будет работать активное оборудование обслуживаемых СКС систем;
- минимизацией длин оптических линий СКС, что достигается квалифицированным проектированием кабельных трасс;
- предпочтительным выбором одномодовых волоконно-оптических кабелей (а для активных систем — соответствующим выбором лазерного оборудования);
- высоким качеством монтажа оптических линий и соединений.

Итак, при создании волоконно-оптических линий в СКС необходимо учитывать три параметра оптоволокна, а именно:

- числовую апертуру  $NA$ ;
- затухание  $A$ ;
- коэффициент широкополосности  $K_{шп}$ .

Интересно заметить, что в полевых условиях при создании СКС необходимо измерять в волоконно-оптических трактах только один параметр «затухание», в отличие от линий на основе электрических кабелей.



# Глава VII

## Волоконно-оптические компоненты структурированной кабельной системы

### 7.1. Компонентный состав волоконно-оптической части структурированной кабельной системы

Компонентный состав волоконно-оптической части СКС аналогичен составу функциональных компонентов ее электрической части. В ней можно выделить следующие функциональные компоненты:

- кабели волоконно-оптические (внешней прокладки и внутриобъектовые);
- соединители оптоволокон (неразъемные и разъемные);
- распределительные устройства (всех рангов: территории, здания, этажа);
- точки консолидации.

Функциональное назначение этих компонентов СКС такое же, как и электрических, но их физическая реализация, в силу оптических особенностей, выглядит иначе.

Их специфика заключается в наличии оптоволокон в любом компоненте СКС. Прежде всего само по себе оптоволокно существенно отличается от медного проводника по своим физическим характеристикам. Наружный диаметр оптоволокон по стеклу, равный 0,125 мм, в 3–5 раз меньше наружного диаметра медного проводника. Наружный диаметр последней буферной оболочки оптоволокон, равный 0,9 мм, также меньше наружного диаметра изоляции медного проводника.

Впечатление, что оптоволокно сделано из стекла и потому непрочное, на самом деле обманчиво: предел прочности стекла «на разрыв» в 6–8 раз больше, чем у меди, и в сверхчистом стекле современных оптоволокон достигает приблизительных значений около 140 тонн/кв. см. [35]. Оптоволокно, к тому же, достаточно

надежно защищено буферными оболочками, так что с ним можно спокойно работать при монтаже муфт, оптических полок и коннекторов. Однако, как только мы освободили волокно от буферных оболочек, мы имеем дело с тонким стеклянным хрупким «волоском», который можно обломить даже мягкой бумажной салфеткой.

Используемые для защиты стеклянного волокна буферные оболочки могут плотно облегать волокно (англ. *tight buffer*), а могут иметь вид просторных для волокна трубок (англ. *loose tube*). При этом в кабелях внутриобъектовой прокладки чаще встречается плотный буфер, а в кабелях внешней прокладки — не плотно прилегающий. Конкретный вид защиты оптоволокон выбирается производителем кабеля из конкретных условий будущей его эксплуатации. Буферные оболочки оптоволокон окрашиваются в разные цвета, но, в отличие от витых пар, здесь нет особой системы: цвет волокон используется лишь для идентификации волокна на обоих концах кабеля.

Присутствие оптоволокон предъявляет к любому из функциональных компонентов СКС требования, связанные как с защитой оптоволокон от внешних воздействий, так и с обеспечением нужных оптических характеристик этого компонента. Ниже представлено краткое описание волоконно-оптических кабелей, соединителей и распределительных устройств. Точки консолидации, также как и в электрической части СКС, не нуждаются в описании, поскольку изготавливаются из тех же соединителей, кабелей и механических устройств для их закрепления.

## 7.2. Волоконно-оптические кабели

Волоконно-оптические кабели (ВОК) можно подразделить на три группы:

- кабели внешней прокладки;
- кабели внутриобъектовой прокладки;
- специальные кабели.

Специальные ВОК используются в военной технике, в авиастроении, в аппаратуре специального назначения и здесь не рассматриваются. В СКС применяются только кабели внешней прокладки при построении магистральной подсистемы территории и кабели внутриобъектовой прокладки при построении горизонтальной подсистемы СКС и магистральной подсистемы здания.

### 7.2.1. Кабели внешней прокладки

Кабели внешней прокладки имеют весьма разнообразные конструкции, приспособленные как к способам их прокладки (воздушная подвеска, прокладка в грунте и воде и т. п.), так и к различным внешним климатическим условиям (температурный диапазон, влажность и т. п.). С этой точки зрения особой специфики

у ВОК по сравнению с электрическими кабелями нет. Специфика ВОК проявляется в двух моментах: оптоволокну необходимо тщательно защищать, во-первых, от воды, а, во-вторых, от внешних механических нагрузок.

Защита оптоволокну от воды достигается буферными покрытиями оптоволокну и наполнением кабеля внешней прокладки гидрофобным гелем, препятствующим продольному проникновению воды в кабель и образованию конденсата.

Механическая защита оптоволокну в кабеле достигается также с помощью буферных покрытий оптоволокну, а еще механической развязкой оптоволокну от всех элементов кабеля. Оптоволокну в кабеле свободно и при возникновении внешних механических нагрузок их воспринимают силовые элементы кабеля и его оболочки, а не свободно перемещающееся оптоволокну.

Наиболее распространенными конструкциями ВОК внешней прокладки являются модульная и монотюбная (англ. monotube). В модульной конструкции оптоволокну располагаются в полиэтиленовых трубках-модулях, расположенных вокруг центрального силового стержня. В монотюбной конструкции все волокна расположены в единственной центральной пластмассовой или металлической трубке. Модули или центральная трубка оплетены, как правило, армирующими нитями из кевлара (Kevlar<sup>TM</sup> — торговая марка концерна Дюпон) и помещены в броневиные металлические оболочки, а затем — во внешнюю полиэтиленовую оболочку.

Оптоволокну в кабелях внешней прокладки имеют одно буферное покрытие с наружным диаметром 250 мкм. Необходимости во втором буферном покрытии нет, поскольку защиту волокна обеспечивают мощные силовые элементы кабеля. Их можно эффективно использовать в кабеле внешней прокладки, поскольку в этом случае практически нет жестких ограничений по его габаритам.

Если центральный силовой стержень, модули и центральная трубка, а также броневиные покровы выполнены из неметаллических материалов, то кабель становится полностью диэлектрическим. Такие ВОК используются в условиях повышенных электромагнитных помех, при большой разности потенциалов зданий, в грозоопасных местах и т. п.

Одним из видов ВОК внешней прокладки являются оптические кабели, совмещенные с грозовым тросом линий электропередач: в центре грозотроса располагается металлическая трубка с оптоволокну.

Выбор ВОК внешней прокладки для СКС определяется конкретными условиями ее реализации. Производители и поставщики ВОК всегда могут предложить такую конструкцию, которая является наиболее подходящей для данного конкретного случая.

При построении магистральной подсистемы территории СКС необходимо учитывать специфику ВОК. Это касается способов транспортировки, хранения, и обращения с кабелями. Внешне ВОК выглядят как и обычные электрические силовые кабели, они прочны и надежны, что в некоторых случаях «усыпляет» бдительность монтажников. Однако, всегда нужно помнить, что внутри этих прочных оболочек находится хрупкий стеклянный волосок, который может быть поломан при неосторожном обращении с кабелем.

Необходимо обратить внимание на три специфические особенности ВОК внешней прокладки по сравнению с электрическими кабелями.

Первая особенность связана с наличием гидрофобного геля под внешней оболочкой кабеля. При вводах ВОК в здание из грунта или с воздушной эстакады всегда есть перепад высот между торцом кабеля и его основной горизонтальной частью. Наличие этого перепада приводит к тому, что либо вертикальный участок кабеля остается без геля при вводе из грунта, либо гель «сочится» из свисающего с эстакады конца кабеля. И в том, и в другом случае должны быть приняты меры по тщательной герметизации торца кабеля. Наиболее эффективно герметизация осуществляется с помощью специальных термоусадочных паст, которые наносятся на торец кабеля и после прогрева феном полимеризуются.

Вторая особенность связана с чувствительностью стекла к градиентам температуры. В условиях, когда температура наружного воздуха может достигать отрицательных значений  $-40\div-50^{\circ}\text{C}$ , а температура внутри здания близка к  $20^{\circ}\text{C}$  вдоль оптоволокну при вводе в здание возникает опасный перепад температур. Наличие такого большого градиента температур может привести к существенному увеличению затухания в линии связи, а иногда и к обрыву волокна. В таких случаях при вводах в здание ВОК помещается в трубу большого диаметра длиной несколько метров, заполненную утеплителем. Такой способ ввода снижает продольный температурный градиент в оптоволокну до безопасных значений.

Третья особенность ВОК связана с его поведением в случае всякого рода эксцессов на трассе, по которой он проложен. Например, при работе экскаватора на территории был задет ковшом ВОК, проложенный в грунте. В ситуациях такого рода нужно помнить, что обрывы оптоволокон могут произойти на больших расстояниях (иногда до 100 м) от видимого места обрыва кабеля и, поэтому, ремонтным работам должно обязательно предшествовать точное определение мест обрывов оптоволокон с помощью рефлектометра.

ВОК внешней прокладки не используют внутри зданий по противопожарным соображениям: полиэтиленовые оболочки и гель являются горючими материалами и, поэтому, сразу после ввода ВОК в здание монтируется переходная муфта, в которой осуществляется переход на внутриобъектовые кабели.

Надписи на внешней оболочке ВОК не стандартизованы, но, как правило, в них обязательно указано число и конструкция оптоволокон.

Подробное описание ВОК внешней прокладки можно найти, например, в упоминавшихся работах [31, 33] и в [36, 37, 38].

### **7.2.2. Внутриобъектовые кабели**

К волоконно-оптическим кабелям, предназначенным для прокладки внутри зданий, предъявляются совсем иные, по сравнению с ВОК внешней прокладки, требования. Эти кабели должны быть легкими и гибкими, чтобы можно было их монтировать и прокладывать в ограниченных пространствах стояков, фальшпотолков и т. п. Они должны быть пожаробезопасными. В то же время условия их эксплуа-

тации легче, чем для ВОК внешней прокладки: они работают в ограниченном диапазоне практически постоянных температур и в отсутствие осадков, ветровых и иных нагрузок. В связи с этим в них не используются мощные силовые элементы, а необходимая механическая защита оптоволокну обеспечивается добавлением второго буферного покрытия оптоволокну с наружным диаметром 900 мкм. По этим же причинам не используется наполнение кабеля гидрофобным гелем, а внешние оболочки изготавливаются из малодымных материалов, не выделяющих галогенов при горении.

Конструкции ВОК внутриобъектовой прокладки также отличаются разнообразием и могут быть сведены к следующим основным видам.

*Симплексный кабель* (англ. simplex cable). Симплексный кабель представляет собой одно оптоволокну в буферной оболочке с наружным диаметром 900 мкм, оплетенное кевларом и помещенное в наружную оболочку. Кабель такой конструкции используется, в основном, для коммутационных шнуров.

*Дуплексный кабель* (англ. duplex cable). Дуплексный кабель представляет собой, по сути, два симплексных кабеля, оболочки которых по касательной непрерывно соединены по всей длине кабеля. Иногда дуплексный кабель — это два симплексных, помещенных в еще одну общую оболочку. Дуплексный кабель также используется для шнуров, и еще — для монтажа горизонтальной подсистемы СКС, в которой к рабочему месту должны подходить минимум два волокна.

Надпись на внешней оболочке дуплексного кабеля делается всегда на одном волокне и может использоваться для идентификации волокна на противоположных концах кабеля.

*Распределительный кабель* (англ. distribution cable). Конструкция распределительного кабеля аналогична симплексному, только под одной оболочкой находится от 4 до 32 (иногда и больше) оптоволокон в буферной оболочке диаметром 900 мкм, оплетенных кевларом. Как правило, кабель такой конструкции используется в магистральной подсистеме здания для соединения распределительных устройств этажей с распределительным устройством здания.

*«Расчленяющийся» кабель* (англ. breakout cable). Кабель такой конструкции представляет собой несколько симплексных кабелей, собранных под одной общей оболочкой, и иногда снабженный силовым центральным стержнем. Удобство такой конструкции заключается в том, что в шкафу, после снятия внешней оболочки, мы получаем возможность организовать из симплексных кабелей жгуты разной длины и завести оптоволокну в нужные места без всяких дополнительных соединений. Оптоволокну в кабеле такой конструкции защищены надежнее, чем в распределительном, но наружный диаметр, погонная масса и, соответственно, цена такого кабеля существенно больше по сравнению с распределительным.

Во внутриобъектовых кабелях очень часто сочетаются различные элементы вышеперечисленных основных конструкций. Например, в распределительном кабеле может присутствовать стальной трос, позволяющий подвешивать кабель при преодолении длинных пролетов, например, в цехах завода. Встречаются внутриобъектовые распределительные кабели монотьюбной конструкции, причем волокна

в них имеют всего одну буферную оболочку диаметром 250 мкм. Бывают т. н. ком-позитные кабели, в которых под одной оболочкой совмещены волоконно-оптические кабели и симметричные электрические 4-х парные кабели. Здесь невозможно описать все многообразие конструкций ВОК для внутриобъектовой прокладки.

Единого цветового кода внешних оболочек не существует, но, как правило, од-номодовые кабели имеют желтую оболочку, а многомодовые — серую. Кабели с малодымной оболочкой, не выделяющей при горении галогенов, как правило, окрашены в вишневый цвет и имеют на оболочке аббревиатуру LSON или LSZH (от англ. Low Smoke Zero Halogen). Такие же кабели американского производства помечаются аббревиатурой OFNP (от англ. Optical Fiber Nonconductive Plenum).

Армирующие нити из кевлара, присутствующие в кабелях внутренней проклад-ки, являются основным силовым элементом кабеля, воспринимающим продоль-ные нагрузки при его протяжке. Приложение продольных усилий к оболочке или волокнам недопустимо, т.к. может привести к выдергиванию волокон из кабеля. Обрезка этих нитей производится специальными ножницами, обычные ножницы для этого не годятся: кевларовые нити проскальзывают между лезвиями.

Оптоволокно в буферной оболочке диаметром 900 мкм, если оно использует-ся при монтаже как таковое, иногда называют микрокабелем, а симплексные и ду-плексные кабели называют иногда миникабелями.

Использование той или иной конструкции внутриобъектовых ВОК определя-ется множеством факторов, в том числе и личными предпочтениями проектиров-щика СКС, и здесь нет необходимости их обсуждать.

Подробнее о внутриобъектовых кабелях можно узнать в [31, 33, 39, 40].

### 7.3. Соединители оптоволокон

Проблема соединений оптоволокон в технике связи, пожалуй, является основной проблемой этой области. При соединении оптоволокон необходимо одновременно решить две задачи — оптическую и механическую. Их надо соединить так, чтобы, во-первых, все было эффективно с оптической стороны дела (малые потери и отра-жение), а, во-вторых, все должно быть надежно и стабильно с механической точки зрения. Эти две задачи, как правило, противоречат друг другу. С оптической точки зрения мы должны правильно подготовить поверхности стекла и хорошо съюсти-ровать одно волокно относительно другого, а также сделать «оптический контакт» стабильным во времени. Последнего можно добиться только механической «раз-вязкой» оптоволокон от остальных деталей соединения. С механической стороны как раз наоборот: чтобы обеспечить точность юстировки и стабильность соединения необходимо жестко «привязать» оптоволоконка к посадочным поверхностям и на-дежно их закрепить. Тут и возникает противоречие. В связи с этим, к сегодняшне-му дню предложено несколько десятков конструкций соединителей и каждый год приносит что-то новое, и не видно конца совершенствованию этих конструкций.

Соединители оптоволокон разделяются на две большие группы: *неразъемные соединители* и *разъемные соединители*. Ниже описаны их основные особенности.

### 7.3.1. Неразъемные соединители (сплайсы)

Неразъемные соединители предназначены для соединения оптоволокон при сращивании кабелей в муфтах и при терминировании кабелей в распределительных устройствах. Часто такие соединители называют сплайсами (англ. splice = соединение). Сплайсы бывают двух видов: *механические* и *сварные*.

*Механический сплайс.* Основную идею механического сплайса можно пояснить с помощью рис. 7.1, на котором изображено его поперечное сечение.

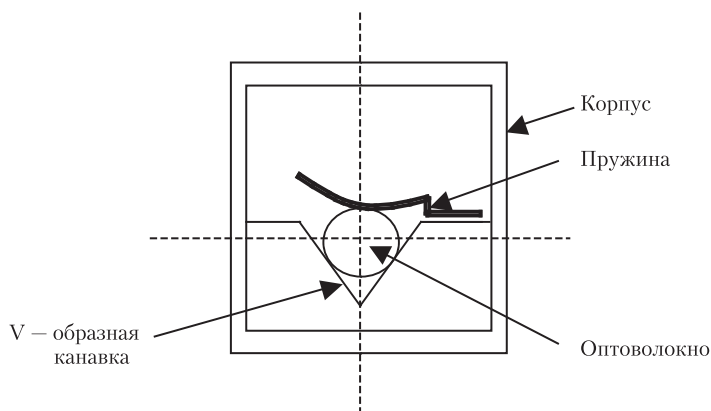


Рис. 7.1. Поперечное сечение механического сплайса

В корпусе длиной около 40 мм имеется V-образная центрирующая канавка, заполненная иммерсионным гелем, и пружина, прижимающая к ней оптоволокна. Соединение оптоволокон осуществляется в следующей последовательности. Волокна «зачищаются» от буферных оболочек, протираются спиртом, скалываются прецизионным скальвателем для получения перпендикулярного и гладкого торца, вставляются с двух сторон в сплайс до соприкосновения друг с другом и в таком положении фиксируются пружиной. Готовый сплайс размещается в организаторе сплайсов, который, в свою очередь, размещается в шкафу на оптической полке.

Конструкции механических сплайсов не стандартизуются, поскольку при их использовании нет необходимости сочетать детали разных производителей. В связи с этим имеется большое разнообразие конструкций механических сплайсов. Корпуса бывают прозрачными и непрозрачными, цилиндрической формы и в форме параллелепипеда. Центровка волокон может осуществляться с помощью цилиндрических капилляров. Пружина может размещаться как внутри, так и снаружи корпуса. В зависимости от конструкции, от ее качества, точности и надежности варьируются и цены механических сплайсов, достигая в лучших образцах 10–20 долларов за штуку.

Механические сплайсы могут различаться назначением: одни предназначаются для одномодовых, другие — для многомодовых волокон. При этом их конструкции внешне не различаются, а отличие состоит в точности деталей: одномодовые волокна с диаметром 8 мкм необходимо совмещать по оси с точностью не хуже  $\pm 1$  мкм, а многомодовые с сердцевиной 50 или 62,5 мкм — с точностью не хуже  $\pm 3$  мкм. Соответственно изменяется и стоимость сплайсов. Эти обстоятельства необходимо учесть при приобретении сплайсов для монтажа СКС.

Качество оптического соединения в механическом сплайсе зависит от многих факторов: от точности центрирующих устройств и их надежности, от качества геля и т. д., но основным фактором является качество скола оптоволокна. Поэтому при изготовлении механических сплайсов необходимо использовать дорогостоящие прецизионные скалыватели, которые обеспечивают перпендикулярность торца оптоволокна к его оси в пределах не более  $0,5^\circ$ . Обычно, потери в механических сплайсах не превышают 0,1 дБ.

Иммерсионный гель, имеющий показатель преломления, близкий к показателю преломления стекла, заполняет промежуток между торцами оптоволокон и уменьшает потери на отражение в соединении. Гель достаточно вязок, а канал с двух сторон «заткнут» оптоволоконными, поэтому гель в механическом сплайсе не вытекает и не высыхает. Соединение оптоволокон с помощью механического сплайса является дешевым и доступным способом, особенно в пределах здания, где внешние условия стабильны и нежестки. Кроме того, в случае неудачной сборки механический сплайс можно переделать несколько раз. За пределами здания в условиях атмосферы или грунта, а также в линиях связи большой протяженности уровень надежности и потерь механического сплайса становится недостаточным и в этих условиях используют сварной сплайс.

