



В.М. АРТЮШЕНКО
А.Б. СЕМЕНОВ
Т.С. АББАСОВА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Допущено Министерством образования и науки РФ
в качестве учебного пособия для студентов образовательных организаций
среднего профессионального образования*

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

Москва
ИНФРА-М
2019

УДК
ББК

000

Авторы:

Артюшенко Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и управляющих систем Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московской области «Технологический университет» (ГБОУ ВО МО «ТУ»);

Семенов Андрей Борисович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизации и электроснабжения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ);

Аббасова Татьяна Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой информационных технологий и управляющих систем ГБОУ ВО МО «ТУ»

Рецензенты:

Ю.В. Богданов, доктор технических наук, профессор, начальник управления 4-го центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации (4-й ЦНИИ Минобороны России)

Артюшенко В.М.

000

Проектирование и расчет мультисервисных кабельных систем : учеб. пособие / В.М. Артюшенко, А.Б. Семенов, Т.С. Аббасова. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 174 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/xxxxx.

ISBN 978-5-16-014234-0 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-106714-7 (ИНФРА-М, online)

В учебном пособии рассмотрены пути совершенствования мультисервисных кабельных систем. Проведен анализ принципов построения мультисервисных кабельных систем. Рассмотрены вопросы, связанные с практическим расчетом ослабления электромагнитных помех. Предложены организационно-технические мероприятия для защиты мультисервисных кабельных систем от внешних электромагнитных воздействий. Описаны способы моделирования коммуникационных сред передачи. Приведены технические решения для развития централизованной оптической архитектуры мультисервисных кабельных систем и для улучшения качества оптических коммуникаций.

Соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования последнего поколения.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов направлений подготовки 09.03.02 «Информационные системы и технологии», 09.03.03 «Прикладная информатика», а также аспирантов, преподавателей, научных сотрудников в области информационно-вычислительных систем и систем передачи информации, технических специалистов служб эксплуатации информационно-телекоммуникационных систем объектов недвижимости различного назначения, для инженерно-технического персонала, системных интеграторов.

УДК 004.2(075.32)

ББК 32.973-02я723

ISBN 978-5-16-014234-0 (ИНФРА-М, print)
ISBN 978-5-16-106714-7 (ИНФРА-М, online)

© Артюшенко В.М., Семенов А.Б.,
Аббасова Т.С., 2019

ВВЕДЕНИЕ

Мультисервисные кабельные системы (МКС) представляют собой сравнительно молодое направление развития телекоммуникационной техники на основе структурированных кабельных систем (СКС). Идея массового внедрения структурированного каблирования на объектах недвижимости офисного назначения была выдвинута в середине 80-х гг. прошлого столетия, а официально данная ветвь оформилась только в 1991 г. в момент принятия первого американского стандарта. В настоящее время СКС в процессе своей эволюции превратились в МКС, поэтому в дальнейшем эти два термина рассматриваются как эквивалентные.

Развитию техники МКС посвящены издания, выпущенные на английском [1, 2] и немецком языках [3, 4], переводные издания [5, 6], оригинальные монографии на русском языке П.А. Самарского [7], Д.Я. Гальперовича в соавторстве с Ю.В. Яшневым [8, 9] и И.Г. Смирнова [10, 11].

Авторы данного учебного пособия также имеют труды, посвященные общим вопросам и проблемам техники СКС [12, 13], проектированию информационных кабельных систем офисного назначения [14, 15], их администрированию [16], волоконно-оптической подсистеме [17], а также системам интерактивного управления оборудованием кабельных сетей [18], развитию центров обработки данных [19, 20], проблемам электромагнитной совместимости оборудования и каналов связи СКС и МКС [21].

МКС официально существует уже свыше двух десятков лет. Как техническая система структурированная информационная проводка довольно жестко нормируется стандартами в части своей структуры, т.е. на системном уровне. Одновременно она имеет открытый характер на уровне отдельных компонентов. Последнее означает, что передача в составе одной цепи смешанных сигналов компонентов нескольких

независимых производителей не меняет характеристики формируемого тракта более чем на априорно известное значение. Столь жесткое вертикальное нормирование влечет за собой большие проблемы в части внедрения различных усовершенствований глобального характера, т.е. тех из них, которые дают наибольший результирующий выигрыш, и в части достижения существенного эффекта от внедрения тех нововведений, которые полностью соответствуют действующим редакциям нормативных документов.

Ситуация с использованием различных новшеств дополнительно усложняется изначально высоким техническим уровнем СКС как технического объекта. Для подтверждения данного тезиса достаточно сослаться на то, что нормативный срок службы современной СКС составляет не менее 10 лет, а выдаваемая на нее системная гарантия имеет типовую продолжительность 20–25 лет. Кроме того, при выполнении некоторых довольно простых дополнительных условий производитель СКС может выдавать на нее пожизненную гарантию [12].

Целью усовершенствования техники МКС в основной массе случаев является именно наращивание эффективности в широком смысле этого термина. Вопросы эффективности всей МКС и образующих ее отдельных функциональных компонентов по отдельности, несмотря на всю их важность, в известной литературе не рассматривались. Подобная ситуация вполне объективна, так как на момент написания этих строк отсутствовали общепринятые методики количественного определения различных характеристик технической эффективности, позволяющие немедленно и однозначно сделать вывод о целесообразности применения тех или иных усовершенствований.

Авторы учебного пособия поставили перед собой цель устранить указанный пробел. При отсутствии общепризнанных критериев эффективности за основу дальнейшего анализа была взята следующая стратегия:

— в качестве базового показателя, с которым сравнивается то или иное предложение по усовершенствованию МКС или

ее части в направлении увеличения технико-экономической эффективности, привлекались положения, зафиксированные в профильных стандартах или иных нормативных документах;

- по возможности осуществлялась количественная оценка ожидаемого технического и экономического эффекта от внедряемых технических усовершенствований;

- при отсутствии определенных требований в стандартах допускалась оценка эффективности в качественной форме, в том числе на интуитивно понятном уровне.

После изучения данного пособия студент будет:

знать

- основные правила, принципы, закономерности и методы организации структурированных мультисервисных сетей;

- стандарты ISO/IEC 11801, EN 50173, TIA/EIA-568;

- режимы и особенности их организации;

- угрозы и риски безопасности структурированных мультисервисных сетей;

уметь

- самостоятельно решать вопросы, связанные с организацией, планированием и расчетом структурированных мультисервисных сетей;

владеть

- методикой и средствами организации структурированных мультисервисных сетей.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

1.1. ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ МКС

Стандарты, задающие минимальный технический уровень, достижение которого обеспечивает нормальные условия построения и последующей эксплуатации СКС, распространяются и на МКС. Применительно к теме настоящего учебного пособия данный уровень представляет собой ту самую границу, превышение которой позволяет говорить об увеличении эффективности структурированной проводки [13...21].

В настоящее время в мире существуют три основных центра стандартизации СКС. Исторически первыми заниматься данной проблематикой стали США, которые являлись колыбелью техники структурированного каблирования и на протяжении всего периода существования данного технического направления прочно удерживают позиции лидера на этом сегменте рынка. Примерно с пятилетней задержкой к работе по стандартизации присоединились Международная (ISO) и Европейская (CENELEC) организации по стандартизации.

В процессе своей деятельности органы по стандартизации учитывают запросы потенциальных потребителей ресурсов СКС, достигнутый уровень техники и типовой технологический уровень производящих предприятий. Принимаются во внимание также национальные особенности, традиции и правила, действующие на территории внедрения нормативных документов. В случае отсутствия консенсуса в конкретном вопросе или хотя бы перспектив его достижения гла-

венствующая роль всегда отдавалась национальным нормам и правилам.

Отдельно укажем на следующие особенности стандартизации общесистемного уровня:

— европейские документы крайне мало отличаются от международных, нередко являясь их полной копией в своей содержательной части;

— международная стандартизация отличается узкой направленностью, в связи с чем задача достижения необходимой полноты охвата тематики решается большим количеством ссылок на внешние источники нормативного плана; американская нормативная база тяготеет к комплексным документам.

Стандарт СКС как документ имеет довольно четкую структуру, приведенную в табл. 1.1 [22]. Он включает в себя перечень нормативных ссылок, определения, сокращения и обозначения, основную часть и приложения, которые дополнительно делятся на нормативные и информационные. Последние содержат информацию справочного и факультативного характера.

Таблица 1.1

Структура и взаимное соответствие основных нормативных документов СКС для офисных зданий

Область действия	Номер стандарта		
	Международный	Американский	Европейский
Структура кабельной системы и основные характеристики	ISO/IEC 11801	TIA/EIA-568	EN-50173
Требования к архитектурной инфраструктуре	ISO/IEC 18010	TIA/EIA-569	EN-50174-1, EN-50174-2, EN-50174-3
Требования к заземлению	—	TIA/EIA-607	EN-50310

Окончание табл. 1.1

Область действия	Номер стандарта		
	Международный	Американский	Европейский
Тестирование	ISO/IEC 14763-3 IEC 61935-1	TSB-140, TSB-155, TSB-67	EN-50346
Администрирование	ISO/IEC 14763-1	TIA/EIA-606-A	—

Срок обновления основных стандартов составляет примерно 5–7 лет, т.е. промежуток времени между появлением новых редакций оказывается достаточно большим даже для консервативной кабельной техники. Актуальность нормативной базы обеспечивается постоянным вводом в нее новой информации. Для этого используются два несколько отличающихся друг от друга подхода.

При первом подходе функцию актуализации берут на себя так называемые дополнения. При появлении нового стандарта информация, содержащаяся в отчете, включалась в текст основного документа. Так, часть 1 редакции 2001 г. стандарта группы ANSI/TIA/EIA-568В за время своего официального действия потребовала введения 6 дополнений, часть 2 — 10 дополнений, а часть 3 оказалась самой консервативной и ограничилась одним дополнением. Обычно дополнения по своей сути сохраняют свою актуальность до момента выхода следующей редакции стандарта. С учетом этого их содержательная часть включается в текст обновленного основного документа.

Второй путь основан на издании самостоятельных документов. Таковыми являются технические системные бюллетени (широко известны под аббревиатурой TSB — *Technical Systems Bulletin*) на американском континенте и технические отчеты на международном уровне. Они рассматривают, в том числе на нормативном уровне, отдельные задачи, затраги-

вающие широкий круг специалистов СКС. Нормативный характер отчетов дополнительно подчеркивался присвоением отчету номера стандарта, дополненного аббревиатурой TR (*Technical Report*). Например, первый вариант стандарта на тестирование оптической подсистемы сначала увидел свет в форме отчета ISO/IECTR 14763-3, а после существенной переработки и дополнения этот документ приобрел вид полноценного стандарта ISO/IEC 14763-3.