Необходимо заметить, что в редких случаях, когда сварка невозможна, механический сплайс становится единственно возможным средством соединения оптоволокон. Например, если это соединение должно быть произведено вблизи источников сильного и нестабильного магнитного поля (гальванические ванны, мощные импульсные трансформаторы и т. п.), влияющего на характеристики дуги сварочного аппарата.

*Сварной сплайс.* Идея сварного соединения оптоволокон поясняется рис. 7.2 и состоит в следующем.

На одно из волокон надевается защитная гильза (англ. protective sleeve). Гильза состоит из двух коаксиальных трубок из термоусадочной пластмассы длиной 60 мм, между стенками которых расположен металлический стержень чуть меньшей длины с наружным диаметром около 2 мм. (В отечественной практике защитная гильза называется «комплект для защиты сrstripа» (КДЗС)). Затем оптоволокна зачищаются от буферных покрытий, скалываются прецизионным скалывателем и размещаются в сварочном аппарате, в котором они свариваются импульсной электрической дугой. На место сварки надвигается защитная гильза и этот участок оптоволокон вместе с гильзой помещается в термостат, где на-



ходится 1–2 мин. при температуре около 270°C. Изготовленная из термоусадочной пластмассы гильза уменьшается в диаметре, плотно охватывает оптоволоконно и герметизирует его обнаженный участок. Наружная трубка плотно прижимает стержень к месту сварки и он не позволяет изгибать в этом месте сваренные волокна. Остывшая гильза размещается затем в специальном организаторе.

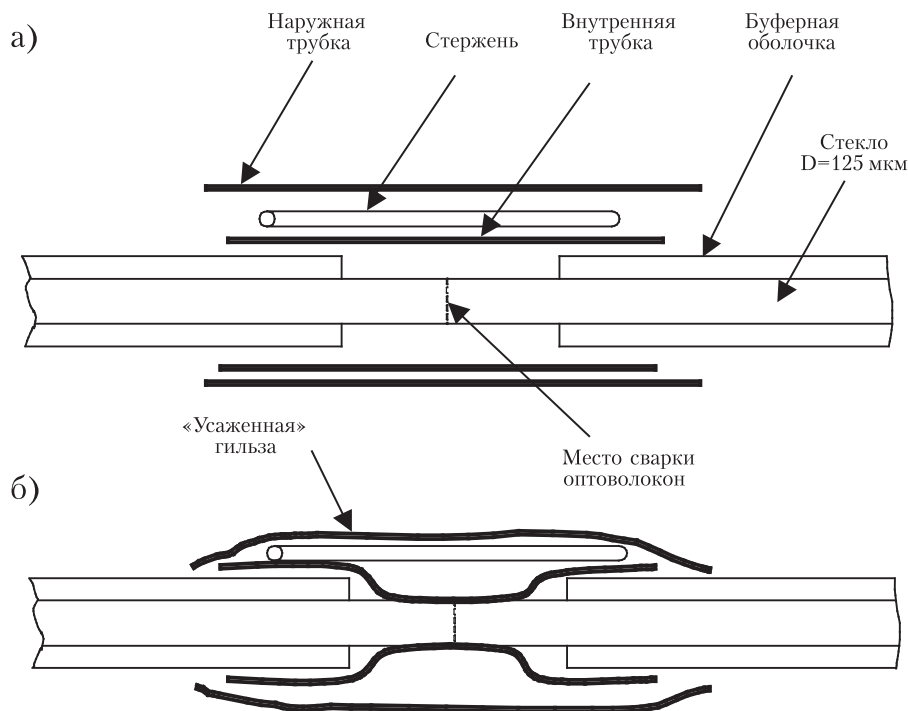


Рис. 7.2. Схема сварного сплайса оптоволоконна:  
а) защитная гильза до термоусадки, б) «усаженная» гильза

Сварной сплайс обладает малыми (не более 0,01 дБ) потерями, отличается высокой надежностью, изготавливается быстро, но сварка является наиболее дорогим способом соединения оптоволокон: требуется дорогой (от 12 000 до 40 000 долларов) сварочный аппарат, прецизионный скалыватель и высококвалифицированный оператор. Защитные же гильзы относительно недороги: наилучшие стоят около 50 центов.

При построении стационарных линий СКС (по соображениям повышения надежности и уменьшения потерь) неразъемных соединений нужно избегать, используя их только в абсолютно необходимых случаях.

### 7.3.2. Разъемные соединители (коннекторы и адаптеры)

Для подключения активного оборудования к СКС и для коммутации линий связи необходимы разъемные соединители оптоволокон. В разъемном соединении вышеперечисленные проблемы соединения оптоволокон усугубляются: при многократной стыковке-расстыковке оптические и механические характеристики соединения должны сохраняться в заданных пределах.

За многие годы развития оптоволоконной техники было предложено большое число конструкций разъемного соединения, многие из которых уже не применяются. К сегодняшнему дню наиболее часто используется разъемное соединение, схема которого приведена на рис. 7.3.

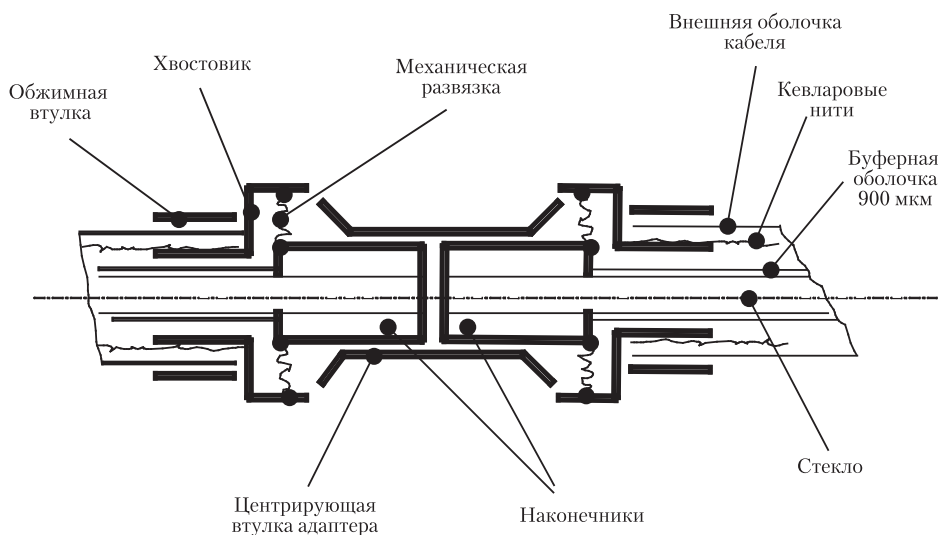


Рис. 7.3. Схема разъемного соединения оптоволокон

Соединитель включает в себя адаптер с центрирующей втулкой и два коннектора. В коннекторе имеется наконечник (англ. ferrule), чаще всего керамический, который представляет собой цилиндр с наружным диаметром 2,5 мм и длиной около 10–12 мм с центральным отверстием с диаметром 125 мкм для стеклянного цилиндрического волокна. Наконечник механически «развязан» с помощью пружины от металлического хвостовика коннектора и других его деталей.

Коннектор собирается следующим образом. На кабель предварительно надевается резиновый защитный хвостовик (на рис. 7.3 он не показан) и металлическая обжимная втулка. Затем оптоволоконно «зачищается» от буферных оболочек, вводится в наконечник и фиксируется в нем различными способами: механически, с помощью клеевых составов и т. п. После этого волокно скалывается и торец на-

конечника вместе с волокном полируется. Кевларовые нити и внешняя оболочка кабеля надеваются на металлический хвостовик коннектора, на них надвигается обжимная втулка, которая затем обжимается кримпирующим инструментом и надежно прикрепляет силовые элементы кабеля к коннектору. Оптоволокно вместе с наконечником оказываются механически «развязанными» от силовых элементов кабеля и от деталей коннектора.

Собранный таким образом коннектор вводится в адаптер, в котором наконечник коннектора оказывается в его прецизионной центрирующей втулке. Внешний корпус коннектора защелкивается на корпус адаптера. С противоположной стороны в адаптер вводится таким же образом второй коннектор. При этом торцы наконечников упираются друг в друга с силой около 10 Н и стеклянные торцы оптоволокон приводятся в непосредственное соприкосновение. Оптоволокна находятся, таким образом, в физическом контакте. Физический контакт оптоволокон снижает потери на отражение и в соединителях встречается в четырех градациях (в порядке уменьшения отражения): просто физический контакт (англ. Physical Contact, PC), супер-физический контакт (англ. Super Physical Contact, SPC), ультра-физический контакт (англ. Ultra Physical Contact, UPC) и угловой физический контакт (англ. Angled Physical Contact, APC).

Адаптер соединителя закрепляется на панели прибора или настенной розетки с помощью гайки или винтов.

Разъемный оптический соединитель не похож на электрический. В последнем есть гнездо и вилка, входящая в гнездо («мама» и «папа»). В оптическом — две «вилки» входят в «гнездо» с противоположных сторон (два «папы» и одна «мама»).

Разъемный оптический соединитель является прецизионным устройством, поскольку, например, одномодовые оптоволокна надо центрировать с точностью  $\pm 1$  мкм. В связи с этим цена одного коннектора в зависимости от конструкции варьируется в пределах от 3 до 12 долларов.

При осуществлении разъемного соединения приходится сочетать изделия разных производителей и, поэтому, в отличие от механических сплайсов, посадочные размеры коннекторов и адаптеров стандартизованы. При этом сами конструкции весьма разнообразны.

Стремление уменьшить габариты приборных и коммутационных панелей привело в последние годы к разработке малогабаритных оптических соединителей, получивших общее название коннекторов с малым форм-фактором или SFF-коннекторов (англ. Small Form Factor Connectors). В них используются наконечники вдвое меньшего наружного диаметра, 1,25 мм, либо конструкции с иными принципами соединения, например, совсем без наконечников.

Известны конструкции оптических соединителей разного типа (SMA, FC, FJ, FDDI, E2000, VF-45, ST, SC и др), но в СКС предпочтительными соединителями в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) считаются соединители SC, а допустимыми — ST и все современные SFF-коннекторы. Фактически, упомянутый стандарт разрешает использование всех коннекторов, за исключением лишь

устаревших. Интересно заметить, что широко распространенный в телефонии коннектор типа FC в современных СКС не используется.

Подробное описание конструкций оптических соединителей и проблем, с ними связанных, можно найти в [36, 37, 41, 42, 43, 44, 45].

## 7.4. Волоконно-оптические распределительные устройства

Волоконно-оптические распределительные устройства, также как и электрические, предназначены для терминирования ВОК, для осуществления коммутаций линий в СКС, а также для подключения к ним активного оборудования. Часто эти устройства за их внешний вид называют «оптическими полками», поскольку они выглядят как коробки и как полки одна над другой располагаются в шкафу.

Схематически волоконно-оптическое распределительное устройство показано на рис. 7.4.

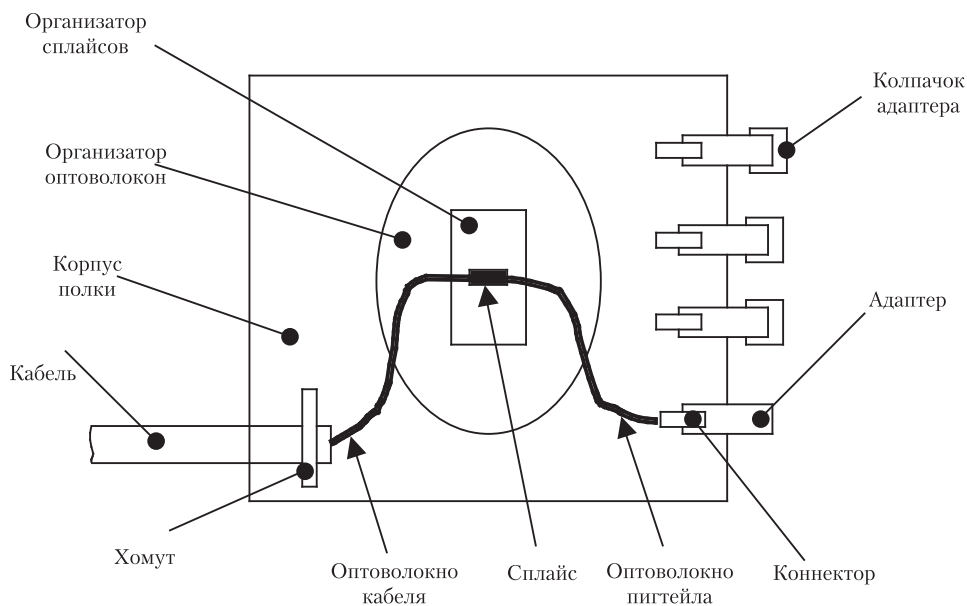


Рис. 7.4. Схема волоконно-оптического распределительного устройства («оптической полки»)

Оно состоит из корпуса, на передней стенке которого расположены адаптеры, предназначенные для подсоединения коннекторов как изнутри, так и снаружи. Волоконно-оптический кабель вводится внутрь корпуса и закрепляется каким-либо способом. Оптоволокна из кабеля оконцовываются коннекторами, запас оптоволокон укладывается в специальный организатор и коннекторы вставля-

ются изнутри в адаптер, который, если не используется, всегда закрыт снаружи защитным колпачком.

Конструкции волоконно-оптических распределительных устройств не стандартизованы, поскольку нет необходимости сочетать детали различных производителей. В связи с этим корпус может быть выполнен из металла или пластмассы, может варьироваться форма корпуса, в корпусе могут быть крышки и т. д. Адаптеры могут быть разного типа, дуплексные и симплексные и располагаться попарно в горизонтальном или вертикальном направлении. Таким образом, производители таких устройств не ограничены в конструктивных возможностях.

Выбор конкретного устройства будет определяться размерами СКС, ценой устройства, удобством его монтажа и обслуживания. Подробное описание волоконно-оптических распределительных устройств можно найти в [33], а также в каталогах фирм-поставщиков СКС.

Здесь необходимо лишь обратить внимание на три возможных способа монтажа распределительного устройства:

- оконцевание непосредственно оптоволокну кабеля коннектором;
- присоединение пигтейла к оптоволокну кабеля с помощью механического сплайса;
- присоединение пигтейла к оптоволокну кабеля с помощью сварного сплайса.

«Пигтейл» (англ. pigtail – косичка) или «монтажный шнур» представляет собой отрезок оптоволокну в буферном покрытии 900 мкм длиной около 1 м, оконцованный коннектором в заводских условиях с одного конца.

При выборе способа монтажа распределительного устройства очень часто останавливаются на первом способе, поскольку он кажется самым дешевым: нужны только одни коннекторы. На практике он оказывается самым неэффективным, т. к. всегда есть вероятность некачественного изготовления коннекторов и их приходится выбросить.

Способы с использованием сплайсов более эффективны, поскольку механический сплайс можно несколько раз переделывать, а неудачный сварной сплайс, который также выбрасывается, в 10 раз дешевле коннектора.

Использование сварных сплайсов наиболее эффективно: это самый быстрый, самый надежный и самый качественный вид соединения оптоволокну, но и самый дорогой.

Необходимо также предостеречь от второй распространенной ошибки при монтаже оптических распределительных устройств. Очень часто не все волокна кабеля предполагается использовать сразу, и поэтому их оконцевание откладывают на «потом» в целях экономии затрат. Здесь совершается двойная ошибка. Во-первых, нарушается требование стандарта ISO/IEC 11801:2002(E), в соответствии с которым на любом распределительном устройстве не должно быть ни одного неоконцованного оптоволокну или нетерминированного электриче-

ского проводника. Во-вторых, когда понадобится использовать волокно, нужно будет снова вернуться к монтажу распределительного устройства, а это потребует остановки, например, работающей ЛВС, а кроме того при проведении этой работы могут быть повреждены действующие волокна.

При небольших размерах СКС, когда используется, например, 6 или 12 волокон, в качестве распределительных устройств иногда используют простые настенные муфты или шкафчики, в которых имеются организаторы волокон и сплайсов, а адаптеры устанавливаются «по месту» в нужном количестве.

## **7.5. Технологии оконцевания оптоволокна коннекторами**

Оконцевание оптоволокна коннектором — это наиболее распространенная операция в оптоволоконной технике, которая производится, практически, при выполнении любых работ: при монтаже распределительных устройств и настенных розеток, при измерениях, при изготовлении пигтейлов, при монтаже муфт и т. д. От качества этой операции зависит, в конечном итоге, качество разъемного соединения волокон. Существует, как было сказано выше, большое разнообразие конструкций разъемных соединителей и наиболее распространен соединитель, в котором оптоволокна закрепляются в специальном наконечнике коннектора.

Оконцевание волокна любым коннектором с наконечником всегда включает в себя следующие моменты и операции:

- подготовку кабеля и волокна для оконцевания;
- закрепление оптоволокна в наконечнике коннектора;
- закрепление буферных оболочек оптоволокна, кевларовых нитей и внешней оболочки кабеля на силовых элементах конструкции коннектора;
- финишную подготовку торцевой стеклянной поверхности оптоволокна.

Технологически эти операции выполняются весьма различными способами. Подготовка кабеля и оптоволокна заключается в обрезке внешней оболочки кабеля и кевларовых нитей на нужную длину, а также в удалении буферных покрытий со стеклянного волокна. Закрепление оптоволокна в наконечнике осуществляется либо механически, либо с помощью разнообразных клеевых составов. Закрепление буферных оболочек, кевларовых нитей и оболочки кабеля производится, как правило, обжимом специальных втулок. Финишная подготовка торца оптоволокна производится либо его полировкой, либо прецизионным сколом волокна.

При выборе конкретной технологии оконцевания необходимо учесть следующие факторы [44]:

- уровень требуемой надежности коннектора в зависимости от условий окружающей среды, в которой он будет использоваться;
- тип и стоимость коннектора;

- вид и стоимость комплекта инструмента для монтажа коннектора данного типа;
- затраты времени и труда для монтажа коннектора данного типа;
- вид, количество, срок годности, стоимость и доступность расходных материалов, необходимых для монтажа данного коннектора.

Рассмотрим кратко известные технологии оконцевания оптоволокна коннекторами. Их можно подразделить на четыре вида по способу закрепления оптоволокна и подготовки его торцевой поверхности, а именно на следующие технологии с использованием:

- эпоксидной смолы;
- клеев различного типа;
- механического закрепления оптоволокна в наконечнике;
- «гибрида» механического сплайса с наконечником, в который заранее в заводских условиях вклеено оптоволокно.

*Эпоксидная технология.* В этой технологии для закрепления оптоволокна в наконечнике используется эпоксидная смола, смешанная с отвердителем в нужных пропорциях. Имеется три разновидности этой технологии, в которых используются: смола горячего отверждения, смола, отверждаемая при комнатной температуре, и смола, введенная в наконечник заранее на заводе-изготовителе коннектора (например, технология Hot Melt™ фирмы 3М). Преимущества эпоксидной технологии состоят в высокой надежности получаемых коннекторов, а недостатки — в необходимости мощной (около 1 кВт) печи для нагрева коннекторов и длительного (в среднем около 15 мин) времени на нагрев и охлаждение.

*Клеевая технология.* В этой технологии используются клеи различного вида: отверждаемый ультрафиолетом, цианоакрилатный, анаэробный, акриловый. Преимущества этой технологии заключаются в небольшом (от 2 до 5 мин) времени монтажа коннектора и его низкой (около 3–6 долларов) стоимости, а недостатки — в средних показателях надежности и большом числе расходных материалов, к тому же с ограниченным (от 3 до 12 месяцев) сроком годности.