Доступная для практического использования современная нормативная база подробно описывает комплекс ключевых вопросов, связанных с построением и эксплуатацией СКС (см. табл. 1.1). Она отличается высокой степенью гармонизации, хотя определенные отличия непринципиального характера имеются как в перечне допустимой элементной базы и в предельных параметрах отдельных компонентов, так и в терминологии и глубине освещения некоторых вопросов.

1.1.1. Стандарты США и их структура

Начало работ по созданию группы стандартов для телекоммуникационных кабельных систем зданий, устанавливаемых на территории США, относится к 1985 г. Именно в этот период данной тематикой активно занялась Ассоциация электронной промышленности США (EIA, *Electronic Industries Association*). В 1988 г. к работе по стандартизации подключилась Ассоциация телекоммуникационной промышленности США (TIA, *Telecommunications Industry Association*). В октябре 1990 г. был одобрен их первый совместный нормативный документ EIA/TIA-569, который был посвящен каналам для прокладки телекоммуникационных кабелей в коммерческих зданиях. Необходимость его принятия была обусловлена пониманием невозможности построения эффективной СКС без выполнения архитектурой здания, в котором она должна быть установлена, комплекса специальных требований.

Результатом деятельности рабочей группы TR-41.8.1, образованной в составе EIA, стал стандарт телекоммуникационных

кабельных систем коммерческих зданий TIA/EIA-568, одобренный в июле 1991 г. Этот документ определял структуру СКС и содержал требования к характеристикам кабелей, различных шнуров и разъемов, а также собранных из них линий.

По состоянию на 2018 г. действует четвертая редакция основного американского стандарта ANSI/TIA-568-C. Документ структурно разбит на четыре части.

1. ANSI/TIA-568-C.0:2009 представляет собой дальнейшее развитие одной из групп положений стандарта 568-B.1, что, в частности, отражается на его объеме (60 страниц текста против 94 у его предшественника). Документ относится к так называемым публикациям общего действия, т.е. содержит все те положения, которые распространяются на СКС различных разновидностей. Он определяет топологию кабельной системы, допустимые типы линейных кабелей, включает в себя отдельные положения касательно заземления, правил соблюдения полярности оптических трактов и аналогичные им данные.

2. Стандарт ANSI/TIA-568-C.1 относится к тем нормативным документам, которые определяют кабельные системы для конкретного типа объектов недвижимости. В данном случае речь идет об офисных информационных кабельных системах. В этой публикации зафиксированы конкретные варианты допустимых топологий СКС с их разделением на горизонтальную и магистральную части, уточнены требования в отношении разрешенных категорий и допустимых волновых сопротивлений симметричных электропроводных кабелей, а также аналогичные им характеристики.

3. Стандарт ANSI/TIA-568-C.2 является документом компонентного уровня и определяет параметры электропроводной элементной базы СКС. Стандартом установлено, что в перечень допустимых к применению кабелей, разъемов и шнуров входят только изделия категорий 3, 5е, 6 и 6а. После 2015 г. ожидается публикация дополнения, нормирующего характеристики элементной базы категории 8.

4. Действие компонентного стандарта ANSI/TIA-568-C.3 распространяется на волоконно-оптическую подсистему СКС. Документ определяет три категории многомодовых волоконных световодов OM1–OM3 с отдельным указанием на категорию OM3 как на волокна для лазерной передачи. Задаются также две категории одномодовых световодов OS1 и OS2. Нормируется расширенная цветовая гамма для маркировки различных типов волокон и исполнения разъемных соединителей. Дополнительно зафиксированы правила тестирования оптических линий и трактов различных видов, а также определены схемы обеспечения правильной полярности в случае применения в линейной части многоволоконной оптической техники.

В январе 1993 г. был одобрен еще один важный нормативный документ. Им стал TIA/EIA-606 «Стандарт на администрирование телекоммуникационной инфраструктуры коммерческих зданий». Материал нормативной части данной публикации определяет основные принципы ведения документации по СКС на этапе эксплуатации и содержит перечень маркируемых компонентов, схемы составления их идентификаторов, формирования записей, детализацию различных чертежей, формы представления отчетов. Документ рекомендовал формализованное структурирование всей информации, относящейся к различным процедурам управления СКС в процессе ее эксплуатации и ее представления в форме базы данных. Отдельно было указано на то, что в кабельных системах среднего и крупного масштаба в обязательном порядке должна применяться электронная форма хранения и ведения этой базы.

Первая редакция еще одного смежного стандарта — TIA/EIA-607 — принимается в августе 1994 г. Этот документ включает в себя требования к различным устройствам заземления, применяемым в здании. Традиционно основным назначением системы заземления было обеспечение безопасности эксплуатации электроустановок, т.е. защита человека от поражения

электрическим током. Стандарт TIA/EIA-607 определяет дополнительные требования к организации систем заземления, выполнение которых является необходимым условием обеспечения эффективной и надежной передачи электрических сигналов по СКС.

Перечисленные документы в основном определяют структуру нормирования современных СКС и непосредственно относящейся к ним инфраструктуры зданий. Такая важная составляющая техники СКС, как тестирование отдельных компонентов и собранных из них линий, в американской нормативной базе никогда не нормировалась на уровне стандарта. Его функции выполняли бюллетени TSB.

1.1.2. Нормативные документы международных организаций

Первым международным стандартом стал ISO/IEC 11801 «Информационные технологии. Универсальная кабельная система для зданий и территории Заказчика», разработанный совместно Международной организацией по стандартизации (ISO) и Международной электротехнической комиссией (IEC) в 1995 г. Его содержание имело определенные отличия от действующего на тот момент стандарта TIA/EIA-568-A, связанные в основном со структурой подачи информации, подходом к нормированию характеристик, используемой терминологией и глубиной проработки некоторых положений.

В указанном документе изначально содержалось важное положение о том, что он оптимизирован для кабельных систем, разворачиваемых на общей территории и обеспечивающих максимальную дальность передачи сигнала, равную 2000 м. При необходимости организации связи на большее расстояние или между различными территориями одного заказчика рекомендовалось обращаться к услугам операторов связи.

Международный стандарт ISO/IEC 14763-1 представляет собой аналог американского стандарта TIA/EIA-606 и определяет правила администрирования кабельной системы.

Документ ISO/IEC 14763-2 регламентирует процессы разработки и создания информационной кабельной проводки офисного назначения. Содержащиеся в нем положения должны быть учтены на всех этапах проведения работ, начиная с планирования и составления спецификации и заканчивая организацией проведения монтажных работ и составления исполнительной документации.

Процедуры тестирования электропроводных кабельных линий различных видов, построенных в соответствии со стандартом ISO/IEC 11801, на нормативном уровне фиксируются стандартом IEC 61935-1. Данный документ не имеет прямого американского аналога равного уровня.

Аналогичный документ, ISO/IEC 14763-3, задает процедуры тестирования волоконно-оптических кабельных линий. Последняя редакция стандарта отличается введением в перечень тестирующего оборудования контрольного микроскопа и импульсного оптического рефлектометра во временной области. Соответственно, в зависимости от полноты привлечения допустимых типов инструментальных средств объективного контроля меняется объем измерений, само тестирование может осуществляться по двум уровням с различным объемом производимых тестов.

1.1.3. Прочие зарубежные нормативные документы

Первым документом европейской организации по стандартизации CENELEC, специально посвященным СКС, стал базовый стандарт EN 50173, окончательная редакция которого увидела свет в августе 1995 г. Его англоязычная версия в своей содержательной части имеет минимальное отличие от международного стандарта ISO/IEC 11801.

В настоящее время стандарт EN 50173 представлен пятью частями. Содержанием первой части этого документа стали общие требования к СКС. Остальные части описывают структурированные кабельные системы различных объектов недвижимости: во второй части подробно рассмотрены СКС

для офисных зданий; третья часть посвящена СКС для промышленных предприятий; в четвертой части описываются информационные кабельные системы жилых помещений; в пятой части представлены основные положения касательно построения СКС для поддержки функционирования систем домовой автоматизации.

Важным дополнением к стандартам серии EN 50173 является группа нормативных документов серии EN 50174. В стандарте EN 50174-1 систематизированы различные требования, выполнение которых обеспечивает надлежащий уровень качества устанавливаемой кабельной системы. Вопросы собственно инсталляции СКС в зданиях и сооружениях различных типов сведены воедино в стандарте EN 50174-2. Там же находятся очень важные для практики требования к величине минимальных расстояний между информационными и силовыми кабелями. Вопросы нормативного и рекомендательного плана касательно организации работ по прокладке кабелей за пределами зданий освещаются в стандарте EN 50174-3.

Стандарт EN 50310 рассматривается как дополнение к стандарту EN 50174-1 в той части, которая относится к мероприятиям по заземлению и выравниванию потенциалов в зданиях различного назначения. Стандарт EN 50346 включает в себя различные положения по тестированию установленной кабельной системы.

Кроме международных стандартов в ряде промышленно развитых стран действуют национальные нормативные документы, учитывающие требования местной промышленности, исторические традиции, законодательные акты смежных областей и другие особенности.

Своя нормативная база, ориентированная в основном на положения американских стандартов, имеется в Канаде. Например, основной канадский стандарт CAN/CSA-T529 хорошо гармонизирован со своим прототипом TIA/EIA-568. Австралия и Новая Зеландия пользуются собственными стандартами, которые близки к международным. В ряде стран За-

падной Европы в области СКС также действуют национальные стандарты. Они представляют собой копию соответствующих европейских норм CENELEC, причем зачастую с явным указанием на прототип. Это отражается в номере документа. Например, основные польский и немецкий стандарты имеют шифры PN-EN 50173 и DIN EN 50173 соответственно.

Определенную информацию, относящуюся к различным аспектам построения СКС, можно заимствовать из документов, которые разрабатываются другими международными организациями. Так, Международным союзом электросвязи выпущено руководство, описывающее правила реализации телекоммуникационного заземления на объектах связи. Его положения без проблем переносятся на область МКС, физический уровень которых образует структурированная кабельная система.

1.1.4. Отечественная нормативная база

В Российской Федерации с 2010 г. действуют два национальных стандарта, главным образом посвященные СКС. Ими стали ГОСТ Р 53246-2008 [32] и ГОСТ Р 53245-2008 [33]. В основу ГОСТ Р 53246-2008 положены отдельные положения стандартов ISO/IEC 11801:2002 и TIA/EIA-568-B. В качестве прототипа стандарта ГОСТ Р 53245-2008 было выбрано Руководство по правилам проектирования и монтажа структурированной кабельной системы *Signamax*.

Оба документа изобилуют неточностями, нестыковками отдельных положений и противоречиями, что вызвало в нашей национальной профессиональной прессе волну критики [34, 35]. Кроме того, ряд содержащихся в них положений оказались устаревшими уже на момент начала действия стандартов. С учетом этих особенностей пользоваться отечественными стандартами следует с большой осторожностью. При необходимости привлечения нормативных ссылок можно обращаться к американским или международным стандартам, которые доступны в том числе в официальном переводе.