*Механическая технология.* При использовании этой технологии волокно фиксируется в наконечнике особой конструкции. Он имеет внутреннюю конусную часть, в которой волокно фиксируется специальным кримпирующим инструментом, раздавливающим и превращающим в «сухарики» имеющиеся в конусе пластмассовые шарики. Преимуществами такой технологии являются высокая (около 2 минут) скорость монтажа коннектора и отсутствие расходных материалов, а недостатками — невысокая надежность коннектора и относительно высокая его стоимость.

*Гибридная технология.* Идея этой технологии состоит в совмещении в одном коннекторе механического сплайса с наконечником, в который на заводе заранее

вклеили оптоволокно и отполировали оба его торца. Преимущества этой технологии состоят также в высокой скорости монтажа (около 1,5 минут) и в отсутствии расходных материалов, а недостатки — в относительно высокой стоимости коннектора (приблизительно в 2 раза большей, чем у клеевого) и в необходимости дорогостоящего прецизионного скалывателя.

Подготовка торца волокна при эпоксидной, клеевой и механической технологии осуществляется полировкой, а в гибридной технологии — прецизионным скалыванием волокна. Отметим, что гибридный коннектор принципиально не может быть лучше остальных, так как в нем обрабатываются три поверхности стекла, а в остальных — только одна. Тем не менее, он обладает приемлемым качеством и поэтому такая технология успешно используется даже в современных коннекторах SFF [45].



# Глава VIII

## Оконцевание оптоволоконна и монтаж сплайсов

При создании волоконно-оптической части СКС обязательно приходится оконцовывать оптоволоконна и соединять их с помощью механических или сварных сплайсов. При этом становится важным выбор конкретной технологии осуществления этих операций. Он определяется большим числом факторов, в которые входят стоимость самих коннекторов и сплайсов, стоимость и доступность специального инструмента, квалификация монтажного персонала, условия проведения монтажных работ и время, на них отведенное, и др.

Однако, прежде всего на выбор технологии влияет род деятельности той фирмы или организации, которой предстоит выполнять такого рода работы. При этом оказывается, что фирме-инсталлятору СКС более выгодна клеевая технология, а фирме, которая занимается только эксплуатацией СКС, наиболее подходит бесклеевая.

Дело в том, что для инсталлятора оконцевание волокна — это ежедневная и многократная операция. При этом всегда можно использовать дешевые и легко доступные коннекторы, расходные материалы с ограниченным сроком годности используются до истечения этого срока, можно приобретать коннекторы различного типа и стоимости у многочисленных производителей, время монтажа заранее спланировано и так далее.

При эксплуатации СКС ситуация иная. Здесь оконцевание оптоволоконна — достаточно редкая операция, которая нужна, как правило, лишь в аварийных случаях, например, при отказе волоконно-оптических шнуров. Времени на устранение неполадки отводится немного из-за недопустимости простоя, например, ЛВС. В этих условиях использование бесклеевых коннекторов является более эффективным: расходные материалы не нужны совсем, тем более с ограниченным сроком действия, время монтажа коннектора не превышает 2 минут, не требуется высокой квалификации персонала.

По этим причинам рассмотрим более подробно процедуры оконцевания оптоволоконна по клеевой и бесклеевой технологии.

## 8.1. Клеевая технология и инструмент

Перечень необходимого и достаточного инструмента и материалов для оконцевания оптоволокну коннектором по клеевой технологии приведен в Приложении II.1. Как правило, комплект такого инструмента и материалов предлагается фирмой-изготовителем коннектора или поставщиком СКС. Цена таких комплектов варьируется в пределах 1500—3500 долларов. В комплекте имеются обычные инструменты, не нуждающиеся в комментариях, и специальные, назначение которых необходимо кратко пояснить.

Стриппер для буферных оболочек оптоволокну является точным инструментом: диаметр отверстия в его губках при полном сжатии рукояток составляет 250 мкм. Это позволяет удалять буферные оболочки, не травмируя стеклянную поверхность оптоволокну. Хранить его необходимо аккуратно, не подвергая ударам, которые могут привести к деформации точных губок.

Ножницы для кевлара по внешнему виду напоминают обычные, но кевлар не режется обычными ножницами, выскальзывая из лезвий. Поэтому в этих специальных ножницах лезвия изготавливаются из специальных сталей или керамики, затачиваются под определенным углом и очень часто снабжены мелкими зубцами.

Обжимные клещи для втулок коннекторов — это обычный инструмент, но «губки», как правило, соответствуют конкретной конструкции коннектора. Полная унификация размеров этих «губок» отсутствует, что следует учитывать при выборе коннекторов и обжимного инструмента.

Ручные карманные скалыватели (англ. handheld pocket cleaver) оптоволокну имеют разнообразные конструкции, начиная от простой корундовой иголки и заканчивая алмазными лезвиями. Выбор скалывателя определяется ценой и предпочтениями монтажника.

Шайбы для полировки торца наконечника также весьма разнообразны. Они изготавливаются из пластмассы, латуни, стали и т. д. Соответственно конструкции изменяется и цена, достигая в наилучших образцах значений порядка 30—50 долларов.

Микроскоп является совершенно необходимым инструментом оптического монтажника. Только с его помощью можно проконтролировать качество обработки торца оптоволокну на последней стадии оконцевания волокна. Ручные относительно дешевые микроскопы имеют увеличение в 100 или 200 раз и незаменимы в полевых условиях. В заводских условиях используются мощные телевизионные микроскопы. «Полевые» микроскопы встречаются с двумя вариантами угла зрения на торец оптоволокну: вдоль оси оптоволокну и под углом к ней. В последнем случае дефекты поверхности обнаруживаются легче.

Расходные материалы поставляются в комплекте инструментов. Среди них надо обратить внимание на специальные безворсовые салфетки, не оставляющие на поверхности стекла волокон. Протирку стеклянной поверхности лучше произ-

водить изопропиловым спиртом, но чаще всего используют этиловый спирт-ректификат, как более доступный и безопасный.

Примерная последовательность операций при монтаже клеевого коннектора на внутриобъектовом кабеле приведена в Приложении II.2. При приобретении конкретных коннекторов необходимо внимательно ознакомиться с прилагаемой инструкцией. Дело в том, что конструкции коннекторов непрерывно совершенствуются, появляются незаметные изменения размеров некоторых деталей и последовательности операций, неучет которых может привести к непоправимому браку.

Конкретные операции сборки коннектора определенного типа и производителя можно найти в инструкциях коннекторов и комплектов инструмента для них и в каталогах поставщиков СКС. Описание инструментов для работы с оптоволокном и цены на них можно узнать, например, в [46].

## 8.2. Бесклеевая технология и инструмент

Бесклеевая технология оконцевания оптоволокна и соответствующий инструмент весьма специфичны и точные сведения о них можно получить только у конкретного производителя данного коннектора. Здесь дадим лишь краткую характеристику этих технологий.

Бесклеевое оконцевание оптоволокна встречается в технологиях “LightCrimp” (AMP), “QuickConnect” (CDT) и “UniCam” (Corning). В технологии LightCrimp используется механическое закрепление оптоволокна в наконечнике, в двух других — гибрид механического сплайса с наконечником.

Рассмотрим бесклеевое оконцевание на примере гибридной технологии QWIKCONNECT™ (Mohawk/CDT). Для этой технологии разработаны специальные ST и SC коннекторы, у которых на заводе в наконечник вклеено оптоволокно, а в хвостовой части имеется механический сплайс. Цена такого коннектора приблизительно в 2 раза выше, чем обычного клеевого.

Для сборки коннектора существует специальный комплект инструмента, включающий в себя, во-первых, все необходимые для работы с волокном инструменты (см. Приложение II.1), а, во-вторых, — специальные приспособления для крепления коннектора при монтаже и обжимные клещи со специальными «губками», имеющими фигурные отверстия определенной формы, соответствующие только деталям данного коннектора. При сборке коннекторов такого типа принципиальным моментом является качество скола волокна, поэтому здесь применяются хотя и «ручные» скалыватели, но имеющие более сложную конструкцию. Такой скалыватель тоже включен в комплект инструмента. Последовательность операций при монтаже такого коннектора приведена в Приложении II.3. Количество этих операций почти в 2 раза меньше, чем при клеевой технологии. Время монтажа коннектора не превышает 2 минут.

### 8.3. Монтаж механического сплайса

При монтаже механических сплайсов требования к сколу волокна еще жестче, чем при сборке бесклеевых коннекторов, поэтому здесь используются только настольные прецизионные скальватели (англ. precision desktop cleaver). Они достаточно дороги: цены в зависимости от конструкции варьируются от 1000 до 3000 долларов [47]. Неперпендикулярность торца оптоволокна к его оси при использовании этих скальвателей обычно не превышает  $0,5^\circ$ .

Для сборки механического сплайса нужен инструмент для зачистки волокна и, иногда, специальная «рабочая станция», в которой при сборке закрепляется монтируемый сплайс. Последовательность операций, например, при сборке механического сплайса «CORELINK» фирмы AMP (США) приведена в Приложении II.4.

Поскольку требования к взаимной юстировке многомодовых и одномодовых волокон различны, некоторые производители выпускают сплайсы отдельно для каждого вида волокна. Это позволяет снизить цену сплайса для многомодовых волокон. Другие производители сразу выпускают сплайс для соединения одномодовых волокон, который, естественно, можно использовать и для многомодовых. При приобретении сплайса необходимо учитывать его назначение, чтобы исключить возможные ошибки.

### 8.4. Изготовление сварного сплайса

При изготовлении сварного сплайса также принципиальным является точность скола волокна и здесь также необходим прецизионный скальватель. Необходим также специальный сварочный аппарат (англ. fusion splicer). Современные сварочные аппараты [48, 49] являются высокотехнологичными дорогими устройствами: цена варьируется в пределах от 5000—6000 долларов (у самых простых) до \$ 30 000—40 000 долларов (у самых сложных).

Сварка волокон производится в следующей последовательности. Прежде всего на одно из свариваемых волокон надевается защитная гильза. Затем волокна зачищаются от буферных оболочек и скальваются с помощью прецизионного скальвателя. Длина обнаженного участка волокна выбирается такой, какая указана в инструкции конкретного сварочного аппарата. Каждый из них имеет собственную конструкцию юстировочных механизмов, что и определяет относительные размеры оболочек и обнаженного участка волокна. Волокна размещаются в сварочном аппарате, юстируются и свариваются. На место сварки надвигается защитная гильза и этот участок волокна вместе с гильзой помещается в специальную «печку»-термостат, в котором примерно за 1,5 мин происходит термусадка трубок гильзы. Полученный сварной сплайс размещается в специальном организаторе сплайсов, который затем размещается в «оптической полке».

В процессе сварки роль человеческого фактора сведена к минимуму, особенно в автоматических сварочных аппаратах. В последних выбор режима горения

дуги, юстировка, проверка прочности соединения и измерение потерь в соединении производятся автоматически.

Поскольку электрическая дуга горит в воздухе, то на ее свойства оказывают влияние те конкретные атмосферные условия, которые имеются в месте проведения работы. Различное атмосферное давление, влажность и температура окружающего воздуха требуют учета, который в автоматических аппаратах производится с помощью соответствующих датчиков. Полученные с их помощью данные обрабатываются процессором, который рассчитывает все необходимые параметры дуги: ее мощность, длительность горения, максимальный ток и его временную зависимость и т. п. Затем рассчитанный режим реализуется аппаратом.

Как было указано выше, при сварке волокон необходимо проследить, чтобы рядом со сварочным аппаратом не было источников сильных магнитных полей, особенно нестационарных. К ним относятся силовые трансформаторы и фильтры, электродуговые сварочные аппараты, мощные шины гальванических ванн и т. п. Электрическая дуга ведет себя в магнитном поле подобно магнитной стрелке и внешнее магнитное поле может изменить направление тока, размеры дуговой области и другие параметры процесса сварки.

# Глава IX

## Тестирование оптоволоконных линий и каналов СКС

Процедуры тестирования оптоволоконных линий и каналов СКС, построенной в соответствии с международным стандартом ISO/IEC 11801:2002(E), определены международным техническим документом ISO/IEC TR 14763-3.

При тестировании СКС подлежат определению следующие характеристики:

- длина линий и каналов (а также, если необходимо, длины оптоволокон между соединительными устройствами);
- целостность оптоволокон (англ. continuity – непрерывность);
- задержка сигналов (англ. propagation delay);
- ослабление (англ. attenuation);
- возвратные потери (англ. return loss).

Определения параметров и конкретные требования к ним будут указаны ниже при рассмотрении требований стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к волоконно-оптической части СКС. Здесь отметим только следующие важные для тестирования моменты.

Целостность оптоволокон разрешается определять любым прибором, начиная от любого простого источника света и заканчивая оптическими рефлектометрами. В СКС, где длины внутриобъектовых кабелей не превышают десяти — ста метров, для этой цели удобно использовать недорогие (около 250 долларов) определители обрывов (англ. Visual Fault Locator, VFL) [46]. Длина линий определяется по длине компонентов или рефлектометром. Задержка оптических сигналов определяется расчетным путем по известным значениям длины и группового показателя преломления оптоволокна, обычно указываемого производителем кабеля. Для

практических целей полезно запомнить, что задержка сигналов в оптоволокне составляет 5 нс/м.

Ослабление при наладочных измерениях можно измерять относительно недорогими оптическими тестерами, содержащими источник света и измеритель мощности. При ответственных измерениях, имеющих целью установить соответствие установленной СКС стандарту ISO/IEC 11801:2002(E), необходимо применять лишь достаточно дорогие приборы, отличающиеся от простых оптических тестеров гарантированной спектральной шириной источника излучения, его стабильностью и точностью прибора.

Заметим также, что в соответствии с документом ISO/IEC TR 14763-3 при тестировании СКС запрещено использование иммерсионного геля в разъёмных соединителях, который часто используется на практике для снижения потерь ввода и потерь на отражение.

# Глава X

## Идеальный коннектор

Краткое знакомство с компонентами волоконно-оптической части СКС и отработка практических приемов работы с оптоволоком показывают, что при проведении работ наиболее частыми и сложными операциями являются освобождение волокна от буферных оболочек, его скол с помощью ручного скалывателя и полировка торца наконечника коннектора. Все эти операции необходимо производить безопасно и эффективно, стремясь выполнить их идеально и получить «идеальный коннектор». Ниже рассмотрены правила безопасной работы с волокном, а также виды брака при изготовлении коннектора и признаки «идеального коннектора».

### ***10.1. Техника безопасности при работе с оптоволоком***

Советы по безопасным приемам работы «рассыпаны» по многочисленным статьям и книгам, посвященным волоконно-оптической технике. Ниже кратко перечислены и прокомментированы факторы, влияющие на безопасность работы с оптоволоком и на качество получаемых соединений. Следует учитывать перечисленные ниже виды опасности.

- ***Пожарная опасность.*** При работе с оптоволоком всегда используется спирт. На рабочем месте имеются смоченные им салфетки и присутствуют пары спирта. Емкость со спиртом иногда случайно может быть опрокинута и спирт может растечься по столу. Спирт легко воспламеняется, горит при высокой температуре, пламя еле заметно и гасить его трудно. Поэтому необходимо исключить появление открытого огня и искр в рабочей зоне.
- ***Опасность грязи и пыли.*** Наличие в зоне монтажа мелких ( $\sim 1$  мкм) частиц, которые неразличимы глазом, может привести к их оседанию на торце оптоволокну, что в свою очередь может повлиять на качество обработки поверхности стекла и на увеличение рассеяния света на поверхности. Неслучайно все коннекторы и адаптеры всегда закрыты колпачками. По той же причине недопустимо курение в зоне монтажа: во-первых, при прикуривании будет от-



крытое пламя, а, во-вторых, частицы дыма и табачные смолы будут оседать на стеклянной поверхности торца волокна.

- *Неоптимальная температура на рабочем месте.* Оптимальной температурой для тонкой работы пальцев оператора является температура 22°C. Если температура ниже оптимальной, то теряется подвижность мелких мышц, а если выше, то движения становятся плохо координированы, человек «размякает». Поскольку при работе с волокном как раз нужна определенная ловкость, нужно стараться приблизить температуру на рабочем месте к оптимальной.
- *Недостаточная освещенность рабочего места.* Трудно указать конкретные значения необходимой для работы освещенности в люксах, и чаще нет возможности ее измерить на практике, но ее влияние должно быть учтено. Зрение человека устроено так, что он при недостаточной освещенности как раз перестает видеть мелкие детали, а именно с ними и приходится работать при сборке сплайса или коннектора. Неслучайно в каждом комплекте инструмента, как правило, имеется источник локального освещения в виде небольшого фонарика, позволяющего обеспечить достаточную освещенность рабочей зоны.
- *Химическая опасность.* Составы, которые используются в клеях и праймерах, очень часто содержат мощные аллергены (например, акриловую кислоту и метакриловый эфир). Они могут попасть на кожу или в дыхательные пути и вызывать острые аллергические реакции двух типов: дыхательный спазм (вплоть до остановки дыхания) и резкое покраснение кожи (вплоть до образования волдырей). В случае дыхательного спазма необходимо удалить человека из помещения на свежий воздух не менее, чем на 20 мин. При покраснении кожи необходимо ее обмывать теплой водой в течение 15 мин. Если симптомы после этих процедур не исчезают, пострадавшего необходимо доставить к врачу.
- *Механическая опасность.* Размеры осколков оптоволоконна сравнимы или меньше внутреннего диаметра некоторых кровеносных сосудов человека. При случайном попадании осколка через кожу в кровеносный сосуд, он может быть занесен потоком крови в любое место организма вплоть до сердца. Поэтому все осколки тщательно собираются в специальный контейнер и выбрасываются только в запечатанном виде. При ручном сколе волокна обязательно нужно удалить людей из сектора вероятного отскока осколка, чтобы исключить вероятность травмы. Чтобы осколки были хорошо видны, при работе с волокном используют коврики с черной матовой поверхностью, которые также часто включаются в комплект рабочего инструмента.
- *«Оптическая» опасность.* На наше несчастье значение показателя преломления стекла в оптоволоконне близко к его значению в крови, лимфе и жидкости в глазу человека. В связи с этим очень трудно обнаружить осколок, попавший, например, в глаз. Эффект иммерсии проявляется здесь в полной мере: нет скачка показателя преломления — не видно границы осколка. В связи с этим, необходимо обязательно использовать при работе с волокном защитные очки. Как правило, их конструкция такова, что глаз защищен со всех сторон: снизу, сверху и сбоку.

Всем известно, что реальные условия работы на строительном объекте далеки от идеальных, но при работе с оптоволоконном всегда нужно постараться обеспечить такие условия, чтобы вышеперечисленные факторы максимально возможно соответствовали оптимальным. Неучет или неоптимальность любого из них всегда могут «свести на нет» все предыдущие затраты и усилия на создание качественного оптического соединения.

## 10.2. Виды брака при оконцевании волокна коннекторами

Всего известно девять видов брака, возникающего при обработке торца наконечника коннектора [50], которые представлены на рис. 10.1:



Рис. 10.1. Виды брака при обработке торца наконечника коннектора

1. *облом оптоволокну*. Все попытки увидеть свет в сердцевине — безрезультатны;
2. *трещина через все волокно*. Трещина проходит через сердцевину и оболочку;
3. *трещина в сердцевине*. Трещина локализована только в пределах сердцевины;
4. *сколы сердцевины*. На поверхности сердцевины имеются ямки разного размера и количества;
5. *трещина в оболочке*. Трещина локализована в пределах оболочки;
6. *грубая поверхность*. Процесс полировки не закончен;
7. *грубые царапины*. Характерный вид прямых линий;
8. *мелкие царапины*. Тоже вид прямых линий, но их меньше и они еле заметны;
9. *грязь и «стружки»*. Остатки клея и грязи на поверхности.

Перечисленные виды брака хорошо заметны при рассмотрении поверхности торца наконечника в микроскоп. В поле зрения микроскопа видим белую чистую поверхность керамического наконечника и торец оптоволокна, причем видим более темную сердцевину и более светлую оболочку, поскольку показатель преломления сердцевины больше, чем оболочки.