Заметно лучше обстоит ситуация с нормированием кабельных изделий. С 1 июля 2012 г. вступил в действие ГОСТ Р ОТУ 54429-2011 «Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи» [36]. Действие этого документа распространяется как на инсталляционные, так и на шнуровые кабели СКС.

В 2014 г. началась разработка группы стандартов, задающих основные правила построения каналов для прокладки различных телекоммуникационных кабелей, в том числе кабелей СКС. Целью работы является создание нормативной основы различных аспектов реализации подобных инженерных компонентов в пределах как одиночного здания, так и группы зданий на общей территории.

В процессе построения СКС и МКС можно воспользоваться отдельными положениями отечественной нормативной базы из смежных областей. Так, например, центральная аппаратная может быть спроектирована в соответствии с требованиями строительных норм СН-512-78.

Различные аспекты прокладки кабелей внутри здания и между зданиями, а также правила устройства телекоммуникационного заземления содержатся в Отраслевых строительнотехнологических нормах ОСТН-600-2001 [37].

1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МКС И ЕЕ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

Мультисервисная кабельная система согласно стандарту ISO/IEC 1180 представляет собой совокупность линейных кабелей, шнуров и коммутационного оборудования различного назначения. МКС образует универсальную физическую среду проводного типа, входящую в состав телекоммуникационной инфраструктуры отдельного здания или комплекса объектов недвижимости офисного, производственного, жилого и иного назначения, находящихся на общей территории, и предназначенную для передачи информационных сигналов широкого круга приложений.

Замечательным свойством МКС, определившим ее широкий коммерческий успех, становится то, что она может со-

здаваться без учета активного сетевого оборудования, применяемого в составе информационной системы. Единственным фундаментальным ограничением в этой части проекта является необходимость наличия априорной информации о предельной скорости передачи данных на протяжении всего ожидаемого срока эксплуатации МКС.

Острота этой проблемы в немалой степени снижается тем, что требуемая скорость на момент сдачи системы в текущую эксплуатацию довольно жестко задается основным назначением объекта недвижимости, а также отношением конкретной линии к определенной иерархической единице МКС. Одновременно рост предельных скоростей передачи довольно легко прогнозируется на весь нормативный срок эксплуатации МКС. Сама техника рассматриваемой разновидности в некоторых частных случаях позволяет легко увеличить пропускную способность формируемых трактов при возникновении такой потребности.

Как сильную сторону МКС следует рассматривать то, что смена одной телекоммуникационной технологии на другую при условии выполнения ограничений по предельной скорости передачи (без выхода за пределы определенной группы приложений) не требует обязательной замены смонтированной ранее проводки. Таким образом, расширение функциональных возможностей МКС минимизирует время простоя всей системы или отдельных ее частей. Фактически прекращение подачи информационных сервисов широкому кругу пользователей происходит только на время переключения коммутационных шнуров различных видов.

Основными свойствами любой МКС являются универсальность, модульность и избыточность.

1.2.1. Универсальность

Свойство универсальности достигается таким целенаправленным подбором характеристик элементной базы, формы исполнения интерфейсов и структуры отдельных линий про-

водной связи, при котором обеспечивается поддержка нормального функционирования сетевой аппаратуры определенного уровня быстродействия. Дополнительно на все эти линии накладывается требование поддержания возможности их администрирования стандартными методами, т.е. понятие универсальности трактуется в расширенной форме.

Отдельно укажем на то, что свойство универсальности выполняется только в горизонтальной подсистеме или ее аналоге. На магистральных уровнях в основной массе случаев от него отказываются в пользу создания специализированных линий, рассчитанных на аппаратуру вполне определенного приложения или ограниченной группы приложений. Такой подход позволяет повысить технико-экономическую эффективность решения в целом, при этом мало влияя на общность утверждения об универсальности МКС. Основная масса ресурсов, требуемых для создания кабельной системы и ее последующей эксплуатации, направляется на горизонтальную подсистему. Это обусловлено тем, что на уровне этой подсистемы сосредоточено подавляющее большинство (свыше 80%) отдельных линий.

Некоторые разновидности активного сетевого оборудования не могут непосредственно подключаться к МКС. В этом случае проблема их обеспечения проводными каналами связи легко решается применением разнообразных адаптеров. Они не являются частью МКС, но согласно действующим редакциям стандартов признаются разрешенными для использования в составе тракта в случае установки за пределами стационарной линии.

1.2.2. Модульность

Под модульностью понимается исполнение кабельной системы в виде совокупности отдельных функциональных модулей крайне ограниченной номенклатуры с заранее известными свойствами. Из этих стандартных объектов формируется кабельная структура любой заранее заданной конфи-

гурации. На обслуживающий персонал ложится обязанность контроля соответствия формируемой структуры требованиям действующих редакций нормативных документов. Последнее не представляет больших проблем, так как процесс контроля сводится к проверке таких сравнительно простых и интуитивно понятных характеристик, как количество соединителей, общая протяженность цепи распространения сигнала, вносимое затухание и т.д. Собственно проверка может осуществляться расчетным путем или инструментально с помощью соответствующих измерительных устройств объективного контроля.

Технической основой возможности применения модульного подхода к построению МКС является замена концентраторов локальной вычислительной сети (ЛВС) коммутаторами на всех уровнях. Это дает возможность отказаться от необходимости выполнения известного правила четырех репитеров.

Количество разновидностей главных модулей может меняться в достаточно широких пределах в зависимости от назначения МКС. Так, в бытовых кабельных системах из-за их небольших размеров достаточно единственного модуля, тогда как в масштабных промышленных предприятиях необходимо оперировать уже четырьмя различными модулями. В основном в МКС выделяются три основных модуля.

Важным является то, что указанные модули в основной массе случаев могут быть реализованы на различной элементной базе. Гибкость в данном вопросе ценна для проектировщика тем, что дает возможность учесть местные условия конкретного проекта и заметно увеличить эффективность решения в целом.

Модульный характер МКС дает возможность кроме основной схемы «точка — точка» сравнительно простыми средствами с помощью уже упомянутых адаптеров сформировать различные виды физических топологий: шину, кольцо и т.д. При этом речь идет о логической топологии без отказа от фактической, древовидной.

1.2.3. Избыточность

Введение свойства избыточности МКС в перечень основополагающих принципов явилось естественной реакцией на сложность организации новых кабельных линий в действующем офисе после сдачи кабельной системы в текущую эксплуатацию. Вплоть до начала 80-х гг. прошлого столетия окончательные розетки информационной кабельной системы фактически привязывались к планам размещения офисной мебели, создание которых являлось обязательным этапом архитектурного проектирования здания.

Необходимость введения в МКС свойства избыточности во многом носит форсированный характер и является прямым следствием длительного срока эксплуатации универсальной кабельной проводки. Из опыта, накопленного в процессе эксплуатации современных офисных зданий, известно, что назначение помещений может неоднократно меняться на протяжении 7–10 лет, которые в среднем проходят между двумя косметическими ремонтами и определяют ожидаемый срок службы МКС. Также может значительно возрасти количество эксплуатируемого в помещении терминального оборудования. В качестве примера последнего положения можно сослаться на сетевые принтеры, которые с середины первого десятилетия нового века начали устанавливаться по схеме «один на комнату» вместо практиковавшегося до этого подхода «один на этаж».

Свойство избыточности характерно в первую очередь для офисных МКС и относится к горизонтальной подсистеме. Оно основано на специальной процедуре планирования количества пользовательских информационных розеток (ИР). Их число выбирается исходя из площади помещения, а не предусмотренного проектными решениями фактического плана размещения в ней сотрудников на момент сдачи МКС в текущую эксплуатацию.

Наличие в кабельной системе аппаратной избыточности позволяет минимизировать время простоя дорогостоящей офисной площади.

1.3. СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МКС

1.3.1. Варианты организации МКС

Тракт передачи в кабельных системах принято называть «канал» (от англ. *channel*). Этот термин неудачен из-за того, что по одному кабелю с помощью соответствующего активного сетевого оборудования может быть организовано несколько каналов связи. Для этого привлекаются различные методы уплотнения (временное, частотное, пространственное), часть из которых используется в МКС. Для устранения этого недостатка в дальнейшем используется принятый в технике проводной связи термин тракт.

Элементарный проводной тракт связи, реализуемый с привлечением ресурсов МКС, можно рассматривать как некоторую обобщенную структуру, обладающую, возможно, свойством симметрии и включающую в себя от одного до трех элементов, которые условно обозначены как a , b и c . Один из них (в нашем случае для определенности это будет инсталляционный кабель b) обеспечивает передачу сигнала в линейной части формируемого тракта. Два других являются опциональными, располагаются на концах тракта и создают соответствующую степень удобства обслуживания создаваемой линии, придают ей необходимую эксплуатационную гибкость.

Структура элементарного проводного тракта описывается бинарной кодовой комбинацией abc . Каждому из элементов a , b и c можно поставить в соответствие два состояния: 0 — элемент отсутствует, 1 — элемент присутствует в тракте передачи сигнала. Дополнительно потребуем обязательного наличия непрерывной цепи передачи сигнала между условными передатчиком и приемником на концах формируемого тракта выполнением условия $a + b + c > 0$. Пара таких простых соображений позволяет сразу же установить, что связь может быть обеспечена $2^3 - 1 = 7$ различными способами. После исключения повторов из-за симметрии и дублирования шнуров получаем пять различных структур, которые представляют

собой различные варианты реализации трактов и изображены на рис. 1.1 [12].

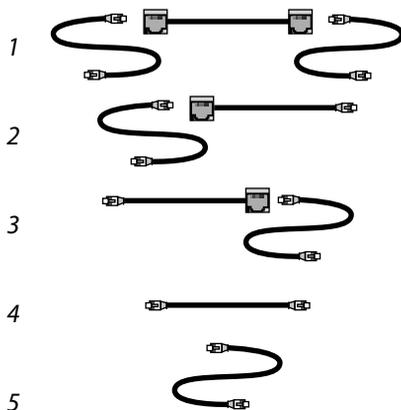


Рис. 1.1. Основные варианты реализации информационной проводки

МКС офисного типа может быть построена только по схеме 1, т.е. элементарный тракт содержит линейный кабель b и два концевых шнура a и c . Во всех прочих случаях речь идет о так называемых исключительных, т.е. единственных в своем роде, кабельных системах.

В рамках простейшей модели любой коммутационный шнур одним своим концом через разъемный соединитель подключается к линейному кабелю, а второй, также через разъемный соединитель, обеспечивает связь с активным сетевым оборудованием. Отдельное требование обязательного совпадения типов разъемных соединителей МКС и активного сетевого оборудования не выдвигается, хотя выполнение этого свойства приветствуется из соображений упрощения эксплуатации МКС в целом.