Показанные на рис. 10.1 виды торцов наблюдаются в микроскопах, в которых торец наконечника перпендикулярен оптической оси прибора. Если торец наклонен к оси прибора, сердцевина и оболочка не различаются. При идеальной полировке виден равномерно серый торец оптоволокна и малейшая неоднородность стеклянной поверхности проявляется как неоднородность этого серого поля. Микроскопы такого типа позволяют надежнее оценить качество полировки поверхности.

Коннекторы с видами брака 1—4 (см. рис. 10.1) необходимо выбросить, поскольку брак вида 2, 3 и 4 рано или поздно приводит к облому оптоволокна. Это может произойти в самый неподходящий момент, например, в действующей ЛВС. Виды брака 5—9 — это безусловный брак для монтажника, но если такой коннектор используется в шнуре оборудования и данное оборудование работает, то шнур можно временно оставить. (К тому же шнуры оборудования не входят в состав СКС). Эти виды брака не приводят к облому волокна и шнур можно заменить при первом подходящем случае на полностью исправный.

### 10.3. Признаки идеального коннектора

Где бы ни изготавливался коннектор, на заводе или в полевых условиях, всегда в наконечнике закрепляется волокно и торец наконечника полируется. Полировка торца влияет на два типа оптических потерь: потери ввода (англ. insertion loss) и возвратные потери (англ. return loss).

Основным требованием к коннектору, независимо от того многомодовый он или одномодовый, являются малые потери ввода. Для одномодовых коннекторов, которые часто используются совместно с лазерными источниками света, не меньшее значение имеют и возвратные потери: свет, отраженный от соединения в обратном направлении, может повлиять на работу излучающего лазера.

К факторам, которые влияют на потери ввода коннектора, относятся [50]:

- эксцентриситет отверстия в наконечнике;
- эксцентриситет сердцевины в оптоволокне;
- эллиптичность оптоволокна;
- неправильное изготовление торца наконечника, исключаяющее касание оптоволокон в соединении;
- неудовлетворительная финишная полировка торца наконечника.

Первые три фактора — это «заводские» факторы, которые не зависят от монтажника, который оконцовывает волокно, последние два — непосредственно за-

висят от того, кто обрабатывает наконечник, т. е. скалывает волокно и полирует его торец.

Неправильное изготовление торца заключается в том, что поверхность стекла может либо «утонуть», либо выступить за пределы поверхности наконечника. И то, и другое приводит к наличию воздушного зазора между соединяемыми волокнами, а это, в свою очередь, увеличивает возвратные потери в соединении. Неудовлетворительная финишная полировка также ухудшает характеристики соединения.

Что же такое «идеальный коннектор»? На рис. 10.2 представлено продольное (вдоль оптической оси) сечение наконечника и цифрами 1–5 обозначены 5 признаков идеального коннектора.

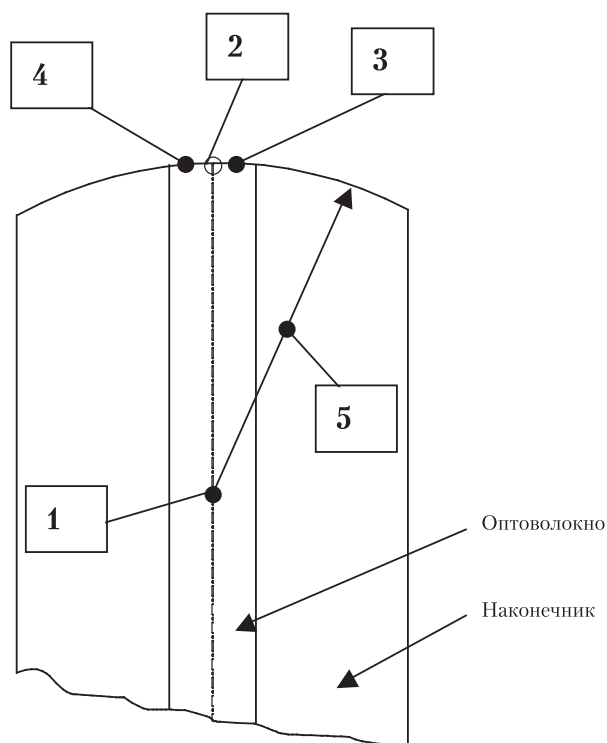


Рис. 10.2. Пять признаков «идеального» коннектора: 1 — центр сферической поверхности торца совпадает с оптической осью, 2 — наивысшая точка окружности сечения торца совпадает с оптической осью, 3 — волокно не «утоняет» и не выступает за пределы поверхности торца, 4 — поверхность стекла обработана по оптическому классу, 5 — радиус кривизны оптимален для данного наконечника (при диаметре наконечника 2,5 мм величина этого радиуса лежит в пределах 10–15 мм)

Все рассмотренные выше технологии обработки коннекторов направлены именно на обеспечение этих факторов в готовом коннекторе. Полировочная шайба обеспечивает перпендикулярность наконечника к обрабатываемой поверхности и, следовательно, обеспечивает признаки 1 и 2. Правильный скол обеспечивает признак 3. Смена шлифовальной и полировальной бумаги обеспечивают признак 4. И, наконец, мягкая подложка и движения по «восьмерке» с определенным усилием прижима обеспечивают признак 5.

Отступления от правильных приемов полировки наконечника влияют на вышеуказанные признаки и, в конечном итоге, определяют величину потерь ввода и обратных потерь в разъемном соединении.

В заводских условиях обработка наконечников осуществляется с помощью автоматических полировальных машинок, которые существенно уменьшают влияние человеческого фактора на качество коннектора, но они относительно дороги (несколько тысяч долларов США) и оправдывают себя только при массовом производстве.

# Глава XI

## Требования международного стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к волоконно-оптической части СКС

### 11.1. Общие замечания

Волоконно-оптические компоненты структурированной кабельной системы, в свете требований стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к структуре и топологии СКС, ничем не отличаются от электрических. Ниже рассмотрим конкретные требования этого стандарта, отражающие их оптическую специфику.

Прежде всего отметим, что в стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) отражены требования, касающиеся кабельной системы как таковой, требования же к самим волоконно-оптическим компонентам отражены в многочисленных промышленных стандартах на эти компоненты, ссылки на которые в стандарте приведены.

Так же, как и в электрической части СКС, все требования к волоконно-оптической части формулируются на основе концепций «канала» и «стационарной линии». Напомним, что под «каналом» понимается тракт передачи сигнала от одного активного устройства до другого. При этом в канал включены шнуры коммутационные и шнуры оборудования этих двух устройств, но не включены соединители на концах канала. Влияние этих соединителей на характеристики канала учтено конструкцией активного или тестового оборудования, подключаемого к каналу. Под «стационарной линией» понимается часть тракта передачи сигнала по инсталлированной СКС, включающая лишь стационарный кабель любой подсистемы СКС и два соединителя на его концах.

В соответствии с рекомендациями стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) расположение распределительных устройств (РУ) должно быть таким, чтобы длина канала в горизонтальной подсистеме не превышала 100 метров, а длина канала, объеди-

няющего горизонтальную подсистему СКС и магистральные подсистемы здания и территории, не превышала 2000 метров. В последнем случае не все виды активного оборудования способны работать, если канал создан на кабеле единственного типа, и поэтому в этом случае необходимо сочетать в канале два вида среды — оптические и электрические кабели и соединительное оборудование. Такая задача решается применением медиаконвертеров, которые являются частью инженерной системы, подключенной к СКС, а не частью самой этой СКС.

Использование волоконно-оптических компонентов в СКС позволяет использовать в ней в некоторых случаях централизованную топологию, но стандарт специально предупреждает, что в этом случае теряется одно из существенных преимуществ СКС — гибкость. Действительно, при централизованных топологиях существенно снижаются (если не исчезают совсем) возможности переконфигурирования системы.

Интересно отметить также, что уже в 1995 году в первой редакции упомянутого стандарта была дана рекомендация использовать волоконно-оптические кабели (ВОК) для передачи данных во всех подсистемах СКС, а в магистрали территории — только ВОК. Прошедшее с тех пор время только подтвердило эту тенденцию: в инсталлированных СКС магистрали территории и зданий давно волоконно-оптические, а сегодня становится необходимым оптоволокну и на рабочем месте.

## 11.2. Каналы оптических классов

Стандарт ISO/IEC 11801:2002(E) вводит следующие три класса оптических каналов: *OF-300*; *OF-500*; *OF-2000*. Цифра в названии класса указывает в метрах минимальную длину канала, на которой канал данного класса гарантированно поддерживает соответствующие приложения, если этот канал построен на кабелях и соединительных устройствах, удовлетворяющих требованиям данного стандарта.

Выбор конструкции оптического канала для использования в создаваемой СКС должен быть сделан с учетом табл. 11.1, приведенной в информативном приложении к стандарту ISO/IEC 11801:2002(E), в которой указаны классы каналов, необходимые для конкретных сетевых приложений.

Выбор волоконно-оптических компонентов будет определять: а) нужные длины каналов, б) приложения, которые должны поддерживаться и в) «время жизни» создаваемой СКС. При этом требования к характеристикам оптических каналов, приводимые в стандарте, базируются на предположении, что в инженерной системе, подключенной к СКС, используется единственная длина волны в каждом конкретном окне прозрачности. В стандарте отсутствуют какие-либо специальные требования к СКС, учитывающие мультиплексирование по длинам волн. Требования к волоконно-оптическим компонентам, обеспечивающим мультиплексирование по длинам волн, должны быть взяты из стандартов на такие конкретные приложения.

Таблица 11.1. Приложения, поддерживаемые волоконно-оптической кабельной системой

Сетевое приложение	Макс. потери ввода канала, дБ										Канал по ISO/IEC 11801:2002[E] на волокне типа:			
	Многомодовый <sup>а</sup>		Одно-модовый		OM1		OM2		OM3					
	850 nm	1300 nm	1310 nm	1310 nm	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm	1310 nm	OS1
ISO/IEC 8802-3: 10GBASE-FL, Fb <sup>b</sup> & Fb <sup>c</sup>	12,5 (6,8)	—	—	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	—	—
ISO/IEC TR 11802-4: 4 & 16 Mbit/s Token Ring <sup>d</sup>	13,0 (8,0)	—	—	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	—	—
ATM @ 52 Mbit/s <sup>е</sup>	NA	10,0 (5,3)	10,0	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—
ATM @ 155 Mbit/s <sup>е</sup>	7,2	10,0 (5,3)	7,0	—	OF-500	OF-2000	OF-500	OF-2000	OF-500	OF-2000	OF-500	OF-2000	OF-2000	—
ATM @ 622 Mbit/s <sup>е, f, g</sup>	4,0	6,0 (2,0)	7,0	—	OF-300	OF-500	OF-300	OF-500	OF-300	OF-500	OF-300	OF-500	OF-2000	—
ISO/IEC 14165-111: Fibre Channel (FC-PH) @ 133 Mbit/s <sup>h</sup>	NA	6,0	—	—	OF-2000	—	—	—	OF-2000	—	—	—	—	—
ISO/IEC 14165-111: Fibre Channel (FC-PH) @ 266 Mbit/s <sup>h</sup>	12,0	6,0 (5,5)	6,0	—	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000	OF-2000	—
ISO/IEC 14165-111: Fibre Channel (FC-PH) @ 531 Mbit/s <sup>h</sup>	8,0	—	14,0	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-2000	—
ISO/IEC 14165-111: Fibre Channel (FC-PH) @ 1062 Mbit/s <sup>h</sup>	4,0	—	6,0	—	OF-300	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-2000	—
ISO/IEC 8802-3: 1000BASE-SX <sup>а</sup>	2,6 (3,56)	—	—	—	h	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-500	—	—	—
ISO/IEC 8802-3: 1000BASE-LX <sup>а, g</sup>	—	2,35	4,56	—	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-500	OF-500	—
ISO/IEC 9314-9: FDDI LCF-PMD <sup>h, i</sup>	—	7,0 (2,0)	—	—	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-500	—	OF-500	—	—
ISO/IEC 9314-4: FDDI PMD <sup>j</sup>	—	11,0 (6,0)	—	—	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	—
ISO/IEC 9314-4: FDDI SMF-PMD <sup>g</sup>	—	—	10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	OF-2000	—
ISO/IEC 8802-3: 100BASE-FX <sup>а</sup>	—	11,0 (6,0)	—	—	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	OF-2000	—	—
IEEE 802.3: 10GBASE-LX4 <sup>d</sup>	—	2,00	6,20	—	—	OF-300	—	OF-300	—	OF-300	—	OF-300	OF-2000	—
IEEE 802.3: 10GBASE-ER/EW <sup>d</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	OF-2000
IEEE 802.3: 10GBASE-SR/SW <sup>d, g</sup>	1,60 (62,5) 1,80 (OM-2 50) 2,60 (OM-3)	—	—	—	—	—	—	—	OF-300	—	—	—	—	—
IEEE 802.3: 10GBASE-LR/LW <sup>d, g</sup>	—	—	6,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	OF-2000	—

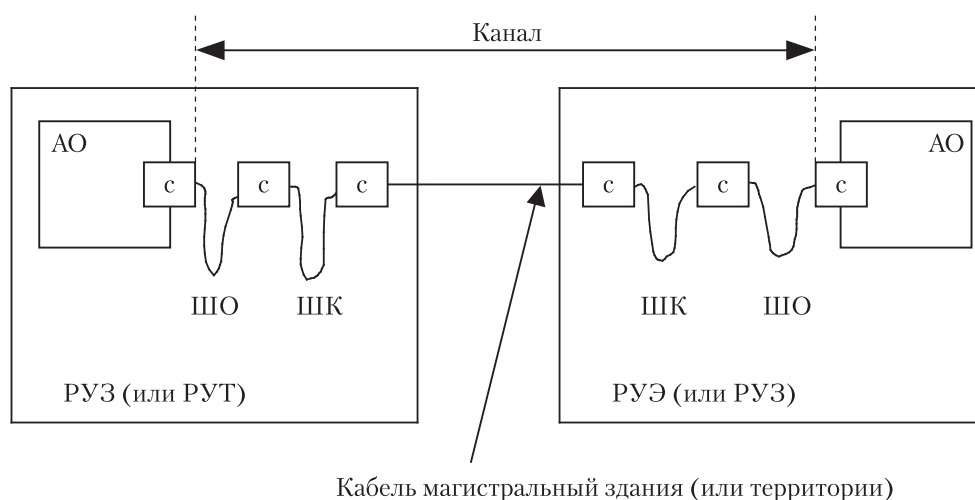
**Примечания:**  
<sup>а</sup>В скобках указаны величины для волокна 50/125.  
<sup>б</sup>Приложение уже не используется в промышленности.  
<sup>в</sup>Приложение упродолжено группой, сформулировавшей его.  
<sup>г</sup>Приложение в стадии разработки.  
<sup>д</sup>При указанных длинах канала приложение имеет ограниченную полосу пропускания. Использование компонентов с низким затуханием не может быть рекомендовано.  
<sup>е</sup>Длина канала может быть ограничена на волокне 50/125. См. соответствующий стандарт приложения.  
<sup>ж</sup>Длина канала на одномодовом волокне может быть больше, но лежит за рамками этого стандарта. См. стандарт приложения.  
<sup>з</sup>См. стандарты на приложения



### 11.3. Топология оптических каналов

Как было отмечено выше, на волоконно-оптическую часть СКС распространяются те же топологические требования, что и на электрическую часть. Это означает, что и в оптоволоконной части СКС остается предпочтительной топологическая схема иерархической звезды. Однако, при построении волоконно-оптических каналов СКС имеется некоторая «топологическая свобода», поскольку, например, при наличии оптоволокна на рабочем месте иногда не требуется передающее активное оборудование в районе расположения распределительного устройства этажа (РУЭ), оно может быть расположено и рядом с распределительным устройством здания (РУЗ) (если, конечно, в магистрали здания используется то же оптоволокно, что и в горизонтальной подсистеме). При всей этой «свободе» не следует, однако, забывать, что всякая «централизация» приводит к потере именно той гибкости, которую обеспечивает СКС при возможных изменениях конфигурации инженерных систем.

Топология оптического канала в магистральных (здания и территории) подсистемах СКС представлена на рис. 11.1, а топологические варианты каналов в горизонтальной подсистеме и магистрали здания — на рис. 11.2.



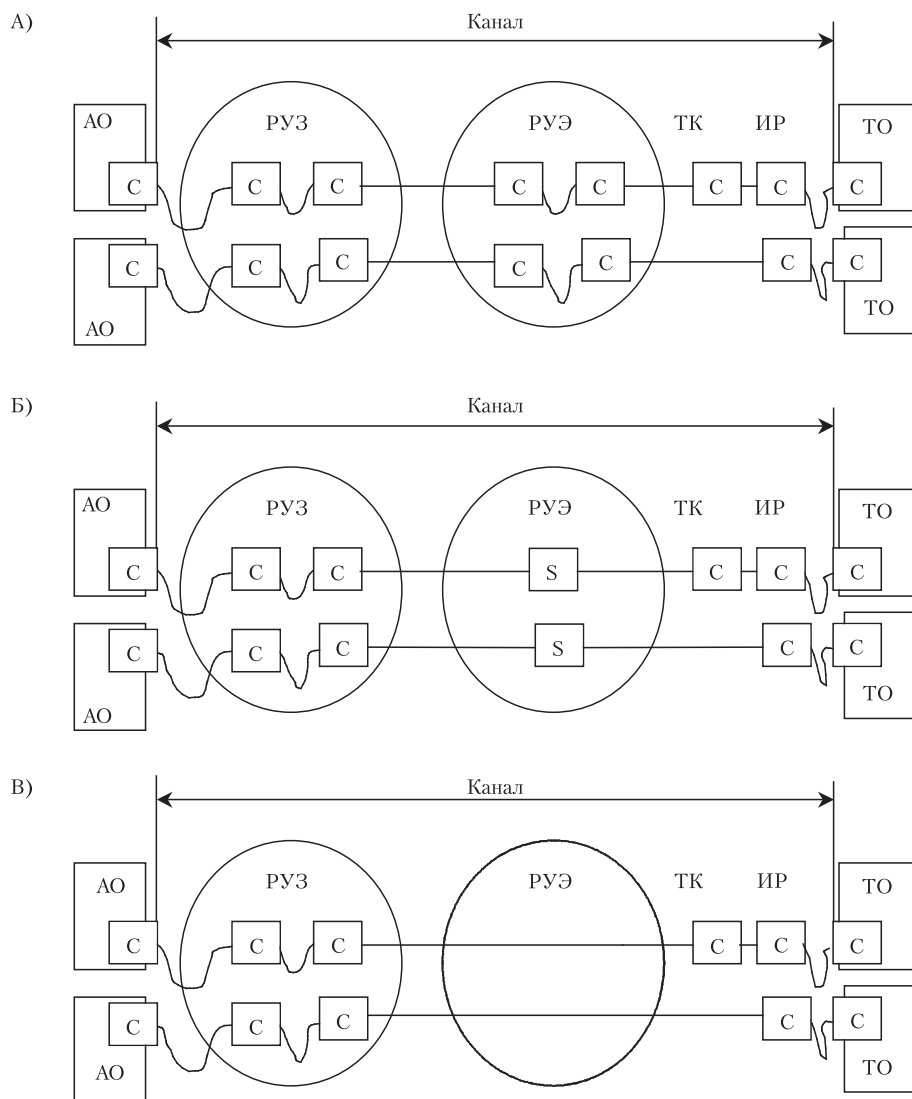
РУТ, РУЗ, РУЭ — распределительные устройства территории, здания, этажа;

ШО, ШК — шнуры оборудования и коммутационные;

с — соединитель;

АО — активное оборудование

Рис. 11.1. Схема волоконно-оптического канала в магистральных подсистемах СКС



АО, ТО — активное и терминальное оборудование; РУЗ, РУЭ — распределительные устройства здания и этажа; ТК — точка консолидации; ИР — информационная розетка; С — соединитель; S — сплайс

Рис. 11.2. Варианты конфигураций волоконно-оптических каналов в подсистемах (магистральной здания и горизонтальной):  
А) со шнурами, Б) со сплайсами, В) прямой канал

В отличие от электрической части СКС при терминировании волоконно-оптических кабелей в распределительных устройствах могут быть использованы разъемные соединители (коннектор и адаптер) и сплайсы — одноразового и многоразового использования. Три варианта конфигураций оптического канала, показанные на рис. 11.2, представляют канал с коммутационными шнурами (англ. patched channel), канал со сплайсами (англ. spliced channel) и прямой канал (англ. direct channel), в котором не нужно РУЭ.