Наличие в рассматриваемой структуре двух оконечных шнуров a и c несколько усложняет линию, снижает надежность и ухудшает качественные показатели. Данные недо-

статки не критичны, так как полностью окупаются заметным ростом удобства и эффективности эксплуатации. Введение в состав тракта этих шнуровых изделий обеспечивает следующие преимущества:

- возможность индивидуального подбора длины шнуров в зависимости от конкретных местных условий, что заметно облегчает эксплуатацию информационной кабельной системы;
- концевые участки линии, которые в значительно большей степени подвергаются опасности механического повреждения в процессе текущей эксплуатации, могут быть без ограничения и легко заменены;
- на коммутационный шнур можно возложить функции адаптера (при возникновении такой потребности).

Согласно стандартам те вилки шнуров, которые подключаются к розеткам активного сетевого оборудования, не входят в состав кабельного тракта МКС. Они всегда считаются частью активного сетевого оборудования. Задача обеспечения их минимального влияния на качественные показатели формируемого канала связи всегда ложится на разработчика интерфейсов активной сетевой аппаратуры.

Вариант 5 имеет самостоятельное практическое значение при построении МКС. Он соответствует случаю прямого соединения двух портов активного сетевого оборудования коммутационным шнуром, потребность в котором иногда возникает на практике. Необходимость обеспечения такой возможности с помощью однотипных изделий оказывает определенное влияние на конструктивное исполнение шнуровых изделий общего применения. На общесистемном уровне вариант 5 допустим для применения только в промышленных МКС. Он реализуется в случае организации связи с оборудованием, которое располагается на различных подвижных механизмах.

Структура 2 не входит в область действия «офисного» стандарта ISO/IEC 11801:2011 и имеет практическое значение для систем автоматизации зданий, реализуя концепцию

Direct Connection (см. подпараграф 1.10.1). Фактором, дополнительно стимулирующим увеличение частоты обращения к нему в общественных и жилых зданиях, становится рост объемов применения точек беспроводного доступа Wi-Fi и телекамер системы видеонаблюдения.

Варианты 3 и 4 в практике построения МКС не используются.

1.3.2. Топология МКС

В основу любой полномасштабной МКС положена древовидная топология (подсистема кампуса — вертикальная подсистема — горизонтальная подсистема). На рис. 1.2 показан пример реализации этой топологии с привязкой к зданиям [32], которая в общем случае переходит в структуру иерархической звезды. Количество уровней иерархии меняется в зависимости от назначения кабельной системы: от одного в домашних сетях до четырех в МКС промышленного назначения.

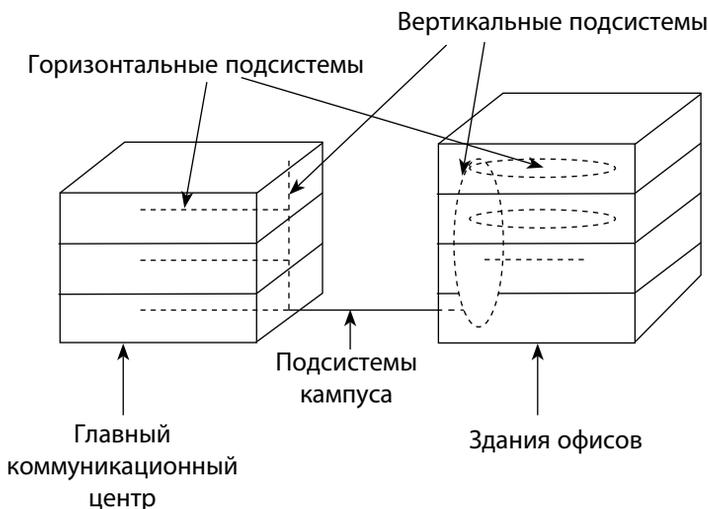


Рис. 1.2. Пример структуры МКС с привязкой к зданиям

Топологии такого рода в обязательном порядке содержат узлы и ребра. Для реализации функций *узлов* структуры служит коммутационное оборудование различных разновидностей.

Первую группу образуют информационные розетки, которые предназначены для подключения различных терминальных устройств. На основе этих розеток формируется пользовательский интерфейс МКС. Сами ИР подразделяются на индивидуальные и многопользовательские. Тип формируемого ими интерфейса фиксируется стандартом в виде закрытого перечня нормативной части.

Групповые панели различных видов образуют вторую основную разновидность коммутационных устройств и монтируются в технических помещениях. С ними работают специалисты службы эксплуатации. Стандарты не нормируют тип их интерфейса. Тем не менее, из соображений симметрии этот интерфейс целесообразно выполнять аналогичным ИР.

Панели и розетки МКС соединяются между собой линейными кабелями. С топологической точки зрения они представляют собой *ребра* древовидной структуры.

Все линейные кабели, которые входят в технические помещения, при монтаже должны быть заведены на коммутационные панели. С помощью шнуров или их функциональных аналогов на коммутационных панелях реализуются подключения и переключения, необходимые для осуществления эксплуатации МКС. Терминальное оборудование подключается к МКС исключительно с помощью шнуров. Иногда они дополняются адаптерами.

В МКС возможна также организация резервных трактов передачи сигналов. Им соответствуют линейные кабели, которые соединяют между собой коммутационные устройства, установленные в различных узлах.

Совокупность перечисленных выше ресурсов физического уровня, присутствующих в любой полномасштабной МКС, обеспечивает ее гибкость и надежность. Одновременно закла-

дываются предпосылки легкости переконфигурации и адаптируемости МКС в соответствии с требованиями конкретного приложения.

1.4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Специализированные помещения, называемые техническими, необходимы для построения МКС и МКС в целом. С точки зрения кабельной системы они предназначены в первую очередь для размещения в них группового пассивного и активного сетевого оборудования различного назначения и создания для него нормальных условий монтажа и последующей эксплуатации. Полная совокупность этих архитектурных объектов — центр обработки данных (ЦОД), аппаратные и кроссовые — представляет собой иерархическую структуру (рис. 1.3) [15].



Рис. 1.3. Иерархия технических помещений МКС

1.4.1. Аппаратная

Аппаратной называется опорное техническое помещение, организуемое на высоких и высших степенях иерархии МКС. Для обозначения центральных технических помещений информационной инфраструктуры предприятия вполне могут привлекаться иные термины. В качестве таковых используются, например, «серверная» и «вычислительный центр».

Устройства МКС, размещаемые в аппаратной, представлены групповым коммутационным оборудованием. Наряду с ним в аппаратной обязательно присутствует активное сетевое оборудование коллективного пользования масштаба предприятия (Учрежденческо-производственная автоматическая телефонная станция (УПАТС), серверы, центральные коммутаторы и т.д.). Уровень различных устройств и систем инженерного обеспечения, монтируемых в аппаратной, выбирается с учетом наличия данного оборудования. Дополнительно в этой части МКС принимается во внимание требование обеспечения бесперебойного функционирования с предварительно заданным коэффициентом эксплуатационной готовности.

Обычно в составе МКС организации предусматривается одна аппаратная. На крупных предприятиях в силу соображений удобства эксплуатации, увеличения эксплуатационной надежности, рационального использования имеющихся площадей и т.д. может быть реализована структура из нескольких аппаратных. В таком случае для оптимизации и наращивания общей эффективности МКС их вполне допустимо разделить еще и по уровням.

Начиная с 2005 г. функции опорного компонента информационно-телекоммуникационной структуры в целом все чаще выполняются центрами обработки данных. Для обозначения последних в случае их наличия в структуре МКС предприятия привлекается наименование «корпоративный ЦОД». Этот архитектурно-технический объект следует рассматривать как аппаратную со значительно улучшенными ключевыми эксплуатационными характеристиками, которые зафиксированы в стандартах. При возникновении соответствующих бизнес-потребностей уровень этих характеристик может быть подтвержден независимой аудиторской организацией и заверен выдачей сертификата¹. Действующими

¹ Наиболее известна классификация по уровням *Tier*, осуществляемая в том числе в международном масштабе американским *Uptime Institute*.

профильными стандартами МКС включается в перечень тех подсистем центра, степень проработки и исполнения которых в обязательном порядке контролируется в процессе сертификации данного объекта.

1.4.2. Кроссовые

Кроссовые представляют собой технические помещения нижнего уровня имеющейся иерархии и являются специализированным архитектурным объектом, в котором размещаются коммутационное оборудование МКС, а также активное сетевое и иное оборудование, обслуживающее ограниченную группу пользователей.

Функции кроссовой могут быть возложены как на специализированные технические помещения, так и на иные архитектурные объекты. Внешние границы последних определяются как капитальными, так и не несущими стенами, а также различными выгородками, которые отделяют эти объекты от остальных пространств.

Если ограничить назначение кроссовой только формированием узловых компонентов МКС предприятия, то появляется возможность их реализации в «безоболочечном» (в архитектурном смысле этого термина) варианте. Тогда они представляют собой отдельно стоящие напольные или настенные шкафы, обычно 19-дюймового формата. В случаях недостатка посадочных мест или из соображений улучшения условий работы с оборудованием эти шкафы могут блокироваться в группы. Возможность применения такого варианта реализации узла в явном виде предусмотрена действующими редакциями профильных нормативных документов на уровне рекомендаций в отношении обслуживаемой площади не свыше 100 м².

В составе МКС в общем случае может быть предусмотрено несколько разновидностей специализированных кроссовых МКС, что определяется их основным функциональным назначением.

Кроссовая внешних магистралей (КВМ) выполняет функции узловой точки для кабелей, принадлежащих к подсистеме внешних магистралей. С помощью этих кабелей КВМ подключается к отдельным кроссовым зданиям (КЗ). При переходе на более низкий уровень КЗ соединяется с несколькими кроссовыми этажа (КЭ). Это соединение происходит с помощью кабелей, принадлежащих к подсистеме внутренних магистралей. Розеточные модули пользовательских информационных розеток (ИР) подключаются с помощью кабелей, принадлежащих горизонтальной подсистеме.

Пример канонической структуры МКС с техническими помещениями различного уровня и с привязкой к зданиям приведен на рис. 1.2 [32].

1.4.3. Входной кросс

Входной кросс как отдельный архитектурный объект представляет собой функционально выделенное пространство специального назначения. Этот объект предназначен для решения двух основных задач:

- организации внешнего интерфейса телекоммуникационной инфраструктуры организации и, в частности, перехода от МКС к соединительным линиям операторов связи;
- выполнения интерфейсных функций для линейных кабелей подсистемы внешних магистралей.

Англоязычные нормативные документы называют это помещение по-разному. В стандарте ISO/IEC 11801:2011 используется термин *Building Entrance Facility*, а в стандарте ANSI/TIA-942 оно обозначается как *Entrance Room*.

В рамках реализации функции связи с внешним миром в помещении входного кросса монтируется оборудование телекоммуникационных операторов. Там же размещаются кроссы соединительных линий МКС предприятия, а также вполне могут выделяться штатные места для установки некоторых активных устройств, относящихся непосредственно к МКС. Подтверждением большой популярности такого под-

хода служит введение в нормативную часть стандарта ISO/IEC 24764 схемы реализации интерфейса с операторами связи на основе активного сетевого оборудования, которым заканчиваются принадлежащие им соединительные линии.

С архитектурной точки зрения входной кросс как выделенная единица может быть реализован различными способами: отдельным помещением, комнатой, полномасштабным залом (в крупных МКС) и т.д.

В помещении входного кросса должен быть разрешен доступ специалистов — операторов связи, обеспечивающих подключение МКС организации к внешнему миру. С учетом существования этой потребности наиболее предпочтительна организация этой архитектурной структурной единицы в форме выделенного помещения.

Желательно, чтобы помещение входного кросса вплотную примыкало к внешней стене здания, а также содержало кабельный ввод. Выполнение пары данных условий дает возможность легко ограничить протяженность кабеля внешней прокладки внутри здания значением 15 м, что требуется по нормам пожарной безопасности.

Определенное влияние на выбор места расположения данного помещения оказывают ограничения по максимальной протяженности линейной части тракта передачи на симметричных и многомодовых оптических кабелях. Для увеличения общей протяженности канала связи возможно использование промежуточных репитеров.

Кабельные трассы входного кросса часто непосредственно стыкуются с кабельными вводами. Кабельные вводы применяются для прокладки по ним кабелей операторов связи и соединительных линий, осуществляющих стыковку с главным кроссом.

В МКС может быть организовано несколько входных кроссов, что характерно для крупных МКС и ЦОД. В первом случае принимаются во внимание соображения удобства подключения к внешним сетям, во втором наличие независимых

точек подключения к внешним сетям задается стандартами из соображений достижения требуемого уровня эксплуатационной готовности.

1.4.4. Распараллеливание и совмещение функций однородных технических помещений

Действующие редакции известных нормативных документов, а также проекты их изменений в ближайшей перспективе не содержат положения о необходимости использования в архитектурной единице здания или их группы на общей территории единственного технического помещения определенного функционального назначения. Одновременно отсутствует запрет на обращение к многофункциональным объектам данной разновидности на любом уровне МКС. Эта особенность значительно увеличивает проектную гибкость.

В одной архитектурной структурной единице объекта реализации МКС могут присутствовать одновременно несколько узловых объектов равного уровня. Необходимость обращения к подобной конфигурации возникает в следующих основных ситуациях:

- при увеличении эксплуатационной надежности резервированием и использовании, например, нескольких КВМ;
- в случае большой общей площади архитектурной единицы (этаж или отдельный корпус).

Типичным случаем реализации подобного подхода становится здание большой площади: его делят на зоны, каждая из которых получает права здания или этажа канонической модели МКС. Таким образом, в зданиях большой протяженности на одном этаже может быть организовано несколько КЭ. Группа из таких зон, располагаемых друг над другом на разных этажах, может обслуживаться дополнительной выделенной кроссовой здания.

Вполне допустимо обратное положение дел, когда в единое целое (в смысле реализации МКС) объединяются несколько

однотипных архитектурных единиц. Наиболее часто встречающимся на практике вариантом подобной ситуации становится случай малых плотности и количества рабочих мест, расположенных на этаже или части этажа. При таких начальных условиях результирующая эффективность создаваемой МКС наращивается так: соответствующие ИР подключаются к КЭ смежных этажей. Технически до определенного предела отсутствуют какие-либо препятствия к дальнейшему расширению области применения данного принципа, т.е. выполнение подключения к КЭ по схемам «через этаж» или «через несколько этажей». Однако это фактически означает переход на централизованную схему построения МКС. Подобные архитектуры обычно уступают иерархическим по ряду ключевых критериев. Поэтому указанный вариант следует рассматривать скорее как исключение.

Из отсутствия требования четкой специализации технических помещений МКС немедленно вытекает возможность совмещения каждым таким архитектурным объектом нескольких функций. Указанное свойство очень хорошо востребовано в проектах и широко используется как средство улучшения результирующей технико-экономической эффективности. В процессе практической реализации опции совмещения осуществляются установка в технических помещениях дополнительного активного и пассивного оборудования, а также подача в него линейных кабелей нижестоящей ступени иерархии. Само собой разумеется, что реализация функции совмещения может потребовать некоторого увеличения площади технического помещения.

В рамках практического исполнения стратегии совмещения функций можно совместить аппаратную с КЗ. Одновременно она может брать на себя функции КЭ, обслуживая расположенные в ее окрестностях ИР пользовательских рабочих мест. Ровно такое же положение действует в отношении КВМ и КЗ.

1.4.5. Соединители

В электропроводной части МКС используется преимущественно 8-контактный разъемный соединитель модульного типа, часто не вполне корректно называемый RJ-45.

При создании МКС с полосой пропускания 600 МГц и выше могут применяться другие типы соединителей.

Гнездовая часть соединителя, разработанного компанией *Nexans* под маркой GG45 (рис. 1.4) [21], имеет 12 контактов вместо восьми, которые переключаются в зависимости от режима работы.

Контакты располагаются в двух уровнях.

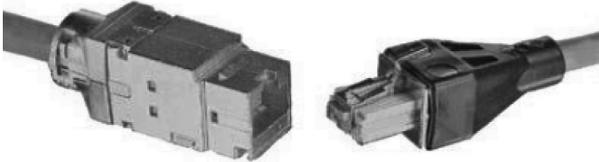


Рис. 1.4. Компоненты разъема GG45

В полосе частот до 250 МГц GG45 функционирует как обычный разъем RJ-45, на более высоких частотах схема соединения изменяется с помощью встроенного микропереключателя. В обоих случаях используется по восемь контактов, но во втором случае четыре центральных контакта первого уровня выключаются, а вместо них подключаются четыре контакта верхнего уровня.

Соединитель ARJ-45 компании *Steward* отличается от GG-45 тем, что содержит только контакты, которые расположены в гнезде розетки и на вилке по квадрантной схеме. Этот соединитель был разработан с учетом того, что в GG-45 редко включались вилки RJ45, что позволило отказаться от внутреннего переключателя и четырех контактов. Нововведение положительно сказалось как на стоимости, так и на эксплуатационной надежности изделия. В ARJ-45 рассчитан на подключение вилки GG-45.

Компанией *Siemon* предложен соединитель марки TERA, радикально отличающийся по своему форм-фактору от соединителя RJ-45 (рис. 1.5) [21].



Рис. 1.5. Компоненты разъема TERA

Контакты соединителя TERA расположены по квадрантной схеме, а его широкополосность достигает 1–1,2 ГГц. Два левых верхних контакта (если смотреть на гнездо спереди) предназначены для телевидения, правые верхние и нижние пары контактов — для работы компьютерной сети, левая нижняя пара контактов рекомендована для голосовой связи (телефон).

1.5. СОСТАВ МКС И ЕЕ ПОДСИСТЕМЫ

1.5.1. Назначение подсистем

Деление информационной кабельной системы на подсистемы, представляющие собой отдельные укрупненные функциональные модули, имеет основной целью значимое улучшение ряда параметров физического уровня МКС. Одновременно это открывает перспективы улучшения эффективности информационной кабельной системы за счет ее многоуровневой оптимизации.

Отдельные подсистемы заметно отличаются друг от друга по следующим параметрам:

- максимально допустимая область охвата территории архитектурного объекта или его части;

- требования в отношении различных передаточных параметров;
- условия эксплуатации в первую очередь линейных кабелей.

Учет этих особенностей еще на стадии выработки технических требований к отдельным компонентам кабельного тракта МКС дает возможность существенно улучшить технико-экономические характеристики готового продукта.

На уровне отдельных компонентов этому способствует значимое ограничение диапазонов допустимых вариаций внешних параметров, в пределах которых требуется обеспечение определенного уровня характеристик, в первую очередь передаточных, а также эксплуатационной надежности. Положительный эффект достигается устранением аппаратурной избыточности из элементной базы, применяемой для построения стационарных линий и трактов МКС. Использование специализированной элементной базы, ориентированной на определенные условия инсталляции и эксплуатации, оказывается достаточно полезным с точки зрения монтажа МКС на объекте ее установки. Наличие этого свойства дает возможность оптимизировать технологию сборки отдельных стационарных линий за счет ее целенаправленного выбора среди имеющихся вариантов. В случае отсутствия таковых разработка новой технологии несколько облегчается за счет сужения диапазона возможных изменений начальных условий.

Системная оптимизация происходит внутри определенного укрупненного функционального модуля и осуществляется преимущественно за счет подбора такой разновидности среды передачи, которая обеспечивает наибольшие преимущества с точки зрения использования ее сильных сторон. Одновременно при этом учитывается то, что неизбежные недостатки любого технического решения в фокусной области применения не будут иметь решающего значения.

Проиллюстрируем сформулированное выше положение несколькими примерами.

На уровне горизонтальной подсистемы наибольшее распространение получили линии на основе кабелей из витых пар. Такое решение обеспечивает скорость передачи информации, требуемую для практики на данный момент, а также ее достаточный запас в обозримой перспективе. Немаловажное значение имеют простота монтажа и последующего тестирования, а также возможность дистанционного питания маломощных терминальных устройств постоянным током по технологиям PoE и PoE+. Недостаток медножильных решений в виде относительно небольшой по меркам волоконной оптики предельной дальности передачи не имеет большого значения из-за наличия соответствующих ограничений стандартов по предельной протяженности трактов.

Подсистема внутренних магистралей МКС строится преимущественно с использованием технических средств многомодовой волоконной оптики. По сравнению с одномодовым вариантом такой подход оказывается экономически более выгодным при тех типовых длинах трактов, которые наблюдаются в данной области. Вне зависимости от типа среды передачи оптическая техника обеспечивает эффективную гальваническую развязку соединяемых технических помещений.

Областью применения одномодовой оптики является подсистема внешних магистралей. Главную роль играют, во-первых, заметное превосходство по широкополосности, во-вторых, возможность прямой стыковки кабелей подсистемы внешних магистралей с кабелями соединительных линий операторов связи.

Наконец, структурная оптимизация МКС сводится к определению ее структуры в части количества уровней иерархии без выхода за пределы ограничений стандартов таким образом, чтобы добиться наибольшего результирующего эффекта. Технические средства МКС дают возможность в основной массе случаев выбирать между централизованной

и иерархической моделью построения кабельной системы. В этой ситуации вполне возможна постановка задачи о выборе предпочтительной схемы с использованием конкретных количественных критериев в процессе обоснования принятого решения.