Для того, чтобы скомпенсировать большое число соединителей и сплайсов в оптическом канале данного класса (особенно в канале с коммутационными шнурами), можно уменьшить общую длину канала так, чтобы этим уменьшением компенсировать потери в многочисленных соединениях.

Задержка сигнала, важная для многочисленных приложений, рассчитывается по известной длине ВОК в канале и его характеристикам.

#### **11.4. Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к ослаблению в волоконно-оптических каналах СКС**

Ослабление в волоконно-оптических каналах специфицировано в стандарте ISO/IEC 11801:2002(E) при следующих условиях:

- общие потери, обусловленные всеми соединителями в канале, не превышают 1,5 дБ. Дополнительные соединения можно использовать, если позволяет бюджет мощности используемого оборудования;
- ослабление в канале должно измеряться в соответствии с документом ISO/IEC TR 14763-3;
- ослабление в каналах и стационарных линиях на специфицированной длине волны не должно превышать суммы специфицированных значений ослабления на этой длине волны всех компонентов, составляющих этот канал или стационарную линию (при этом ослабление в кабеле подсчитывается как произведение его коэффициента ослабления на его длину).

Требования к ослаблению каналов приведены в табл. 11.2, где указаны максимально допустимые стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) значения ослабления.

**Таблица 11.2.** Максимально допустимое ослабление, дБ, в оптических каналах СКС в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E).

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

Как видно из табл. 11.2 в СКС, построенной в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E), в случае наихудшего окна прозрачности (0,85 мкм) и канала наибольшей длины (2000 м), ослабление не превышает 8,50 дБ. Активное же оборудование, как правило, нормально работает при затуханиях 11÷15 дБ. Таким образом, СКС способна обеспечить гарантированно работу любого оборудования в отличие от исключительной кабельной системы.

Требования, представленные в табл.11.2, не являются жесткими: стандарт опирается не на рекордные, а на средние характеристики изделий промышленности. На практике при строительстве СКС оказывается, что, во-первых, длина линий и каналов далека от предельной, а, во-вторых, качество кабелей высокое. Оба этих обстоятельства приводят иногда к тому, что активное оборудование нормально не работает. И не потому, что велико затухание, а как раз потому, что оно пренебрежимо мало. Дело в том, что источники света имеют высокие уровни выходной мощности, а приемники — высокую чувствительность. В отсутствие затухания это может приводить к перегрузке приемника, а иногда и к его полному отказу. В таких случаях в оптоволоконный канал должно быть специально внесено затухание определенной величины. Достигается это включением в канал пассивных аттенуаторов (иногда регулируемых) с нужным коэффициентом ослабления.

Важно также то, что при создании СКС величина потерь в каналах и линиях будет определяться качеством инсталляции, поэтому реальные значения потерь не известны до окончания ее монтажа. Так же, как и в электрической части СКС, замечательные проектные решения и приобретение первоклассных волоконно-оптических компонентов могут быть сведены «на нет» неквалифицированным монтажом.

### 11.5. Требования к волоконно-оптическим кабелям

Волоконно-оптические кабели, используемые в СКС, прежде всего должны удовлетворять тем частям стандарта IEC 60794 [51, 52], которые специфицируют тестовые методы и характеристики кабеля, а также требованиям стандарта ISO/IEC 11801:2002(E), изложенным ниже.

Для поддержки различных классов приложений специфицированы четыре типа оптоволокон: три типа многомодовых волокон — *OM1*, *OM2*, *OM3* и один тип одномодового волокна — *OS1*. Затухание в кабелях, используемых в СКС, не должно превышать значений, приведенных в табл. 11.3.

**Таблица 11.3.** Максимально допустимое ослабление ВОК, дБ/км, в соответствии со стандартом 11801:2002(E)

Тип волокна	OM1, OM2, OM3 (м/мод)		OS1 (м/мод)	
Длина волны, нм	850	1300	1310	1550
Ослабление, дБ/км	3,50	1,50	1,00	1,00

Временная задержка сигналов в ВОК определяется, в соответствии с рекомендацией стандарта, умножением длины кабеля на величину 5,00 нс/м, которая соответствует скорости распространения сигнала, составляющей 0,667 от скорости света в вакууме. Для аппаратуры, чувствительной к задержке, рассчитанная таким образом задержка в канале не требует подтверждения измерениями.

Требования к ВОК, используемым в СКС, охватывают три группы характеристик кабелей:

- требования к оптоволокну;
- требования к передаточным характеристикам кабеля;
- требования к физическим характеристикам кабеля.

Для *многомодовых* кабелей требования сводятся к следующим. Оптоволокну должно:

- быть многомодовым;
- иметь градиентный профиль показателя преломления сердцевины;
- иметь размеры  $50\pm 3/125\pm 2$  мкм (тип A1a) или  $62,5\pm 3/125\pm 2$  мкм (тип A1b);
- иметь числовую апертуру, соответствующую оптоволокну типов A1a и A1b по стандарту IEC 60793-2-10 (для A1a —  $0,20\pm 0,02$  или  $0,23\pm 0,02$ , а для A1b —  $0,275\pm 0,015$ ).

Передаточные характеристики для каждого волокна в кабеле должны быть таковыми:

- затухание — в соответствии с табл. 11.3,
- коэффициент широкополосности — в соответствии с табл. 11.4,
- затухание и коэффициент широкополосности должны быть измерены в соответствии со стандартами IEC 60793-1-40 и IEC 60793-1-41, соответственно.

Физические характеристики ВОК должны удовлетворять механическим и климатическим спецификациям стандартов IEC 60794-2 и IEC 60794-3, соответственно.

**Таблица 11.4.** Минимально допустимый стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) коэффициент широкополосности, МГц × км, многомодовых оптоволокон.

				Ввод с модовым переполнением		Лазерный ввод
Длина волны, нм				850	1300	850
Тип волокна	OM1	Диаметр сердцевины, мкм	50 или 62,5	200	500	Не специфицирован
	OM2		50 или 62,5	500	500	Не специфицирован
	OM3		50	1500	500	2000

В вышеперечисленных требованиях к многомодовым ВОК нужно обратить внимание на то, что эти требования должны выполняться для каждого оптоволоконного кабеля, независимо от их числа и независимо от того, будут ли они использоваться в данный момент. СКС строится надолго и при необходимости использовать незадействованное ранее волокно не возникнет лишних проблем. Эти же моменты надо учитывать и при приобретении кабеля.

Также нужно обратить внимание (см. табл. 11.4) на то, что в многомодовых волокнах реально получаемый в инженерной системе коэффициент широкополосности будет зависеть от способа ввода светового излучения в оптоволоконно. Таких способов два: ввод с модовым переполнением (англ. *overfilled launch*) и лазерный ввод (англ. *laser launch*). При последнем способе на волокне типа OM3 на длине волны 850 нм коэффициент широкополосности равен 2000 МГц×км. Если взять полосу пропускания частот, обеспечиваемую электрическим кабелем кат. 7 на длине 100 м, которая составляет 600 МГц, и сравнить ее с полосой пропускания многомодового ВОК такой же длины при лазерном вводе, то получим 20 000 МГц — величину недостижимую с помощью электрических кабелей.

Для *одномодовых* кабелей требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) сводятся к следующим.

Во-первых, оптоволоконно должно соответствовать требованиям стандарта IEC 60793-50 к волокну типа B1 и требованиям спецификаций ITU-T G.652.

Во-вторых, передаточные характеристики должны быть такими:

- по затуханию — как в табл. 11.3,
- коэффициент широкополосности не специфицируется,
- критическая длина волны в оптоволоконно в кабеле должна быть не более 1260 нм (т. е. одномодовый режим распространения света гарантирован для длин волн, начиная с 1260 нм и больших).

В-третьих, физические характеристики одномодовых ВОК, так же как и для многомодовых, должны удовлетворять механическим и климатическим спецификациям стандартов IEC 60794-2 и IEC 60794-3, соответственно.

## **11.6. Требования к оптоволоконным соединительным устройствам**

Волоконно-оптические соединительные устройства (коннекторы, адаптеры и сплайсы) должны обеспечивать требуемые стандартом характеристики в диапазоне рабочих температур от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ . В нерабочем состоянии коннекторы и адаптеры должны быть закрыты крышками и колпачками от пыли, а перед каждым соединением торцы наконечников коннекторов должны быть протерты салфеткой, смоченной спиртом.

Для различения одномодовых и многомодовых волокон, а также многомодовых волокон с различными сердцевинами в соединениях, стандарт рекомендует

использовать цветовую кодировку, не оговаривая цвета конкретно. Конкретные цвета указаны только для коннекторов типа SC (дуплексных и симплексных):

- бежевый или черный — для многомодовых с любой сердцевиной оптоволокна;
- голубой, синий — для одномодовых с физическим контактом (PC);
- зеленый — для одномодовых (APC).

Эти же цвета рекомендованы и для коннекторов другого типа, в том числе и для коннекторов SFF.

Требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к механическим и оптическим характеристикам соединительных устройств приведены в табл. 11.5.

**Таблица 11.5.** Механические и оптические характеристики соединительных устройств по стандарту ISO/IEC 11801:2002(E).

Характеристика	Требование	Нормативный документ
Физические размеры (только для IP)	Сочетающиеся размеры и посадки	IEC 60874-19-3 IEC 60874-19-2
<b>Совместимость с кабелями при терминировании</b>		
Наружный диаметр волокна по стеклу, мкм	125	IEC 60793-2, Clause 5 (A1a, A1b) и 32.2 (B1)
Номинальный диаметр буферной оболочки, мм	—	IEC 60794-2, 6.1
Наружный диаметр кабеля, мм	—	IEC 60794-2, 6.1
Механическая надежность, циклов, не менее	500	IEC 61300-2-2
<b>Передаточные характеристики состыкованного соединения</b>		
Потери ввода (insertion loss), дБ, не более	Сплайс — 0,3	IEC 61073-1
	Иные — 0,75	IEC 61300-3-34
Возвратные потери (return loss), дБ, не менее	Многомодовые — 20	IEC 61300-3-6
	Одномодовые — 35	

Отдельным требованием стоит требование к информационным розеткам (IP) — шнуры рабочего места должны быть оконцованы дуплексным коннектором типа SC-D, т. е. подсоединение к горизонтальной подсистеме на рабочем месте должно осуществляться дуплексной вилкой путем включения ее в дуплексный адаптер. В основе этого требования лежит необходимость предотвратить неправильное включение шнура случайным пользователем СКС.

В то же время для оконцевания кабелей горизонтальной подсистемы с противоположной стороны розетки, скрытой от пользователя, стандарт рекомендует использовать симплексные коннекторы для обеспечения большей гибкости кабельной системы. Аналогичные рекомендации даны и для коммутационных панелей

в распределительных устройствах: кабели с внутренней стороны панели должны быть оконцованы симплексными коннекторами, а коммутационные шнуры снаружи — дуплексными.

### 11.7. «Полярность» коннекторов и адаптеров

В соответствии со стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) в СКС для обеспечения правильных и быстрых коммутаций и подключений необходимо использовать «ключи» адаптеров и маркировку коннекторов. Вводится, в связи с этим, понятие «полярности» коннекторов (англ. polarity). Коннектор, из которого свет выходит, считается коннектором «А», а коннектор, в который свет входит — коннектором «В».

При маркировке дуплексной розетки или коммутационной панели на сторону, видимую пользователю, наносится буква той полярности, которой обладает вставляемый коннектор. Ясно, что с другой стороны панели в это посадочное место адаптера должен быть вставлен коннектор противоположной полярности. Рекомендуемое стандартом ISO/IEC 11801:2002(E) расположение ключей в дуплексном адаптере и полярность коннекторов представлены на рис. 11.3, где показана схема обозначений полярности относительно ключа адаптера на видимой пользователю стороне панели или розетки.

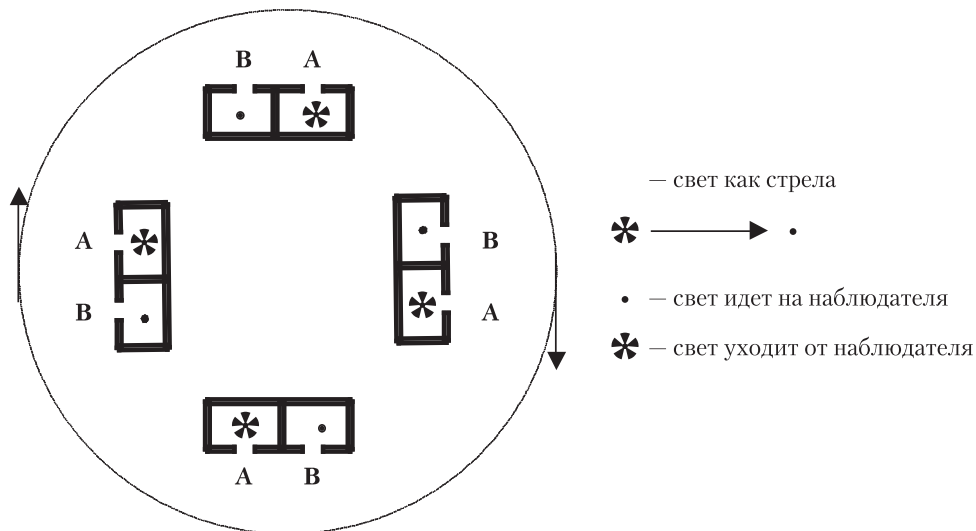


Рис. 11.3. Схема обозначения полярности на лицевой части панели или розетки относительно ключа дуплексного адаптера при любом положении адаптера (буквами на панели указывается полярность того коннектора, который должен быть вставлен в адаптер)



Легко заметить, что при мысленном вращении адаптера по часовой стрелке взаимное положение ключа и буквы полярности не изменяется. Таким образом, при инсталляции можно монтировать адаптер в любом удобном положении, необходимо лишь соблюдать рекомендуемую стандартом полярность.

Вышеизложенные принципы обозначений полярности и расположения ключей стандарт рекомендует использовать при применении соединителей иных типов и, в том числе, коннекторов SFF, а также при инсталляции соединителей в распределительных устройствах и точках консолидации.

Итак, требования стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к волоконно-оптической части СКС отражают ее оптическую специфику, а, кроме того, закрепляют в нормативном виде достижения волоконно-оптической техники за семь лет ее бурного развития, начиная с 1995 года, т. е. с момента выхода первой редакции стандарта.

# Глава XII

## Новейшие технологии волоконно-оптической техники

Очевидные преимущества оптоволокну как среды передачи сигналов, давно используемые в дальних линиях связи, сегодня начинают существенно сказываться в корпоративных сетях связи и, особенно, при построении ЛВС. При необходимости модернизации существующей ЛВС неизбежно встает вопрос о том, какие компоненты нужно использовать в горизонтальной подсистеме. Стремление обеспечить как можно больший период эксплуатации капитальной СКС, с одной стороны, и быстроедействие ЛВС вплоть до 100–1000 Мб/с, с другой стороны, приводит к необходимости использовать «волокно до рабочего места» (англ. fiber to the desk, FTTD). При этом, использование в ЛВС медиаконвертеров еще позволяет использовать имеющуюся аппаратуру до последнего дня ее «морального» устаревания.

Высокая стоимость электрических компонентов категорий 5, 6, и 7, сложность тестирования электрических каналов и дорогостоящее измерительное оборудование, невозможность использования централизованной архитектуры СКС, которое влечет за собой необходимость в большом числе телекоммуникационных комнат, — все это привело сегодня к тому, что решение FTTD оказывается экономически более выигрышным по сравнению с реализацией СКС на традиционных электрических компонентах. По американским данным [53] стоимость порта ЛВС, в которой магистральная кабельная подсистема здания выполнена на оптоволокне, а горизонтальная — на кабеле UTP, составляет (с учетом всех затрат) 883 долларов, а в ЛВС полностью на оптоволокне — 797 долларов. Здесь же указан адрес [www.fols.org](http://www.fols.org), где размещена программа, позволяющая в интерактивном режиме сравнить стоимость оптического и медного решения горизонтальной подсистемы по разным сценариям и ценовым моделям.

В связи с неизбежным в ближайшие годы «проникновением» оптоволокон в СКС и ЛВС, необходимо назвать и кратко пояснить новейшие технологии волоконно-оптической техники [36, 54].

Одной из перспективных технологий является технология мультиплексирования по длинам волн — WDM (англ. Wavelength Division Multiplexing) или спектрального разделения каналов. При использовании этой технологии по одному оптоволокну на различных длинах волн от независимых источников одновременно осуществляется передача сигналов, т. е. создаются независимые каналы передачи. Количество каналов может составлять несколько десятков (т. н. «грубое» мультиплексирование, англ. Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM) или несколько сотен (т. н. «плотное» мультиплексирование, англ. Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM). К сегодняшнему дню уже реализована технология, обеспечивающая 256 каналов по одному волокну [55]. Пока эта технология применяется на дальних линиях связи, но, например, в области ЛВС уже созданы сетевые карточки, в которых свет на двух длинах волн «входит» в компьютер, а на двух других — «выходит». Это означает, что дуплексная связь компьютера с другими сетевыми устройствами может быть осуществлена на одном волокне, что вдвое сокращает число необходимых волокон и коннекторов, а если еще использовать SFF-коннекторы, то это приводит к уменьшению габаритов и стоимости аппаратуры.

Наиболее близкой к массовому распространению является технология изготовления интегральных полупроводниковых лазеров, т. н. технология VCSEL (от англ. Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL, т. е. поверхностно излучающий лазер с вертикальным резонатором; произносится «виксел» с ударением на втором слоге). Зеркала резонатора в таких лазерах изготавливаются в виде полупрозрачных слоев одновременно с изготовлением излучающего  $p$ - $n$  перехода (т. е. по интегральной технологии). Интегральные лазеры VCSEL излучают в диапазоне длин волн от 750 до 1000 нм, потребляют небольшую мощность, допускают высокоскоростную модуляцию и оказываются существенно дешевле «дискретных» лазеров. Предполагается, что в ближайшие 2–3 года использование технологии VCSEL позволит снизить стоимость сетевой оптической аппаратуры почти в три раза (!), что при существенных преимуществах оптоволокон как среды передачи приведет к повсеместному использованию оптоволокон на рабочем месте пользователя ЛВС.

Совершенствуются и технологии производства оптоволокон. Возникают их совершенно новые виды, например, «дырчатое» оптоволокно [56], обладающее малым затуханием и обеспечивающие одномодовый режим во всем спектральном диапазоне прозрачности кварца.

Получены кварцевые оптоволокон с рекордно малым затуханием [57], не превышающим 0,160 дБ/км в диапазоне длин волн 1520–1606 нм, которые могут позволить увеличить расстояние между регенераторами в линии связи до 400 км.

Создаются пластиковые оптоволокна [58] с затуханием 30 дБ/км, способные работать на длинах волн 650, 850 и 1300 нм при температурах до 150°С и обеспечивать на расстояниях до 1 км скорости передачи данных 1–10 Гбит/с. В ЛВС при небольшой длине линий (порядка 40–60 м) их приемлемые передаточные характеристики, простота оконцевания, дешевизна инструмента и коннекторов могут сыграть решающую роль при выборе среды передачи сигналов.

Волоконно-оптическая техника развивается сегодня высокими темпами на основе новейших достижений электроники, лазерной техники, оптики, сверхчистых материалов и т. д. Поистине у нее открылось сегодня «второе дыхание». Теоретические расчеты показали [59], что предельная скорость передачи информации по оптоволокну составляет 100 Тбит/с. Реализованные сегодня на практике скорости составляют около 5 Тбит/с, а это означает, что волоконно-оптическая техника сегодня еще имеет значительные перспективы развития.