Еще одним примером улучшения за счет специализации в отношении уже смонтированной кабельной системы становятся различные аспекты администрирования. Само разделение на отдельные подсистемы сопровождается заметным упрощением текущего администрирования МКС. Функциональное назначение отдельных линий легко указывается обращением к визуально различному типу коммутационного оборудования. Такой подход известен под *принципом конструктивной неоднородности*.

МКС может включать в себя до четырех подсистем. В наиболее распространенных офисных МКС две из них считаются магистральными, третья (из-за большого количества существенных отличий) получила название горизонтальной. Выбор вертикального деления информационного кабельного хозяйства на несколько частей обусловлен удачным сочетанием функциональных возможностей активного и пассивного оборудования МКС, относящегося к этим частям, и архитектурно-топологических особенностей области установки кабельной системы. Принятое в современных редакциях стандартов разделение кабельной системы на основные части придает ей столь ценное для системного администратора свойство возможности интуитивного восприятия структуры и назначения.

1.5.2. Подсистема внешних магистралей

Подсистема внешних магистралей состоит из магистральных кабелей, прокладываемых между КЗ и КВМ и подключенных к их коммутационному оборудованию (рис. 1.6) [32]. В ее состав организационно включается также основная масса коммутационных шнуров и (или) перемычек в КВМ.

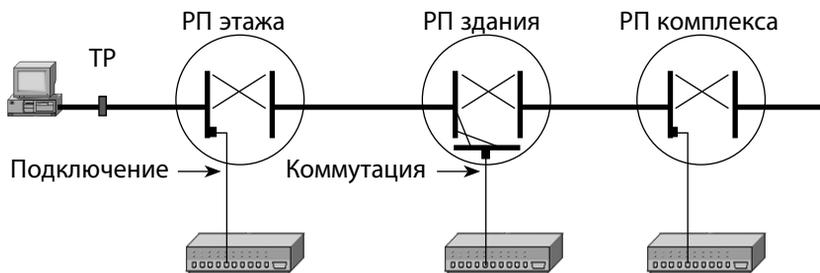


Рис. 1.6. Подсистемы МКС офисного типа:
 РП — распределительный пункт;
 ТР — телекоммуникационный разъем

Подсистема внешних магистралей является характерным отличительным признаком крупных МКС, которые охватывают своим действием большие территории с несколькими зданиями. Кабели подсистемы внешних магистралей прокладываются преимущественно между отдельно стоящими зданиями, находящимися на общей территории. Согласно накопленной статистике вероятность наличия такой подсистемы в составе структурированной проводки офисного типа равна примерно 2% (рис. 1.7) [15].

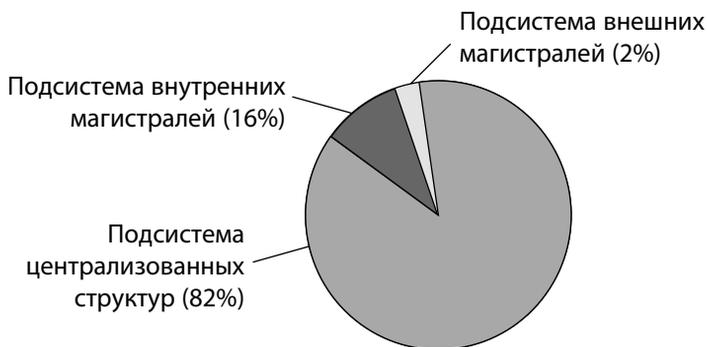


Рис. 1.7. Доли МКС офисного типа с различным количеством ступеней иерархии (подсистем)

Если стоит задача спроектировать МКС только в одном здании, то подсистема внешних магистралей может отсутствовать.

Трехуровневая структура информационной кабельной системы офисных зданий неплохо соответствует потребностям реальных проектов. Тем не менее в некоторых ситуациях определение «внешний» становится неадекватным. Речь идет о зданиях большой длины и о комплексах отдельных зданий, которые соединяются друг с другом с помощью пешеходных переходов, т.е. плавно переходят одно в другое. На таких архитектурных объектах более целесообразным становится обращение к встречающемуся в технической литературе термину «магистраль верхнего уровня», а также к его эквивалентам — «первичная магистральная подсистема» или «магистральная подсистема первого уровня».

Резюмируя все сказанное, можем констатировать, что подсистема внешних магистралей является тем техническим средством, которое обеспечивает создание единого информационно-телекоммуникационного пространства для нескольких отдельных зданий или иных укрупненных архитектурных объектов, расположенных на одной территории и обслуживаемых МКС.

1.5.3. Подсистема внутренних магистралей

Подсистема внутренних магистралей организационно включает в себя внутренние магистральные кабели, проложенные между КЗ и КЭ, подключенное к ним коммутационное оборудование в КЗ и КЭ, а также часть физически находящихся в них коммутационных шнуров и (или) перемычек.

В отличие от подсистемы внешних магистралей данный объект встречается в проектах практически на порядок чаще, что сказывается на терминологии, которая становится намного разнообразнее. В технической документации некоторых МКС подсистему внутренних магистралей офисных зданий назы-

вают вертикальной или вторичной подсистемой. В различных зарубежных публикациях применяется также ее обозначение как магистрали второго уровня.

Подсистема внутренних магистралей обеспечивает подключение к узлам более высокого уровня коммутационного оборудования КЭ и находящегося в этих технических помещениях активного сетевого оборудования. Обычно эти технические помещения располагаются рядом со штатными стойками офисного здания или, в крайнем случае, испытывают заметное тяготение к ним. Отсутствие близлежащего стояка рассматривается как серьезный проектный недостаток, ощутимо снижающий общую технико-экономическую эффективность физического уровня МКС. Главную роль в этом играют рост капитальных затрат и некоторое увеличение рисков повреждения кабелей в процессе эксплуатации, что обусловлено ростом их длины.

Недостаток пространственного разрыва технического помещения и стояка целесообразно устранить (по возможности), например, выдачей соответствующего строительного задания. С учетом указанных особенностей магистральные кабели, обеспечивающие упомянутую связь, полностью или на большей части своей трассы прокладываются вертикально. Именно эта характерная черта данной части МКС, соединяющей отдельные КЭ с КЗ или аппаратной, определила название данной подсистемы как вертикальной.

Если стоит задача спроектировать МКС только для одного этажа, то проектирование подсистемы внутренних магистралей необязательно. Наиболее известное исключение из этого правила относится к случаю протяженных зданий с несколькими техническими помещениями нижнего уровня на этаж. На таких архитектурных объектах кабели подсистемы внутренних магистралей прокладываются горизонтально, причем зачастую по одним и тем же трассам с горизонтальными кабелями.

1.5.4. Горизонтальная подсистема

В горизонтальную подсистему офисных МКС входят: горизонтальные кабели, проложенные между панелями в КЭ и розеточными модулями пользовательских ИР; непосредственно ИР; групповое коммутационное оборудование в КЭ; коммутационные шнуры и (или) переключки в КЭ.

Горизонтальная подсистема значительно отличается от подсистем магистрального уровня. В перечень уникальных характерных черт этого укрупненного функционального модуля МКС входят:

- универсальный характер горизонтальной подсистемы в телекоммуникационном смысле этого определения и прямо вытекающее из этого отсутствие необходимости отдельной привязки ее характеристик к требованиям определенной аппаратуры, за исключением задания класса;

- несимметричное исполнение стационарных линий с точки зрения проектной спецификации, так как на одном конце их линейных кабелей в основной массе случаев находится розеточный модуль индивидуальной или многопользовательской ИР, а на втором обязательно устанавливается групповая коммутационная панель;

- фиксация типа пользовательского интерфейса на нормативном уровне;

- возможность штатного изменения конфигурации ее стационарной части в процессе эксплуатации за счет допустимости использования в составе одной точки консолидации.

Жесткость положения о несимметричном характере построения стационарной линии горизонтальной подсистемы может существенно ослабевать при переходе к иным разновидностям информационных кабельных систем. Например, в МКС для ЦОД пользовательское коммутационное оборудование обычно оформляется в виде панелей, а индивидуальные розетки встречаются в крайне незначительном количестве.

Стандарты не ограничивают проектировщика в выборе типа элементной базы для реализации горизонтальной под-

системы. Обычно это электропроводные изделия. Волоконно-оптический вариант решения обозначается как *fiber to the desk* (FTTD) (В интернете нашла разные варианты обозначения. Предлагаю дать вариант с начальными прописными буквами для выделения принципа, по которому составлялась аббревиатура FTTD: *Fiber To The Desk*, или *FiberToTheDesk*, или *Fiber-To-The-Desk*) или, в русскоязычном варианте, «волокно до рабочего места». Он редко встречается на практике, так как заметно уступает своему аналогу по целому ряду важных характеристик.

1.6. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УКРУПНЕННЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДУЛИ

Подсистема рабочего места обеспечивает подключение к МКС различного активного терминального оборудования на рабочих местах пользователей или в области их размещения. В реалиях сегодняшнего дня в системах офисного назначения на пользовательских рабочих местах размещаются преимущественно рабочие станции ЛВС и телефонные аппараты. Несмотря на индивидуальный характер большинства ИР, к ним может подключаться также терминальное оборудование коллективного пользования, штатное место эксплуатации которого находится в области размещения пользовательских рабочих мест. Данное оборудование представлено такими популярными активными устройствами, как сетевые принтеры, сканеры и точки радиодоступа.

Фундаментальной особенностью подсистемы рабочего места становится то, что она не является частью МКС и формально находится вне зоны действия стандартов. Тем не менее на параметры и характеристики подсистемы рабочего места накладываются определенные ограничения во всех без исключения нормативных документах. В частности, длина терминального шнура в обязательном порядке учитывается при определении суммарной протяженности

кабелей шнуровых изделий формируемого тракта в случае активного сетевого оборудования класса D и выше. Одновременно фактически по умолчанию предполагается равенство телекоммуникационных характеристик этого компонента с теми шнурами, которые входят в состав кабельной системы.

Подсистема рабочего места характеризуется предельно простой структурой. В наиболее простой конфигурации она включает в состав всего два компонента: пользовательский шнур и адаптер. Шнур и адаптер соединяются последовательно и обеспечивают физическое подключение порта активного терминального устройства к розеточному модулю пользовательской ИР. Порядок соединения шнура и адаптера принципиального значения не имеет. В ряде случаев он определяется исключительно механическими конструктивными особенностями порта терминального устройства или удобством реализации.

Дополнительно укажем, что особый характер подсистемы рабочего места снимает ряд ограничений и открывает перспективы проведения конструктивной оптимизации, невозможной в пределах МКС. Так, удобство эксплуатации заметно увеличивается в случае применения адаптера в шнуровом исполнении. Последний заменяет два отдельных компонента и уменьшает на единицу количество разъемных соединителей в тракте, которые являются потенциальными точками отказа.

Входной кросс МКС может рассматриваться как антитипод подсистемы рабочего места, находящийся с противоположной стороны кабельной системы. Он устанавливается в специализированном техническом помещении или может быть выполнен в форме функционально самостоятельной части кросса одного из технических помещений верхнего уровня.

Входной кросс предназначен для обслуживания кабелей операторов связи. В этом техническом помещении расположен

интерфейс между внешней сетью и внутренней информационной кабельной системы МКС. При необходимости кроссы могут снабжаться дополнительным оборудованием инженерного обеспечения, которое необходимо для нормальной эксплуатации МКС. К таковому относятся разрядники и компоненты токовой защиты, которые используются для симметричных линий, оборудование заземления токопроводящих защитных кабельных покровов, обязательное для применения вне зависимости от типа направляющей системы кабельного изделия, и т.д.

Входной кросс целесообразно проектировать как одну из функциональных единиц информационной кабельной системы объекта. Такой подход обеспечивает бесшовное сопряжение МКС предприятия с соединительными линиями операторов связи, а также заметно упрощает строительство и последующую эксплуатацию.

Активное и пассивное оборудование может входить в состав телекоммуникационной инфраструктуры МКС (первая группа устройств) или относиться к собственности оператора связи (вторая группа устройств). Устройства второй группы должны гарантировать качество предоставляемых оператором услуг. К такому оборудованию относятся модемы различной конструкции, преобразователи среды (возможно, совмещенные с мультиплексорами разнообразного назначения) и прочие активные устройства аналогичного назначения.

1.7. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ И ЭЛЕМЕНТАРНАЯ БАЗА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МКС

1.7.1. Состав МКС

У структурированной проводки имеется несколько подсистем, конфигурация и взаимное соответствие которых зафиксированы в стандартах. Классификация, использованная в нормативных документах, носит укрупненный характер

и не всегда соответствует потребностям практики. С целью устранения этого недостатка нормативной части предлагается выделить в МКС некоторые элементы различного масштаба, которые не противоречат разделению кабельной системы на отдельные подсистемы и одновременно образуют иерархическую структуру (рис. 1.8) [15].



Рис. 1.8. Иерархия основных функциональных компонентов МКС

Указанная структура бесшовно встраивается в существующую. С целью обеспечения единообразия подходов в учебном пособии понятие «укрупненный функциональный модуль» в ряде случаев используется в качестве синонима термина «подсистема». Стандарт ISO/IEC 11801:2011 в рамках реализации указанной стратегии также пользуется аналогичным подходом, оперируя понятием «функциональный элемент» информационной кабельной части укрупненного функционального модуля. Последним элементом тройки становится компонент (кабель, разъем, шнур).

В состав мультисервисной кабельной системы входит следующее оборудование: линейно-кабельное оборудование подсистемы внешних магистралей; коммутационное оборудование подсистемы внешних магистралей; линейно-кабельное оборудование подсистемы внутренних магистралей; коммутационное оборудование подсистемы внутренних ма-

гистралей; линейно-кабельное оборудование горизонтальной подсистемы; коммутационное оборудование горизонтальной подсистемы; консолидационные точки; кабели консолидационной точки; однопользовательские (индивидуальные) и многопользовательские (групповые) информационные розетки.

Взаимодействие этих компонентов между собой в схематической форме представлено на рис. 1.9 [32].

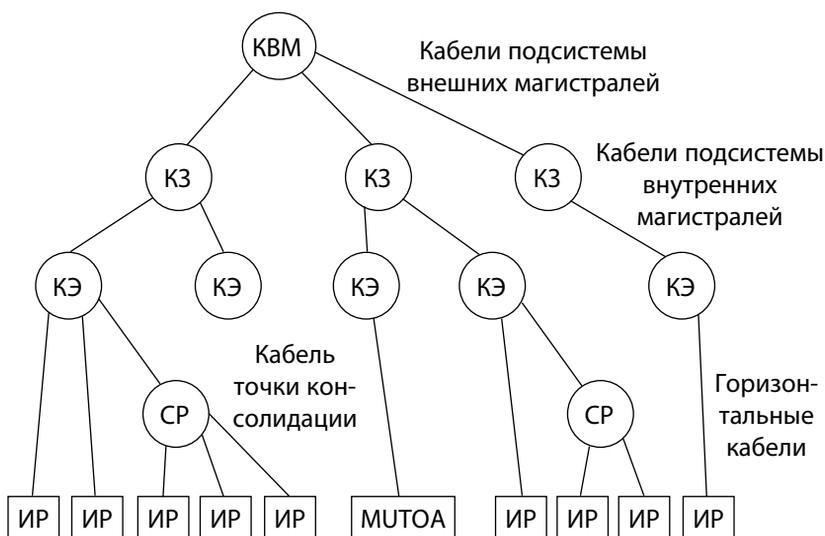


Рис. 1.9. Структура МКС и ее основные компоненты

Разнообразные шнуrowые изделия служат для подключения к МКС сетевого оборудования, а также для коммутации отдельных портов кабельной системы. Применение переключателей для решения различных задач коммутации имеет определенные преимущества, но не получило широкого распространения из-за ограниченных функциональных возможностей. Сам переключатель рассматривается как прямой аналог коммутационного шнура, и на него накла-

дываются точно такие же требования, как на шнуровое изделие.

В связи с конструктивными особенностями портов активных сетевых приборов в некоторых ситуациях для осуществления коммутации дополнительно к шнуру может использоваться адаптер. Он выполняет функции согласования сигнальных и механических параметров оптических или электрических интерфейсов (разъемов) МКС и сетевого оборудования.

Шнуровые изделия и их аналоги не входят в состав функциональных элементов МКС и тем более укрупненных функциональных модулей. Соответственно, они не являются частью МКС. Подобный подход представляется достаточно резонным, так как основные стандарты рассматривают МКС как структуру в форме совокупности отдельных функциональных элементов с иерархическим подчинением, а шнуры используются как средство объединения этих модулей в единое целое.

Организационное отсутствие шнуров и адаптеров в перечне функциональных элементов МКС не исключает их из состава тракта. Поэтому на те параметры указанных компонентов, которые отвечают за качественные показатели передачи сигналов, стандартами накладываются жесткие ограничения. Последнее может осуществляться как непосредственно (к такой форме тяготеют американские органы по стандартизации), так и через ссылки на иные нормативные документы (подход ISO и CENELEC).

1.7.2. Элементная база МКС

Главной причиной коммерческого успеха информационных структурированных кабельных систем стала их изначально высокая технико-экономическая эффективность. Во многом она была обеспечена за счет минимизации типов кабелей, применяемых для построения этих технических объектов. В рамках реализации подобной стратегии в линейной

части МКС офисного типа допускается использование только следующих типов кабелей:

- электропроводных из витых пар с волновым сопротивлением 100 Ом в экранированном и неэкранированном исполнении;
- одномодовых и многомодовых оптических.

Кабели из витых пар используются в первую очередь для создания горизонтальной подсистемы. По ним передаются как телефонные сигналы, так и сигналы сетевых интерфейсов высокоскоростных ЛВС. Обращение к оптическим решениям для реализации горизонтальной подсистемы встречается достаточно редко (построение МКС в соответствии с положениями концепции FTTD).

В горизонтальной подсистеме офисной МКС симметричные кабели из витых пар занимают доминирующее положение. Построение информационной проводки на объектах другого назначения приводит к росту значения оптической техники на нижних уровнях. Например, в ЦОД популярность оптических решений обусловлена очень высокими скоростями передачи информации. На промышленных объектах решающее значение приобретают гальваническая развязка и нечувствительность волоконного световода к внешним электромагнитным полям.

В подсистеме внутренних магистралей симметричные и оптические кабели применяются одинаково часто, причем электропроводные кабели обеспечивают работоспособность главным образом телефонной сети предприятия, тогда как оптические кабели предназначены для передачи сигналов ЛВС. Перевод ЛВС и телефонной сети предприятия как основных потребителей ресурсов МКС на единую технологическую платформу IP-сетей заметно усиливает позиции волоконной оптики на уровне подсистемы внутренних магистралей.

На внешних магистралях оптические кабели играют доминирующую роль. Их популярность в этой части кабельной системы определяется заметно большей максимальной даль-

ностью связи и возможностью прямой стыковки с соединительными линиями телекоммуникационных операторов.

Кабели МКС вне зависимости от использования в них витой пары или световода дополнительно делятся на линейные и шнуровые. Шнуровые изделия отличаются от линейных в первую очередь тем, что изначально рассчитаны на большое количество циклов сгиба-разгиба с малым радиусом, выполняемых на протяжении нормативного срока их службы. Данная особенность оказывает влияние на конструктивное исполнение (структура проводника или световода, выбор материалов оболочек, их толщины и т.д.). Кроме того, необходимость обеспечения гибкости неизбежно сопровождается определенным ухудшением передаточных параметров шнуров на основе витых пар. По этой причине в процессе задания характеристик нормативные документы в обязательном порядке оперируют моделями трактов, в которых в явном виде выделены длины линейного (инсталляционного) и шнуровых кабелей.

В МКС допускается наличие неоднородных трактов, включающих в себя электропроводную и оптическую части, объединенные в единое целое с помощью прозрачных преобразователей среды.

Интерфейс активного сетевого оборудования, использующего оптические тракты, обычно реализован в форме трансивера. Для улучшения технико-экономической эффективности сети в целом процесс преобразования электрического сигнала в оптический (на передающем конце) совмещается с мультиплексированием, точнее, осуществляется после его выполнения.

Прямая передача телефонных сигналов и низкоскоростных данных по волоконно-оптическому кабелю экономически целесообразна, и в офисных МКС применяется в тех случаях, когда выдвигаются особые требования в отношении защиты информации от несанкционированного доступа. В МКС, инсталлируемой вне офиса, оптические решения на уровне горизонтальной подсистемы или ее аналога встречаются заметно

чаще при высоких скоростях передачи (центры обработки данных) и при работе в условиях повышенного уровня электромагнитных помех (промышленные предприятия).

В волоконно-оптической подсистеме также используются шнуровые кабели. В отличие от электропроводной подсистемы, их передаточные параметры такие же, как и параметры линейных кабелей, а все конструктивные изменения сосредоточены исключительно на уровне механических характеристик. Поэтому те ограничения на длины шнуровых изделий, которые содержатся в стандартах, введены туда исключительно из соображений поддержания единообразия с электропроводной частью МКС.

Любой разъемный соединитель, применяемый в МКС, имеет кабельную и панельную части. Для механического крепления панельной части в рабочем положении предназначено коммутационное оборудование, которое делится на пользовательское и групповое.

Пользовательское коммутационное оборудование представлено индивидуальными и многопользовательскими информационными розетками. Оно монтируется в рабочих помещениях пользователей и поэтому имеет соответствующие эстетические показатели.

Групповое коммутационное оборудование рассчитано на установку в 19-дюймовом конструктиве, который устанавливается в технических помещениях. Встречаются варианты этой техники для настенного монтажа. Отличается от пользовательского бо льшим количеством розеточных модулей и упрощенным дизайном.