## Заключение

Деятельность любого современного предприятия и учреждения, независимо от их размеров и вида собственности, немыслима сегодня без широкого использования информационных технологий. Это означает, что каждому предприятию необходимы телефонная связь, локальная вычислительная сеть, телевидение, системы охраны и много других инженерных систем, нуждающихся в передаче сигналов по всей территории предприятия и его филиалов. То есть, на любом предприятии должна существовать развитая телекоммуникационная инфраструктура, обеспечивающая транспортировку потоков информации (англ. Information Transport System, ITS). Основой такой системы является сегодня структурированная кабельная система — СКС — содержащая электрические и волоконно-оптические кабели и компоненты и способная передавать информацию со скоростями 1 Гбит/с и более.

Создание такой системы, отвечающей требованиям современной аппаратуры связи и обработки информации, требует существенных финансовых затрат и эти инвестиции должны быть оправданы и защищены хотя бы на ближайшие 10–15 лет. Именно создание капитальной СКС, разработанной и смонтированной с выполнением требований и рекомендаций действующих стандартов, решает эту задачу и позволяет предприятию эффективно использовать информационные технологии.

Проектирование, монтаж и эксплуатация современной СКС требуют высокой квалификации персонала, участвующего в этих процессах, а высокие темпы развития информационных технологий и, соответственно, техники СКС диктуют необходимость непрерывного обновления знаний специалистов в этой области.

Хочется надеяться, что данная книга оказалась полезной всем специалистам, так или иначе связанным с телекоммуникациями предприятий.

П. А. САМАРСКИЙ

# Приложения

# **Основные международные стандарты, нормирующие проектирование, инсталляцию и эксплуатацию СКС**

1. ISO/IEC 11801: 2002(E) “Information technology — Generic cabling for customer premises” («Информационная технология — Структурированная кабельная система для зданий и территории заказчика»).
2. ISO/IEC 14763-1: 1999 (E) “Information technology — Implementation and operation of customer premises cabling — Part 1: Administration” («Информационная технология — Изготовление и эксплуатация кабельной системы зданий и территории заказчика — Часть 1: Администрирование»);
3. CEI/IEC 61935-1: 2000 “Generic cabling systems — Specification for the testing of balanced communication cabling in accordance with ISO/IEC 11801 — Part 1: Installed cabling” («Универсальные (структурированные) кабельные системы — Спецификация для тестирования телекоммуникационной кабельной системы на основе симметричных кабелей на соответствие стандарту ISO/IEC 11801 — Часть 1: Инсталлированная кабельная система»);
4. CEI/IEC 61935-1: 2000, Amendment 1:2002-08 “Generic cabling systems — Specification for the testing of balanced communication cabling in accordance with ISO/IEC 11801 — Part 1: Installed cabling” («Приложение 1. Структурированные кабельные системы — Спецификация для тестирования телекоммуникационной

---

кабельной системы на основе симметричных кабелей на соответствие стандарту ISO/IEC 11801 – Часть 1: Инсталлированная кабельная система»);

5. ISO/IEC TR 14763-2: 2000(E) “Information technology – Implementation and operation of customer premises cabling – Part 2: Planning and installation” («Информационная технология – Изготовление и эксплуатация кабельной системы зданий и территории заказчика – Часть 2: Разработка и инсталляция»);
6. ISO/IEC TR 14763-3: 2000(E) “Information technology – Implementation and operation of customer premises cabling – Part 3: Testing of optical fiber cabling” («Информационная технология – Изготовление и эксплуатация кабельной системы зданий и территории заказчика – Часть 3: Тестирование кабельной системы на основе оптоволокна»);
7. ISO/IEC 18010-Ed.1.0 – English “Information technology – Pathways and spaces for customer premises cabling” («Информационная технология – Кабелепроводы и пространства для структурированной кабельной системы зданий и территории Заказчика»);
8. IEC 61935-2 “Generic cabling systems – Specification for the testing of balanced communication cabling in accordance with ISO/IEC 11801 – Part 2: Patch-cords and work area cords” («Структурированные кабельные системы – Спецификация для тестирования телекоммуникационной кабельной системы на основе симметричных кабелей на соответствие стандарту ISO/IEC 11801 – Часть 2: Коммутационные шнуры и шнуры рабочего места»);
9. ISO/IEC 15018:2004 “Information technology – Generic cabling for homes” («Структурированная кабельная система для жилых домов»);
10. ISO/IEC TR 24704: 2004 “Information technology – Customer premises cabling for wireless access points” («Информационная технология – Кабельная система для беспроводных точек доступа в зданиях и на территории заказчика»).



# **Основные американские стандарты, нормирующие проектирование, установку и эксплуатацию СКС**

1. TIA/EIA –568-B.1-2001, “Commercial Building Telecommunications Cabling Standard, Part 1: General Requirements” («Стандарт на телекоммуникационную кабельную систему коммерческого здания, Часть 1: Общие требования»)
2. TIA/EIA –568-B.2-2001, “Commercial Building Telecommunications Cabling Standard, Part 2: Balanced Twisted-Pair Cabling Components” («Стандарт на телекоммуникационную кабельную систему коммерческого здания, Часть 2: Компоненты кабельной системы на основе симметричной витой пары»). Настоящий стандарт действует с дополнениями:
  - TIA/EIA-568-B.2-1-2002, Addendum 1 – Transmission Performance Specifications for 4-pair 100  $\Omega$  Category 6 Cabling («Дополнение 1 – Спецификации передаточных характеристик для кабельной системы на 4-х парных компонентах категории 6 с волновым сопротивлением 100 Ом»)
  - TIA/EIA-568-B.2-2-2002, Addendum 2 («Дополнение 2»)
  - TIA/EIA-568-B.2-3-2002, Addendum 3 – Additional Considerations for Insertion Loss and Return Loss Pass/Fail Determination («Дополнение 3 – Дополнительные условия для определения результатов теста («прошел/не прошел») по параметрам «потери ввода» и «возвратные потери»)

- TIA/EIA-568-B.2-4-2002, Addendum 4 – Solder less Connection Reliability Requirements for Copper Connecting Hardware («Дополнение 4 – Требования к надежности не паяных соединений в соединительном оборудовании»)
3. TIA/EIA- 568-B.3-2000, “Optical Fiber Cabling Components Standard” («Стандарт на волоконно-оптические компоненты кабельной системы»)
  4. TIA/EIA-570-B-2003, “Residential Telecommunications Cabling Standard” («Стандарт на телекоммуникационную кабельную систему жилого здания»)
  5. TIA/EIA-606-A-2002, “Administration Standard for Commercial Telecommunications Infrastructure” («Стандарт администрирования коммерческой телекоммуникационной инфраструктуры»)
  6. TIA/EIA-569-B-2004, “Commercial Building Standard for Telecommunications Pathways and Spaces” («Стандарт на телекоммуникационные кабелепроводы и пространства в коммерческом здании»)
  7. TIA/EIA-607-1994, “Commercial Building Grounding and Bonding Requirements for Telecommunications” («Требования к заземлению и соединению металлических частей телекоммуникаций в коммерческом здании»)
  8. TIA/EIA-758-1999, “Customer-Owned Outside Plant Telecommunications Cabling Standard”(«Стандарт на наружную телекоммуникационную кабельную систему, принадлежащую заказчику»). Настоящий стандарт действует с дополнением:
    - TIA/EIA-758-1-1999, Addendum 1 (Дополнение 1)
  9. ANSI/NECA/BICSI 568-2001, “Standard for Installing Commercial Building Telecommunications Cabling” («Стандарт на установку телекоммуникационной кабельной системы коммерческого здания»)
  10. TIA/EIA-862-2003, “Building Automation Systems Cabling Standard for Commercial Buildings” (Стандарт на кабельную систему коммерческих зданий для систем автоматизации здания»).

## Соотношение диаметров проводника в калибрах AWG и миллиметрах

(источник "Cabling Installation & Maintenance", 1997, v.5, №6, p.50)

Калибр AWG	Номинальный диаметр, мм	Калибр AWG	Номинальный диаметр, мм	Калибр AWG	Номинальный диаметр, мм
10	2,60	21	0,724	31	0,226
11	2,30	22	0,643	32	0,203
12	2,05	23	0,574	33	0,180
13	1,83	24	0,511	34	0,160
14	1,63	25	0,455	35	0,142
15	1,45	26	0,404	36	0,127
16	1,29	27	0,361	37	0,114
17	1,15	28	0,320	38	0,102
18	1,02	29	0,287	39	0,089
19	0,912	30	0,254	40	0,079
20	0,813				

При известном калибре AWG диаметр проводника в миллиметрах можно рассчитать по формуле:

$$d_{\text{мм}} = 92^{\frac{36-\text{AWG}}{39}} * 0,127$$

## **Минимальный перечень инструмента для монтажника электрической части СКС (цены ориентировочные)**

1. Обрезной инструмент для зачистки 4-х парного кабеля UTP, CPT-WEB-IT, 1 шт, \$8.
2. Ударный инструмент на один проводник (без лезвия типа 110), S814-IT, 1 шт, \$86.
3. Сменное лезвие типа 110 для ударного инструмента S814-IT, S81401-110-88-IT, 1 шт, \$33.
4. Ударный инструмент на 5 пар типа 110, S788J1-IT, 1 шт, \$186.
5. Крючок диаметром 3 мм, 1 шт, \$1.
6. Кусачки боковые, 1 шт, \$2.
7. Пассатижи, 1 шт, \$3.
8. Нож складной, 1 шт, \$1.
9. Отвертка с плоским жалом 4 мм, 1 шт, \$1.
10. Отвертка с крестовым жалом 4 мм, 1 шт, \$1.

Общая стоимость инструмента по перечню (ориентировочно) — \$ 322.

# **Перечень инструмента и материалов для оконцевания оптоволокну по клеевой технологии**

1. Каттер для внешних оболочек волоконнооптических кабелей (ВОК).
2. Стриппер для буферных оболочек оптоволокну.
3. Ножницы для кевларовой оплетки ВОК.
4. Клещи обжимные для коннекторов («губки» подбираются под конкретные коннекторы).
5. Скалыватель (скрайбер) оптоволокну ручной.
6. Подложка (упругая) для полировки торца наконечника.
7. Шайба для полировки торца наконечника.
8. Нож складной.
9. Пинцет с миниатюрными губками для осколков оптоволокну.
10. Контейнер закрывающийся миниатюрный для осколков оптоволокну.
11. Микроскоп (с увеличением в 100 или 200 раз) для определения качества полировки торца наконечника.
12. Расходные материалы:
  - изолента
  - бумага шлифовальная (зерно диаметром не более 5 мкм)
  - бумага полировальная (зерно диаметром не более 1 мкм)
  - спирт-ректификат
  - безворсовые салфетки
  - адгезив (клей)
  - праймер (инициатор полимеризации)
  - шприц для адгезива
  - шприц для праймера
  - иглы специальные для шприцев
  - мандрил (стальные проволоочки диаметром 100 мкм для прочистки наконечников).

## **Последовательность операций при оконцевании дуплексного волоконнооптического кабеля внутриобъектовой прокладки коннекторами типов ST и SC**

1. Надрезать внешнюю оболочку кабеля и раздвинуть ее на два «хвоста».
2. Надеть на внешнюю оболочку кабеля резиновый хвостовик коннектора.
3. Надеть на внешнюю оболочку кабеля металлическую втулку (обратить внимание на вальц).
4. Отмерить по коннектору и снять внешнюю оболочку кабеля.
5. Отмерить по коннектору и обрезать кевларовые нити.
6. Отмерить и снять буферную оболочку 900 мкм (шагами по  $4 \div 5$  мм!).
7. Снять оболочку 250 мкм (оставив «ступеньку» длиной  $0,5 \div 0,8$  мм ).
8. Протереть волокно спиртом.
9. Вставить волокно в коннектор «насухо».
10. Смочить торец наконечника в «лужице» праймера на салфетке.
11. Наполнить наконечник коннектора адгезивом (клеем).
12. Капнуть праймер на «ступеньку» буферных оболочек.
13. Вставить волокно в коннектор.
14. Капнуть праймер на торец наконечника.
15. Надеть и обжать металлическую втулку.
16. Надеть на втулку хвостовик.
17. Выждать не менее 1 минуты для «схватывания» клея.
18. Промокнуть остатки праймера на торце наконечника.
19. Надрезать волокно и сколоть его.
20. Отшлифовать скол шлифовальной бумагой на весу.
21. Отшлифовать торец наконечника шайбой (зерно  $\leq 5$  мкм).
22. Отполировать торец наконечника шайбой ( зерно  $\leq 1$  мкм).
23. Протереть коннектор спиртом.
24. Проконтролировать поверхность торца наконечника микроскопом.
25. Надеть на коннектор защитный колпачок.

## **Последовательность операций при монтаже бесклеевого коннектора (технология QwikConnect™, Mohawk/CDT, США)**

1. Закрепить на столе струбцину и держатель коннектора.
2. Вставить коннектор в держатель.
3. Надеть хвостовик и обжимную втулку на кабель.
4. Зачистить волокно и протереть спиртом.
5. Сколоть волокно.
6. Вставить волокно в коннектор.
7. Обжать хвостовик коннектора на буферную оболочку 0,9 мм.
8. Обрезать кевлар.
9. Надвинуть обжимную гильзу.
10. Обжать гильзу.
11. Зафиксировать хвостовик на коннекторе.
12. Вынуть готовый коннектор из держателя.

## **Последовательность операций при сборке механического сплайса CORELINK™ (AMP, США)**

1. Закрепить сплайс в рабочей станции.
2. Открыть пружину сплайса специальными ключами с двух сторон.
3. Зачистить и сколоть оптоволокно.
4. Ввести его в сплайс.
5. Повторить то же со вторым волокном.
6. Убедиться в контакте волокон.
7. Закрыть пружину с двух сторон с помощью ключей.
8. Вынуть готовый сплайс.



## Список литературы

1. Семенов А. Б., Стрижаков С. К., Сунчелей И. Р., Структурированные кабельные системы, 5-е изд., М.: Компания АйТи, «ДМК Пресс», 2004, стр. 640, илл.
2. Semenov A. B., Strizhakov S. K., Suncheley I. R., Structured Cable Systems, transl. by N. Bolotnik and J. Bogatova, Berlin, "Springer — Verlag", 2002, p. 607, ill.
3. Семенов А. Б., С. К. Стрижаков, П. А. Самарский, Структурированная кабельная система АйТи-СКС, Москва, «Академия АйТи», 1998, стр. 142, илл.
4. П.А. Самарский, Структурированная кабельная система АйТи-СКС. Введение, (уч. пос. для руководителей), Москва, «Академия АйТи», 2001, стр. 28, илл.
5. S. Brooks, G. Flook, Guide to Structured Cabling, "ANIXTER", White Paper, p. 78.
6. Дж. Харкер, П. Бекон, Дж. Снайдер и др., Интеллектуальные здания. Проектирование и эксплуатация информационной инфраструктуры, пер. с англ., Москва, «Сети МП», 1996, стр. 155, илл.
7. В. Демин, Что нам стоит интеллектуальный дом построить, «Корпоративные системы», 2002, № 2, стр. 16—19.
8. B. Milligan, New standard defines building automation installation, "Cabling Installation & Maintenance", 2003, No. 2, p.p. 29—31.
9. Богатов А., Особенности национальной сертификации // Сетевой журнал. 2004. № 4 (48). Стр. 60—65.
10. BICSI Telecommunications Dictionary, 2nd Ed., Tampa, 2002, BICSI.
11. Structured cabling. Foundation for the Future, "ANIXTER Technology White Paper", 1996, p. 4.
12. D. E. Harshbarger, G. Sellard, A Tutorial on Centralized Optical Fiber Cabling Networks, Part II, "Cabling Business Magazine", 1998, v.8, No. 10, p.p. 68—71.
13. Structured Cabling System, IEC Web ProForum Tutorials, "International Engineering Consortium", 2002, vol. 9, p.p. 1/19—19/19 ([www.iec.org](http://www.iec.org))
14. А. Семенов, П. Самарский, Обновление международных стандартов на структурированные кабельные системы и перспективы их развития, «Журнал сетевых решений/LAN», 2001, июнь, стр. 63—72.
15. Основы теории цепей, Уч. пос. для ВУЗов, 4-е изд., М., «Энергия», 1975 г., стр. 516.

16. R. Cliche, Get to the source of the problem faster, "Cabling Installation & Maintenance" 2002, No. 6.
17. A. S. Powell, A new era ahead for cable management software, "Cabling Installation & Maintenance" 2001, May, p.p. 37–42.
18. А. Б. Семенов, Системы интерактивного управления СКС, «Журнал сетевых решений/LAN», 2002, № 2, стр. 65–72.
19. А. Б. Семенов, Защита от некорректной коммутации в СКС, «Журнал сетевых решений/LAN», 2003, июль-август, стр. 58–69.
20. 2003 Byer's Guide, A supplement to "Cabling Installation & Maintenance", 2003, March, p. 127.
21. John R. Vacca, The Cabling Handbook, 2nd ed., New-York, "Prentice Hall PTR", 2001, p. 1310.
22. А. Б. Семенов, Проектирование и расчет структурированных кабельных систем и их компонентов, М., «ДМК Пресс», М., «Компания АйТи», 2003, стр. 416.
23. D. Morrison, Boiling down the 606 – A labeling standard, "Cabling Installation & Maintenance", 2003, June, p.p. 23–28.
24. НПБ-248-97. Кабели и провода электрические. Показатели пожарной опасности. Методы испытаний., М., 1998, ВНИИПО МВД России.
25. Q&A, "Network Cabling News", June, 2001, p.p. 68–69.
26. Врезной контакт: критерии выбора и требования к технике, «Connect! Мир связи», 1999, № 2, стр. 134–135.
27. Testing proves most cords fail TIA requirements, 2003, "Product Focus", Quabbin Wire & Cable Co., p. 2, <http://www.quabbin.com>
28. И. Г. Смирнов, Должны ли кабельные системы быть структурированными?, «Вестник связи», 1998, № 12, (<http://www.intelbuild.ru/tech/13.htm>)
29. Д. Бейренд, Пять устройств в сравнении, «Журнал сетевых решений/LAN», 2003 г., февраль, стр. 76–79.
30. Н. И. Калитеевский, Волновая оптика, «Наука», М., 1971, стр. 376.
31. Г. Мальке, П. Гессинг, Волоконно-оптические кабели, пер. с англ. А. Краева, «Издатель», Новосибирск, 1997, стр. 265.
32. Дж. Гауэр, Оптические системы связи, пер. с англ. под ред. А.Н. Ларкина, «Радио и связь», М., 1989, стр. 504.
33. А. Б. Семенов, Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи, «КомпьютерПресс», М., 1998, стр. 30.
34. И.С. Гоноровский, Радиотехнические цепи и сигналы, «Советское радио», М., 1967, Ч. I, стр. 439.
35. The Basics of Telecommunications, "International Engineering Consortium", Chicago, 2002, p. 421.
36. Волоконно-оптическая техника: история, достижения, перспективы. Сб. статей под ред. Дмитриева С. А., Слепова Н. Н., М., Изд. "Connect", 2000, стр. 376.
37. Д. В. Иоргачев, О. В. Бондаренко, Волоконно-оптические кабели и линии связи, «Эко-Трендз», М., 2002, стр. 282.
38. Э. Л. Портнов, Оптические кабели связи. Конструкции и характеристики,

- «Горячая линия-Телеком», М., 2002, стр. 230.
39. Д. Д. Стерлинг, Техническое руководство по волоконной технике, «ЛОРИ», М., 1998.
40. Lennie Lightwave's Guide to Fiber Optics. Fiber Optic Cable, [http://www.fotec.com/len\\_11.htm](http://www.fotec.com/len_11.htm), 1999, p.p. 1–6.
41. Д. Дж. Стерлинг, Л. Бакстер, Кабельные системы, 2-е изд., М., «Лори», 2003, стр. 313.
42. А. Г. Свинцов, Оптические соединители в ВОСП, «Фотон-Экспресс», 2003, № 4(30), стр. 14–17.
43. В. Н. Репин, Волоконно-оптические соединители. Краткий обзор элементной базы, «Фотон-Экспресс», 2003, № 4(30), стр. 18–22.
44. Методы терминирования волоконного коннектора, The Siemon Company, Technical Articles, 2000, [http://www.siemon.com/russian/references/tech/term\\_meth.html](http://www.siemon.com/russian/references/tech/term_meth.html), p.p. 1–12.
45. B. Ziobron, Small-form-factor connectors: Where are they now?, “Cabling Installation & Maintenance”, 2003, April, p.p. 35–38.
46. Каталог «СвязьКомплект™», ООО «ИМАГ», 2003 год, 102 стр. [www.skomplekt.com](http://www.skomplekt.com)
47. B. Ziobron, Optical — fiber cleaver manufacturers making a good thing even better, “Cabling Installation & Maintenance”, 2002, November, p.p. 37–42.
48. Новое поколение аппаратов для сварки оптических волокон, «Технологии и средства связи», ООО «Гротек», 2003, № 1(34), стр. 36–37.
49. J. Hunt, Piecing together. Optical — splicing products, “Cabling Installation & Maintenance”, 2003, July, p.p. 36–40.
50. F. A. Fons, How to properly polish fiber-optic connectors, “LightWave”, February 1997, v. 14, No. 2, p.p. 66–70.
51. IEC 60794-2: 1989 Ed. 4.1, Optical fibre cables — Part 2: Product specification (indoor cable).
52. IEC 60794-3 (all parts), Optical fibre cables — Part 3: Sectional specification—outdoor cables.
53. D. Cook, Fiber-to-the-desk is cost-effective today, “LightWave”, 2002, November, p.p. 51–54.
54. Д. Гринфилд, Оптические сети, ООО «ТИД “ДС”», М., 2002, стр. 256.
55. “LightWave”, 2002, July, p. 11.
56. В. Т. Потапов, Фотонные кристаллы и оптические волокна на их основе, «Фотон-Экспресс», март 2003, № 1(27), стр. 7–10.
57. Оптическое волокно с рекордно малой величиной затухания, “LightWave. Russian Edition”, 2003, № 1, стр. 8–9.
58. M. Peach, Nexans to manufacture plastic optical fibre, “LightWave. Europe”, 2002, June, p. 12.
59. Scientists at Lucent Technologies' Bell Labs calculate theoretical limits of fiber optic communications, “LightWave”, 2001, June <http://www.lucent.com/press/0601/010628.bla.html>

## Предметный указатель

### **A**

acceptance testing, 103  
ACR, 53, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 104, 106  
APC, 159, 187  
attenuation, 100, 170  
AWG, 89, 90

### **B**

BAS, 18  
BMS, 22  
breakout cable, 153  
buffer, 128, 150  
building management system, 22

### **C**

cable sharing, 84  
centralized cabling, 21  
cladding, 118, 128  
CMS, 72-74  
coating, 128  
compliance testing, 103  
connecting hardware, 96  
connection block, 94  
core, 118, 128  
cost of owning, 21  
CWDM, 191

### **D**

direct channel, 183  
dispergo, 141  
distribution cable, 153  
duplex cable, 153

### **F**

female connector, 94  
ferrule, 158  
FTTD, 190  
fusion splicer, 168

### **G**

generic cabling, 21  
GOF, 112

### **H**

handheld pocket cleaver, 166

### **I**

insertion loss, 52, 175

### **J**

jack, 94

### **K**

Kevlar, 151

**L**

laser launch, 186  
 level, 106  
 LightCrimp, 167  
 loose tube, 150  
 LSOH, 154

**M**

male connector, 94  
 mode, 123  
 modular jack, 94  
 modular plug, 94  
 monotube, 151  
 MUTOA, 42, 78, 99

**N**

NA, 131, 132, 148, 180  
 NMS, 72  
 Numerical Aperture, 131  
 NVP, 108

**O**

OFNP, 154  
 optical fiber, 87, 112  
 optical receiver, 115  
 optical transmitter, 115  
 overfilled launch, 186

**P**

patched channel, 183  
 patch panel, 92  
 PC, 159, 187  
 pigtail, 161  
 plenum rated cable, 87  
 plug, 94  
 POF, 112  
 polarity, 188  
 precision desktop cleaver, 168  
 proprietary cabling, 21  
 protective sleeve, 156

**Q**

QuickConnect, 167

**R**

reference testing, 103  
 return loss, 170, 175, 187

**S**

SFF-коннектор, 159, 164, 187, 189, 191  
 shielded twisted pair, 89  
 simplex cable, 153  
 smart building, 17  
 socket, 94  
 SPC, 159  
 splice, 91, 113, 155  
 spliced channel, 183  
 structured cabling, 21  
 SUTOA, 42

**T**

T568A, 94  
 T568B, 94  
 tight buffer, 150  
 transceiver, 116

**U**

UniCam, 167  
 unshielded twisted pair, 89  
 UPC, 159

**V**

VCSEL, 191  
 Visual Fault Locator, 170

**W**

WDM, 191  
 wiring block, 92

**A**

адаптер, 158, 159, 161, 183, 187, 188, 189  
 администрирование, 23, 42, 66, 72, 74  
 американский калибр, 89  
 апертура, 129-132  
 апертурные потери, 133  
 аппаратная, 44  
 АСУЗ, 18

**Б**

Бел, 136  
 балун, 40, 41

**В**

ввод с модовым перепополнением, 186  
 виксел, 191  
 вилка, 30, 31, 32, 35, 36, 76, 77, 94, 159  
 внутримодовая дисперсия, 145  
 возвратные потери, 100, 106, 170, 175  
 ВОК, 112–114, 150–154, 160, 183–186  
 волноводная дисперсия, 143  
 волновое сопротивление, 49, 102, 129  
 волновое число, 124, 141  
 волновой пакет, 125, 140  
 волновой язык, 122  
 волоконно-оптические линии связи,  
     ВОЛС, 112, 113, 114, 115, 116,  
     120, 131, 132, 138, 140, 141, 145  
 волоконно-оптический кабель, 40, 87,  
     127, 128, 132, 148, 150, 152, 154,  
     160, 179, 184  
 высокая экономическая эффектив-  
     ность, 22

**Г**

гибкий волоконный световод, 113  
 гибкость, 21, 128, 179  
 гибридная технология, 163  
 гидрофобный гель, 151–153  
 гнездо, 30–32, 35–37, 76, 77, 94, 159  
 горизонтальная подсистема, 34  
 государственный сертификат, 18  
 градиентное оптоволокно, 126  
 грубое мультиплексирование, 191  
 групповая скорость, 142, 144, 145

**Д**

дециБел, 136  
 дисперсия электромагнитных волн,  
     145  
 дифференциальное сечение  
     рассеяния, 134

длительность вершины, 139  
 длительность импульса, 139, 140, 143  
 длительность среза, 139  
 длительность фронта, 139, 145  
 дополнительные компоненты, 28  
 дополнительные потери, 133  
 допустимая мощность постоянного  
     тока, 64  
 допустимое значение постоянного  
     тока, 64  
 дуплексная связь, 191  
 дуплексный кабель, 153

**З**

задержка, 20, 62, 63, 98, 170, 171, 185  
 закон Бугера-Ламберта-Бера, 135  
 закон преломления, 120  
 закон Рэлея, 134  
 затухание, 20, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56,  
     57, 59, 60, 61, 62, 70, 83, 99, 100,  
     104, 113, 114, 117, 118, 120, 129,  
     135, 136, 137, 148, 184, 185  
 затухание световода, 136, 137  
 защитная гильза, 156, 157, 168  
 запись, 67

**И**

идеальный коннектор, 172, 176  
 идентификатор, 41, 67, 69, 70, 71  
 избыточность, 40  
 изготовление оптоволокон, 127  
 ИКС, 21, 22, 44  
 иммерсионный гель, 138, 155, 156  
 иммерсия, 133, 173  
 интенсивность света, 139, 147, 148  
 интер-коннект, 34, 35, 77, 78, 95  
 интеллектуальное здание, 17  
 информационная розетка, 29, 31, 36, 42,  
     76, 77, 94  
 информационный разъем, 81, 94  
 ИПДУ, 66, 67, 70, 80  
 исключительная кабельная  
     система, 21, 84

**К**

кабелепровод, 44, 67  
 кабели  
   — внешней прокладки, 150  
   — внутриобъектовой прокладки, 150  
   — точки консолидации, 29, 31  
 канал, 4, 37, 38, 45, 47, 48, 51, 53, 54, 55, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 106, 156, 178, 179, 182, 183, 184  
 канал со сплайсами, 183  
 канал с коммутационными шнурами, 183  
 капитальная система, 17  
 категории компонентов, 76  
 кевлар, 166  
 классы каналов, 45, 179  
 классы оптических каналов, 179  
 клеевая технология, 165  
 коммутационные панели, 30, 31, 92, 93, 96  
 коммутационный шнур, 28, 81  
 комната оборудования, 44, 67  
 коннектор, 8, 93, 94, 115, 116, 138, 159, 160, 164, 172, 175, 176, 183, 188  
 коннектор «А», 188  
 коннектор «В», 188  
 коннектор с малым форм-фактором, 159  
 концепция кабельной системы  
 коэффициент  
   — передачи, 135, 136, 137  
   — широкополосности, 146, 147, 148, 185, 186  
   — широкополосности оптоволокна, 146  
 критерий теста, 106, 107  
 кросс-коннект, 34, 35, 77, 78, 79, 80  
 кроссовая, 44  
 кроссовые блоки, 27, 30, 92, 93, 96  
 кроссовые перемычки, 41  
 критическая длина волны  
   в оптоволокне, 186

**Л**

лазерный ввод, 186  
 линия без искажений, 49, 129  
 линия без потерь, 49  
 линия точки консолидации, 38  
 логарифмические единицы отношения, 136  
 логарифмический коэффициент передачи, 136  
 лучевой язык, 119, 121, 130

**М**

магистральная подсистема  
   — здания, 34  
   — территории, 29, 34  
 метка, 67, 71, 90  
 мультивендорная, 26  
 малодымная оболочка, 154  
 материальная дисперсия, 141, 143  
 межмодовая дисперсия, 145  
 механизмы рассеяния, 134  
 механическая технология, 163  
 механический сплайс, 156, 161, 167  
 микрокабель, 154  
 миникабель, 154  
 многомодовая система, 124  
 многомодовые оптоволокна, 124  
 мода, 123, 124, 125, 143  
 модовый состав волн, 125  
 модульная конструкция кабеля, 151  
 монотьюбная конструкция кабеля, 151  
 монохроматическая электромагнитная волна, 125  
 монтажный шнур, 161  
 мультиплексирование по длинам волн, 179

**Н**

наконечник, 158, 159, 163, 167, 176  
 напряженность магнитного поля, 121  
 напряженность электрического поля, 121  
 наружная буферная оболочка, 128

наряд на выполнение работы, 67  
 настольные прецизионные  
     скальватели, 168  
 натуральный показатель:  
     — поглощения, 135  
     — рассеяния, 134  
     — экстинкции, 135  
 неразъемные соединители, 113, 154  
 неразъемные соединители оптоволо-  
     кон, 113  
 несущая частота, 113  
 неэкранированная витая пара, 89  
 низкие трудозатраты  
     на эксплуатацию, 23  
 ножницы для кевлара, 166  
 нормальная мода, 124, 127, 144  
 нормальные волны, 123, 141  
 нормированное на потери ввода  
     переходное затухание на  
     — ближнем конце, 60  
     — дальнем конце, 62

## О

оболочка, 128, 159, 175  
 одномодовые оптоволоконна, 129, 159  
 окна прозрачности, 184  
 оконцевание волокна, 165  
 определитель обрывов, 170  
 оптическая полка, 155, 160, 168  
 оптический  
     — волновод, 112, 117  
     — передатчик, 115  
     — приемник, 115  
 ослабление в волоконно-оптических  
     каналах, 183  
 основа телекоммуникационной  
     инфраструктуры, 16  
 открытый офис, 29, 42, 96

## П

параксиальный пучок света, 120  
 патч-панели, 92-94  
 первая буферная оболочка, 128

перекося задержек, 5, 62, 63, 98, 106  
 переходное затухание на  
     — ближнем конце, 55, 60, 104  
     — дальнем конце, 56, 62, 104  
 пленум-полости, 87  
 пленумный кабель, 88  
 плотное мультиплексирование, 191  
 поверхностно излучающий лазер с вер-  
     тикальным резонатором, 191  
 поглощенный свет, 134  
 показатель  
     — коррозионной активности продук-  
         тов горения, 86  
     — преломления, 118, 123, 127, 130, 133,  
         141, 156, 175  
     — токсичности продуктов горения, 86  
     — экстинкции, 135  
 полное внутреннее отражение, 120  
 полное сечение рассеяния, 134  
 полностью диэлектрический  
     кабель, 151  
 полярность коннекторов, 188  
 помехозащищенность, 113  
 поперечное сечение оптоволоконна, 118  
 поперечные волны, 121  
 постоянная линия, 39  
 потери ввода, 52, 53, 57, 60, 61, 62, 78,  
     79, 106, 175, 180  
 предел жаростойкости кабеля, 85  
 предел прочности стекла, 149  
 предел распространения горения, 85  
 прецизионный скальватель, 157, 168  
 приемопередатчик, 116  
 приемочное тестирование, 103, 105  
 принцип действия оптоволоконна, 119,  
     120, 122  
 проблема интероперабельности, 23  
 проблема обратной совместимости, 23  
 продольная длина волны, 124  
 продольное волновое число, 124  
 продольные волны, 124  
 пространство, 67, 87, 140  
 просветление, 133



профиль показателя преломления, 126, 185  
 прямой канал, 182, 183

## Р

радиоимпульс, 140  
 разбаланс проводников одной пары по сопротивлению постоянному току, 64  
 разъемные соединители, 113, 154, 158  
 райзер-кабель, 87, 88  
 расплетение пары, 95, 102  
 распределение показателя преломления, 126  
 распределительное устройство  
   — здания, 17, 29, 36, 39  
   — территории, 29, 30, 33, 36  
   — этажа, 29, 36, 39, 76, 77  
 распределительные устройства, 27, 34, 41, 44, 91, 149, 160, 181, 182  
 распределительный кабель, 153  
 рассеяние света, 133, 134  
 рассеянный свет, 134  
 расходимость пучка света, 117  
 расчлняющийся кабель, 153  
 расщепитель светового пучка, 116

## С

сварной сплайс, 156, 161, 168  
 сварочный аппарат, 157, 168  
 световод, 117, 118, 120, 123, 125, 131, 132, 138, 140, 141, 143, 144, 145  
 световые импульсы, 125, 138  
 сердцевина, 122, 128, 175  
 сертификат, 18  
 сертификат фирмы, 18  
 сертификация кабельных систем, 18  
 симметрирующие устройства, 40  
 симплексный кабель, 153  
 система управления зданием, 18, 22  
 скалыватель, 157, 167, 168  
 скорость распространения сигнала, 108  
 СКС, 20

собственные волны, 123  
 собственные частоты, 123  
 согласующее устройство, 115, 120  
 соединение оптоволокон, 154-158, 161  
 соединитель, 35, 36, 76, 77, 159, 162  
 соединительный блок, 94  
 сопротивление петли постоянному току, 63, 106  
 спектр поглощения, 135, 138  
 специальные кабели, 150  
 сплайс, 155, 156, 157, 161, 167, 168, 182  
 стандартизация СКС, 23  
 старение оптоволокон, 114  
 стационарная линия, 37, 38, 48, 51, 53, 54, 55, 59, 60, 61, 62, 63, 106  
 структурированная кабельная система, 20, 27  
 структурная схема ВОЛС, 115, 120  
 ступенчатое оптоволокно, 126, 127  
 суммарное нормированное на потери ввода переходное затухание  
   — на ближнем конце, 60  
   — на дальнем конце, 62  
 суммарное переходное затухание  
   — на ближнем конце, 55  
   — на дальнем конце, 56  
 супер-физический контакт, 159  
 схема присоединения пар, 95

## Т

телекоммуникационная комната, 43, 67  
 термоусадочная паста, 152  
 тестирование на соответствие, 103, 105  
 технология IDC, 91, 94  
 тип колебаний, 123  
 типы оптоволокон, 184  
 топология, 34  
 топология оптического канала, 181  
 торговая марка кабельной системы, 18  
 точка консолидации, 29, 31, 36, 76, 77, 182  
 точка перехода, 43  
 трансивер, 116

три главных момента тестирования,  
108

## У

угловая апертура, 130, 131  
угол отражения, 120  
угол падения, 130, 131  
угол преломления, 120  
ультра-физический контакт, 159  
универсальность, 21, 93  
уровни измерительных приборов, 106

## Ф

фазовая скорость волны, 140, 143, 145  
фазовая скорость нормальной волны,  
124  
Федеральный фонд стандартов, 25  
физический контакт, 159  
фольгированная витая пара, 89  
форма световых импульсов, 140  
формула «4-3-4», 33, 34  
функциональные компоненты, 91, 149

## Х

хроматическая дисперсия, 143

## Ц

цвет волокон, 150  
цветовая кодировка коннекторов, 187  
ЦКС, 21  
цуг волн, 125, 140, 143  
цена владения, 21  
централизованная кабельная система,  
21

## Ч

частная кабельная система, 21  
четыре принципа монтажа, 102  
числовая апертура, 129, 130, 132

## Ш

шнур коммутационный, 20, 22, 28, 29,  
40, 41, 81  
шнур оборудования, 29, 31, 41  
шнур рабочего места, 29, 31, 40, 41  
широкополосность ВОЛС, 138

## Э

экранированная витая пара, 89  
экстинкция света, 135  
электромагнитная волна, 121, 125  
эпоксидная технология, 163  
эталонное тестирование, 103



Павел Анатольевич Самарский

# Основы структурированных кабельных систем

Главный редактор *А.Ю. Логинова*  
[aloginova@it.ru](mailto:aloginova@it.ru)

Выпускающий редактор *М.Б. Мирская*

Верстка *И.Э. Нурова*

Оригинал-макет книги подготовлен дизайн-группой ТЕТРУ

Дизайн обложки *О.Э. Родина*

Подписано в печать 31.05.2005 Формат 70x100  $\frac{1}{16}$

Гарнитура «Питербург»

Усл. печ. л. 17,55 + вкл. 1,3

Тираж 3000

Академия АйТи, 117218, Москва, ул. Кржижановского, д.21а  
Департамент учебно-методических разработок «АйТи-Пресс»

Электронные адреса: [www.academy.it.ru](http://www.academy.it.ru),

[www.infobooks.ru](http://www.infobooks.ru), [itpress@it.ru](mailto:itpress@it.ru)

Издательство ДМК Пресс

Главный редактор *Д.А. Мовчан*

[dm@dmkpress.ru](mailto:dm@dmkpress.ru)

Электронные адреса:

[www.dmk-press.ru](http://www.dmk-press.ru), [www.abook.ru](http://www.abook.ru)

тысячи УСПЕШНЫХ  
ПРОЕКТОВ

ОПЫТ



2-15.99  
2-11.31  
2-14.99

ГЛОБАЛЬНАЯ  
ПОДДЕРЖКА



2-65.74  
2-22.36  
2-27.74

20 ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВ  
В РОССИИ И СНГ

ИТ-РЕШЕНИЯ



2-10.994  
2-53.147  
2-456.239

ПОЛНЫЙ  
СПЕКТР УСЛУГ

АйТи

ИТ-координаты  
Вашего бизнеса

КОНСАЛТИНГ

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

АВТОМАТИЗАЦИЯ КЛЮЧЕВЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

ИНФРАСТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ИТ-СЕРВИСЫ: ЗАКАЗНАЯ РАЗРАБОТКА, ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА, ОБУЧЕНИЕ

Компания АйТи  
117218, Москва,  
ул. Кржижановского, 21а, (а/я 116)  
Тел.: (095) 974 7979/80 • 127 9010/12  
Факс: (095) 974 7990 • 129 1275  
E-mail: info@it.ru www.it.ru

Представительства:  
Волгоград: (8442) 23 1060  
Екатеринбург: (343) 378 3340  
Иркутск: (3952) 25 8302  
Казань: (8432) 25 4060

Краснодар: (861) 255 0088  
Красноярск: (3912) 59 1195  
Н. Новгород: (8312) 61 9184  
Новосибирск: (3832) 35 6703  
Омск: (3812) 23 3786

Пермь: (3422) 48 6585  
Ростов-на-Дону: (8632) 40 1540  
Самара: (8462) 77 9191  
Санкт-Петербург: (812) 326 4588  
Тюмень: (3452) 39 9160

Уфа: (3472) 25 3853  
Хабаровск: (4212) 32 9408  
Челябинск: (3512) 66 4639  
Алматы: (3272) 50 8034  
Киев: (38044) 212 0206





**10 лет курсом к знаниям!**

**Структурированная основа вашего бизнеса**

## **Курсы по изучению АйТи-СКС**

**Академия АйТи предлагает вам курсы по структурированным кабельным системам. Наши специалисты, опыт, методологии к вашим услугам.**

### ***Структурированные кабельные системы. Введение***

Целью данного курса является обеспечение слушателей базовыми знаниями в области структурированных кабельных систем и ознакомление с требованиями действующих стандартов к СКС. Слушатели знакомятся со всем кругом вопросов, возникающих в процессе проектирования, монтажа, тестирования, администрирования и эксплуатации СКС. Слушатели получают правильное представление о взаимосвязи активной аппаратуры и кабельной системы, что так важно в современной телекоммуникационной инфраструктуре предприятия.

### ***Основы структурированных кабельных систем. Часть I: Базовые сведения о структурированной кабельной системе и ее электрические компоненты***

Целями данного курса являются: подготовка специалистов в области современных СКС, изучение требований международного стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) и других международных стандартов к структуре, инсталляции, администрированию и тестированию СКС; практическое освоение правильных приемов монтажа компонентов СКС высоких (5, 6 и 7) категорий и тестирования каналов и стационарных линий классов D, E и F. На примере кабельной системы АйТи-СКС слушатели получают представление о наиболее передовых технологиях в области СКС, являющихся основой информационной инфраструктуры современного предприятия, учреждения или фирмы. По окончании занятий слушателям выдается сертификат Академии АйТи установленного образца.

### ***Основы структурированных кабельных систем. Часть II: Базовые сведения об оптоволокне и волоконно-оптические компоненты структурированной кабельной системы***

Цель курса - приобретение слушателями знаний о механизмах распространения света по волоконно-оптическим световодам, о требованиях международного стандарта ISO/IEC 11801:2002(E) к волоконно-оптической части СКС; ознакомление с правильными навыками монтажа волоконно-оптических трактов СКС. В данном курсе на примере кабельной системы АйТи-СКС слушатели получают представление о наиболее передовых волоконно-оптических технологиях в области СКС, являющихся основой информационной инфраструктуры современного бизнеса. По окончании курса слушателям выдается сертификат Академии АйТи установленного образца.

## **Проектирование структурированных кабельных систем**

Целью курса является подготовка проектировщиков СКС из числа инженеров, уже обладающих знаниями в объеме основных инженерных курсов 102 и 103. На примере кабельной системы АйТи-СКС слушатели получают систематизированные знания по проектированию СКС. Рассматриваются типичные проблемы, возникающие в процессе проектирования СКС, и способы их разрешения. Приводятся примеры использования конкретных компонентов СКС для решения специфических задач, возникающих при создании телекоммуникационной инфраструктуры предприятия. Изучаются программные средства, используемые для ускорения процесса проектирования. Знания закрепляются выполнением учебного проекта СКС. Методы проектирования излагаются на основе действующих международных, американских и отечественных нормативов, относящихся к СКС.

## **Структурированная кабельная система АйТи-СКС.**

### **Переподготовка сертифицированных инженеров АйТи-СКС**

В этом курсе слушатели получают сведения о последних изменениях в области стандартизации структурированных кабельных систем и новых продуктах в составе структурированной кабельной системы АйТи-СКС.

## **Основы сетевых технологий и активного оборудования**

Цель курса - систематизированный обзор основ современных сетевых технологий. Изучение курса дает базовые знания, необходимые при изучении других специализированных курсов, предлагаемых в Академии АйТи. Предметом курса являются сетевые стандарты и протоколы, а также технические средства построения и управления ЛВС, их назначение, основы устройства, технические характеристики и возможности, способы применения для обеспечения эффективной работы информационной системы. Содержание курса раскрывается с учетом требований действующих международных стандартов, регламентирующих построение вычислительных сетей.

## **Академия АйТи обеспечивает:**

- международный уровень обучения (авторизация ведущих мировых производителей программного и аппаратного обеспечения)
- подготовку специалистов высокой квалификации (информационные технологии, менеджмент, управление проектами)
- профильность обучения (обучение в соответствии с профилями конкретных должностей)



**academy.it.ru**  
**elearning.it.ru**

117218, Москва

ул. Кржижановского, 21а, (а/я 116)

Тел.: +7 (095) 974 7979 • 974 7980 • 127 9010 • 127 9012

Факс: +7 (095) 974 7990 • 129 1275

E-mail: [academy@it.ru](mailto:academy@it.ru)

Алматы: (3272) 50-8035

Волгоград: (8442) 23-1060

Екатеринбург: (343) 378-3340

Иркутск: (3952) 25-8302

Казань: (8432) 25-4060

Киев: (38044) 272-0206

Краснодар: (861) 210-0631

Красноярск: (3912) 59-1195

Нижний Новгород: (8312) 61-9140

Ростов-на-Дону: (8632) 40-1540

Самара: (8462) 77-9191

Новосибирск: (3832) 40-8139

Омск: (3812) 23-3786

Пермь: (3422) 48-6585

Санкт-Петербург: (812) 32-64588

Тюмень: (3452) 39-9160

Уфа: (3472) 25-3771

Хабаровск: (4212) 32-9408

Челябинск: (3512) 66-4639

# TNT СКС



True  
Network  
Techniques



Структурированные Кабельные Системы

**COLAN**

ООО "КОЛАН"  
[www.colan.ru](http://www.colan.ru)

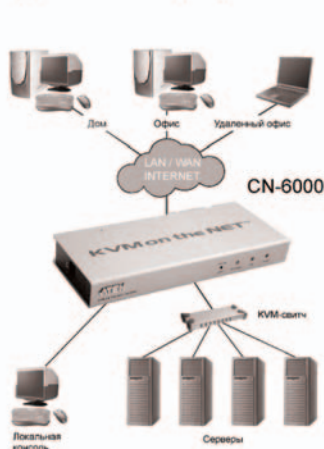
тел./факс: (095) 363 01 31



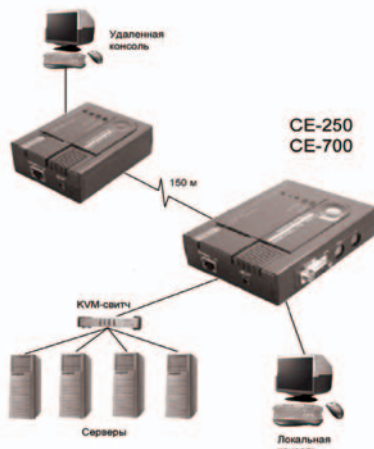
## Некоторые решения на основе оборудования



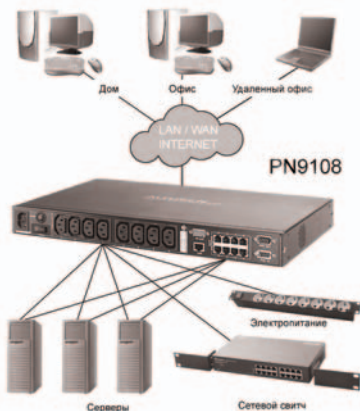
Оборудование ATEN International Co., Ltd решает любые задачи коммутации компьютерной периферии, в том числе, связанные с использованием KVM-консоли (клавиатуры, монитора, мыши) в различных вариациях.



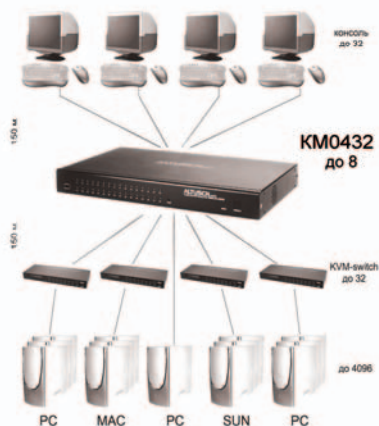
CN-6000 — устройство для организации удаленного доступа по сети. Позволяет осуществлять мониторинг и управление серверами из любой точки мира.



CE-250/CE-700 — KVM-удлинитель по витой паре. Позволяет организовать рабочее место оператора на расстоянии 150 м от сервера или KVM-переключателя.



PN-9108 — устройство удаленного управления электропитанием по сети. Позволяет управлять подачей питания от восьми независимых розеток, перезагружать серверы и свитчи, программировать график включения и выключения удаленных устройств.



KM0432 — 32-портовый KVM-переключатель. Позволяет 4 операторам управлять 32 серверами, а при каскадном соединении 32 операторам — 4096 серверами. Удаленность оператора от сервера — до 300 м.



ПОДРОБНОСТИ НА САЙТЕ [WWW.ATEN.RU](http://WWW.ATEN.RU)

ПОСТАВЩИК ATEN В РОССИИ ООО "КОЛАН"  
СЕРВИСНЫЙ ЦЕНТР ATEN  
ТЕЛ.: +7 (095)363-0131 [WWW.COLAN.RU](http://WWW.COLAN.RU)

Не все кабельные  
системы одинаковы



Разницу иногда понимаешь слишком поздно...

Выбор  
за тобой!

**Lindex**  
technologies

**EuroLAN**

Структурированная  
кабельная система

[www.lindex.ru](http://www.lindex.ru)

Россия, г.Москва, ул. Нагорная, д.20, корп.1  
Тел.: (095) **775-25-10**. Факс: (095) **937-50-18**

Казахстан, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, д. 86, офис 505  
Тел.: (3272) **91-68-24**, (3272) **91-78-67**



## Структурированная кабельная система AMP Netconnect



- Экранированные и неэкранированные КСК: Cat.5E, Cat.6, Cat.7
- Система AMP Communications Outlet : расширение сети без дополнительных кабелей
- Поддержка всех высокоскоростных приложений, включая 10 Gigabit Ethernet
- Полное волоконно-оптическое решение на основе соединителей MT-RJ и LC
- “Бесклеевые” волоконно-оптические технологии LightCrimp Plus, Corelink
- 25-летняя гарантия от Tyco Electronics AMP

### Дистрибуторы:



LANHOST  
(Москва/Екатеринбург)  
тел.: (095) 748 3003  
(343) 350 7591  
<http://www.lh.ru>



OCS Distribution  
(Москва/С-Петербург)  
тел.: (095) 995 2575  
(812) 324 2870  
<http://www.ocs.ru>



Verysell Distribution  
(Москва)  
тел.: (095) 935 7979  
<http://www.verysell.ru>

Представительства AMP Netconnect:  
Москва, тел.: (095) 926-5509/08/07;  
Екатеринбург, тел.: (343) 350 81 97  
<http://www.ampnetconnect.ru>



## Комплексные решения для кабельных сетей

**LANMASTER**



Подробнее на сайте:

**WWW.LANMASTER.RU**



ADP NetWorks

АЛАС

Verysell Distribution

[www.adp.ru](http://www.adp.ru)

[www.alas.ru](http://www.alas.ru)

[www.verysell.ru](http://www.verysell.ru)

234-9090

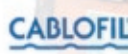
416-6001

935-7979



- Структурированные кабельные системы ITT NS&S
- Экранированные и неэкранированные решения категорий 5e, 6
- Система анализа соединений LANSense
- Кабельные каналы и электро-установочные изделия MK Electric
- 19" монтажное оборудование Data racks
- Напольные и настенные шкафы Серверные шкафы
- Напольные системы кабельной разводки Ackermann
- Лепки для заливных и фальш-полов
- Сетчатые лотки Cablofil

Network Systems & Services  
ITT Industries  
Engineered for life

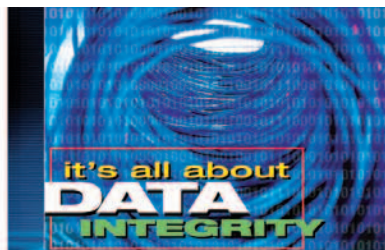


**TRALE Ltd. (UK)**  
Тел. (095) 933 88 44  
**[www.trale.ru](http://www.trale.ru)**



# 6 плюс X

## DATA GATE Plus XPress-Lock MT-RJ



Настоящее предложение  
Molex Premise Networks  
позволяет создавать решения  
высочайшего качества  
и производительности.



Новая система PowerCat 6  
Является комплексной системой,  
состоящей из коммутационных  
панелей, кроссовых шнуров  
и абонентских розеток  
уникального дизайна.  
Все компоненты системы  
базируются на основе запатентованных  
модулей высочайшего качества -  
DataGate Plus.  
DataGate Plus это разъем  
типа RJ-45 (WE8W) с отличными  
передаточными характеристиками.  
Система полностью соответствует  
требованиям стандарта  
для кат. 6 (ANSI/TIA/EIA-568-B.2-1-2002).

Xpress-Lock это новейшее оптическое  
решение типа MT-RJ предлагаемое  
Molex Premise Networks.

Xpress-Lock значительно увеличивает  
производительность при проведении  
монтажных работ за счет сокращения  
времени терминирования коннектора  
(меньше 2 мин.), а также своей  
универсальности (возможность  
применения адаптеров различных  
типоразмеров).

Представительство Molex Premise Networks  
117333 Москва ул. Губкина, д.8, офис 121  
Тел. +7 095 9383950, Факс +7 095 9383949  
e-mail: [info@molexpn.ru](mailto:info@molexpn.ru)

[www.molexpn.ru](http://www.molexpn.ru)



PREMISE  
NETWORKS  
A Division of Molex

Molex Premise Networks предлагает  
готовые решения на основе  
Xpress-Lock MT-RJ и запатентованных  
модулей с уникальной  
многофункциональной шторкой  
от пыли.

## Оптимальные решения для Ваших кабельных сетей

### Крупнейшие корпоративные заказчики мира выбрали кабельную систему R&M в качестве корпоративного стандарта.

Кабельная система R&M — оптимальная среда для передачи голоса, данных и видеоприложений, а также сервисов для офиса и предприятия любого ранга.

- Кроссовое телефонное оборудование и ККС от одного производителя;
- Доступное hi-end решение на территории России;
- Швейцарское качество;
- Поддержка протокола 10 GBase-T (IEEE 802.3an Draft 2.0);
- Пожизненная гарантия от R&M;
- Тестирование на соответствие принципу обратной совместимости De-embedded методом;
- Сертификация Министерства по связи и информатизации РФ.



#### РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР R&M В СТРАНАХ СНГ:

тел. +380 (44) 201 19 00, факс +380 (44) 295 6969, [www.rdm.ua](http://www.rdm.ua)

#### ДИСТРИБЬЮТОРЫ:



**Convincing cabling solution**

#### AVA Distribution

тел. +7 (095) 974 7979

факс +7 (095) 448 6126

[www.avalan.ru](http://www.avalan.ru)

#### РеМаТель

тел. +7 (095) 335 67 55

факс +7 (095) 380 2133

[www.rematel.ru](http://www.rematel.ru)



# Книги Академии АйТи – всегда актуальная информация о современных технологиях и тенденциях бизнеса

- Уникальные переводные издания
- Практические рекомендации по построению и эксплуатации информационно-вычислительных систем
- Фундаментальные теоретические знания по информационным технологиям
- Настольные справочные пособия для менеджеров и инженеров

## Книжные серии



«ИТИ. Информационные технологии для инженеров»

«БизнесПРО: Процессы, Продукты, Прогнозы»

«Управление проектами»

«ИТ-Экономика»

«Информационная безопасность»



Подробная информация на сайтах [www.infobooks.ru](http://www.infobooks.ru) и [www.academy.it.ru](http://www.academy.it.ru)

## Проектирование и расчет СКС и их компонентов

Автор - **Семенов А.Б.**

Серия "ИТИ. Информационные технологии для инженеров"



В книге даны общие сведения о структуре и допустимых длинах кабельных линий различных подсистем СКС при основных вариантах ее реализации. Рассмотрены требования по габаритам, оборудованию и условиям окружающей среды к техническим помещениям, а также к кабельным трассам горизонтальной и магистральной подсистем СКС, предложены варианты их конструктивного исполнения на архитектурной фазе проектирования. Представлены схемы расчета количества и выбора параметров отдельных компонентов горизонтальной и магистральной подсистем СКС на телекоммуникационной фазе выполнения проектных работ. Обоснованы принципы задания характеристик монтажного оборудования различного назначения и методика расчета его габаритов и количества.

Дополнительно затронуты вопросы оформления проектной документации, обеспечения пожарной безопасности и построения кабельной проводки для защищенных сетей. Приведен пример проектирования с использованием разработанной методики.

Твердый переплет, 416 стр., год издания - 2003, издательская цена - 350 рублей, [itpress@it.ru](mailto:itpress@it.ru)

### *Программа профессиональной переподготовки IT-специалистов*

## **СТО - Chief Technology Officer ДИРЕКТОР ПО ТЕХНОЛОГИЯМ**

Программа профессиональной переподготовки СТО, разработанная Академией АйТи, - единственная на российском рынке комплексная программа по подготовке технических директоров/директоров по технологиям. Программа включает все необходимые блоки технических и экономических дисциплин.

#### **Кому интересна эта программа?**

Инженерно-техническим специалистам высокой квалификации:

- техническим директорам, ведущим инженерам,
- руководителям центров технической поддержки,
- руководителям проектов внедрения информационных систем.

**Цель обучения по программе СТО** - актуализация профессиональных знаний и навыков, которая достигается за счет:

- концептуального взгляда на принципы организации и функциональные возможности современных информационных систем;
- формирования комплексного подхода к оценке влияния информационных систем на бизнес-процессы капитализации предприятия, начиная от инфраструктурных решений и заканчивая системами автоматизации;
- аналитической оценки основных тенденций развития рынка информационных технологий;
- приобретения практических навыков и умений.

#### **Как проходит обучение?**

Форма обучения - вечерняя.

Продолжительность - 25 недель.

Место проведения - Москва

Наполняемость группы - не более 12 человек

Получаемые документы: диплом государственного образца о профессиональной переподготовке с правом ведения нового вида деятельности

Набор слушателей: 2 раза в год (осень, весна)

Стоимость обучения: 3700 у.е.

## Найди свой курс!

117218, **Москва**

ул. Кржижановского, 21а, (а/я 116)

Тел.: +7 (095) 974 7979 • 127 9010 • 127 9012

Факс: +7 (095) 974 7990 • 129 1275

E-mail: [academy@it.ru](mailto:academy@it.ru)

Алматы: (3272) 50-8035

Волгоград: (8442) 23-1060

Екатеринбург: (343) 378-3340

Иркутск: (3952) 25-8302

Казань: (8432) 25-4060

Киев: (38044) 272-0206

Краснодар: (861) 210-0631

Красноярск: (3912) 59-1195

Нижний Новгород: (8312) 61-9140

Ростов-на-Дону: (8632) 40-1540

Самара: (8462) 77-9191

Новосибирск: (3832) 40-8139

Омск: (3812) 23-3786

Пермь: (3422) 48-6585

Санкт-Петербург: (812) 32-64588

Тюмень: (3452) 39-9160

Уфа: (3472) 25-3771

Хабаровск: (4212) 32-9408

Челябинск: (3512) 66-4639