1.7.3. Предпочтительные области применения разрешенных типов кабельных изделий МКС

Как следует из вышеизложенного, в МКС применяются преимущественно симметричные и волоконно-оптические кабели. Их категории приведены в табл. 1.2 [32].

Таблица 1.2

**Соответствие категорий симметричных кабелей
и соединителей классам приложений**

TIA/EIA-568	ISO/IEC 11801	EN 50173	ISO/IEC 11801
Кабели и соединители			Класс аппаратуры
—	—	—	А
—	—	—	В
Категория 3	Категория 3	Категория 3	С
Категория 4*	Категория 4*	—	—
Категория 5	Категория 5	Категория 5	D
Категория 6	Категория 6	Категория 6	E
Категория 6a	Категория 6a	Категория 6a	Ea
—	Категория 7	Категория 7	F
—	Категория 7a	Категория 7a	Fa
Категория 8**	Категории 8.1 и 8.2**	—	G

* Исключена из современных редакций стандартов.

**В настоящее время не стандартизованы.

В случае обращения к электропроводной элементной базе стандартами допускается использование экранированного и неэкранированного симметричного кабеля. Экранированный кабель потенциально обладает лучшими электрическими, а в некоторых случаях и прочностными характеристиками по сравнению с неэкранированным. Однако тракты передачи информации на его основе критичны к качеству выполнения монтажа и заземления, а сами кабели имеют высокую стоимость и обладают худшими массогабаритными показателями. С учетом указанных особенностей основным типом электропроводных кабельных изделий (при отсутствии дополнительных требований или указаний) следует считать их неэкранированные варианты.

Экранированная техника используется в тех случаях, когда начинают явно проявляться ее преимущества:

- работа в условиях повышенного уровня внешнего электромагнитного излучения;
- построение сетей для передачи конфиденциальной информации;
- функционирование при повышенных температурах;
- дистанционное питание мощных терминальных устройств по технологии PoE.

В качестве фокусной области применения волоконно-оптических кабелей рассматриваются магистральные подсистемы. Они дополнительно делятся на многомодовые и одномодовые.

Многомодовые волоконно-оптические кабели применяются, как правило, в качестве основы подсистемы внутренних магистралей. Их одномодовые аналоги целесообразно привлекать только для построения длинных внешних магистралей.

Предпочтительность применения техники в тех или иных областях определяется исключительно стоимостной оптимизацией решения в целом. По обеспечиваемой пропускной способности электропроводная, одномодовая и многомодовая волоконно-оптическая техника не отличаются друг от друга. Исключение, касающееся скоростей свыше 40 Гбит/с, качественно не меняет картину в целом и организационно решается выделением таких линий в отдельный класс.

В горизонтальной подсистеме с типовыми длинами в десятки метров наибольшими преимуществами обладают симметричные решения. Их достоинства дополнительно усиливаются возможностью дистанционного питания маломощных оконечных сетевых устройств с привлечением для этого технологий PoE и PoE+, а также перспективной PoE++ классов I (до 60 Вт) и II (максимум 100 Вт).

На магистральных линиях небольшой протяженности (не свыше нескольких сотен метров), где еще не сказываются дисперсионные ограничения многомодовой оптики, появляется возможность работы на экономически выгодной длине

волны 850 нм. Подобные линии характерны для подсистемы внутренних магистралей.

В случае организации связи на расстояние свыше примерно 500 м начинают сказываться те преимущества одномодовой оптики, которые определяются ее несколько меньшим затуханием и заметно меньшими дисперсионными искажениями. Определенное значение имеет возможность прямой стыковки с оптическими кабелями соединительных линий операторов связи. Данные соображения определяют фокусную область применения техники этой разновидности.

Все изложенное выше относится к МКС, предназначенным для офисов и ЦОД. В иных областях могут применяться другие типы кабелей связи. Обращение к ним позволяет заметно увеличить общую эффективность структурированной проводки. Так, кварц-полимерные и полимерные оптические кабели промышленных МКС наиболее выгодны для обеспечения функционирования широко распространенных контроллеров промышленной автоматики.

Для реализации некоторых разновидностей МКС могут привлекаться коаксиальные кабели. В ЦОД они служат для продолжения соединительных линий операторов связи. В домашних кабельных системах эти линейные изделия используются для передачи телевизионных сигналов к оконечным розеткам.

1.8. ПОНЯТИЕ КЛАССОВ И КАТЕГОРИЙ

1.8.1. Классы приложений и линий МКС, категории кабелей, шнуров и разъемов

Цепь передачи сигнала по кабельному тракту МКС от разъема до разъема активного сетевого оборудования всегда содержит минимум пять включенных последовательно компонентов: два шнура, линейный кабель и два разъемных соединителя шнуровых кабелей с линейными. Оконечные разъемы

рассматриваются как часть аппаратуры и при определении характеристик и проверке корректности формируемой структуры не принимаются во внимание.

Комплекс тех характеристик МКС как технического объекта, выполнение требований к которым необходимо для организации связи с заданным качеством, можно характеризовать с помощью понятия класса (см. табл. 1.2).

Сам принцип формирования тракта передачи сигнала как последовательного соединения отдельных компонентов приводит к тому, что обеспечения определенного уровня характеристик только этих компонентов уже недостаточно для гарантированного получения нужной пропускной способности. Возникает потребность в согласовании друг с другом тех элементов, последовательное соединение которых образует тракт. Иначе говоря, выполнение отдельными компонентами норм по пропускной способности представляет собой не более чем необходимое условие достижения заданной пропускной способности тракта, но не является достаточным условием.

Данная особенность изначально учитывается нормативными документами МКС: в обязательном порядке отдельно нормируются характеристики основных компонентов, привлекаемых для формирования цепи передачи сигнала, и собранных из них линий различных видов. Подобный дуализм отображается в стандартах с различных позиций. Основной американский стандарт включает в себя две части (2 и 3), в которых описана электропроводная и волоконно-оптическая элементная база МКС, а характеристики смонтированных из них линий вынесены в другие места. Международный и европейский документы в явном виде нормируют преимущественно линии, однако содержат нормативные ссылки на соответствующие стандарты компонентного уровня.

Само собой разумеется, что при последовательном соединении отдельных компонентов формируемая из них цепь передачи сигналов обладает по крайней мере не лучшими характеристиками по сравнению с отдельно взятым компонентом.

Имеющиеся исключения из этого правила носят единичный характер и не учитываются в процессе построения МКС.

Степень ухудшения характеристик линий зависит от точности согласования параметров соединяемых компонентов.

Нормативные документы МКС всегда учитывали существование указанной выше особенности. В стандартах взаимное соотношение между параметрами линий и элементной базы, которая используется для их формирования, описывается с различных позиций. В американских стандартах серии TIA/EIA-568 для этого применяется одинаковый термин «категория». Международные и европейские стандарты терминологически дополнительно подчеркивают качественное различие между комплексным объектом и отдельными компонентами использованием в первом случае обозначения «класс», а во втором — «категория».

Классификацию по классам удобно распространить также на то активное сетевое оборудование, которое использует симметричные тракты для обмена данными. Для обозначения классов в этом случае также привлекаются заглавные латинские буквы (см. табл. 1.2).

Приложению каждого класса ставится в соответствие класс линии связи, который задает минимально допустимые электрические характеристики тракта передачи сигнала, необходимые для нормальной работы. Аппаратура определенного класса гарантированно функционирует с заданным качеством по кабельным трактам «своего» и более старшего класса. Справедливо также обратное утверждение: линия конкретно взятого класса без ограничений поддерживает функционирование сетевой аппаратуры более низкого класса.

Отдельно укажем на то, что между скоростью передачи информации, обеспечиваемой определенной разновидностью сетевого интерфейса, и классом приложения не во всех случаях существует взаимно однозначное соответствие. Так оборудование *Fast Ethernet* с номинальной скоростью передачи 100 Мбит/с в варианте 100Base-T4 относится к классу С, тогда

как его функциональный аналог 100Base-TX представляет собой приложение класса D. Таким образом, скорость передачи является не более чем одним из исходных параметров, оказывающих влияние на класс приложения. Дополнительно принимаются во внимание количество одновременно функционирующих цепей передачи сигналов, тип линейного кодирования и режим работы сетевого интерфейса. Последняя оговорка не случайна. При работе в полудуплексном режиме полностью исчезает ограничение от воздействия помехи ближнего конца, а при отказе от схемы параллельной передачи можно не считаться с переходной помехой от дальнего конца. При прочих равных условиях учет названной особенности дает возможность значительно увеличить дальность связи и (или) нарастить скорость передачи.

1.8.2. Классы и категории электропроводной подсистемы

Полный комплекс передаточных характеристик отдельных компонентов, используемых в процессе формирования электропроводного тракта, задается с привлечением понятия категории (табл. 1.3) [32]. Кабели и разъемы более высоких категорий обеспечивают нормальное функционирование всех приложений, которые рассчитаны на работу по кабельным трактам более низких категорий (механическая совместимость считается присутствующей по умолчанию).

Таблица 1..3

Категории электропроводных кабелей, шнуров и разъемов и поддерживаемые скорости передачи информации

Категория кабеля и разъема	Максимальная частота сигнала	Максимальная скорость передачи
Категория 3	До 16 МГц	10 Мбит/с
Категория 4*	До 20 МГц	16 Мбит/с
Категория 5	До 100 МГц	100 Мбит/с
Категория 5е	До 100 МГц	1 Гбит/с
Категория 6	До 250 МГц	1/10 Гбит/с

Окончание табл. 1.3

Категория кабеля и разъема	Максимальная частота сигнала	Максимальная скорость передачи
Категория 6a	До 500 МГц	10 Гбит/с
Категория 7	До 600 МГц	10 Гбит/с
Категория 7a	До 1000 МГц	10 Гбит/с
Категория 8**	До 2000 МГц	40 Гбит/с

* Исключена из действующих редакций стандартов.

** В настоящее время не стандартизована.

Характерной особенностью системы нормирования электропроводных компонентов на основе категорий является улучшение основной массы тех отдельных параметров, которые отвечают за качественные показатели формируемого тракта, по мере перехода к более старшей категории.

Категория обозначается числовым индексом, причем категория 1 считается наихудшей с точки зрения обеспечиваемых передаточных параметров. В отличие от статичных классов приложений, перечень которых фактически расширяется довольно медленными темпами, категории демонстрируют заметно лучшую динамику. Так, из последних редакций нормативных документов были исключены категории 1, 2 и 4, элементная база которых по различным причинам не востребована практикой, а категория 5 заменена на 5e с заметно лучшими потребительскими свойствами.

Начиная с 2000 г. для обозначения категорий большую популярность приобрело применение двухпозиционного индекса. Он может быть как буквенно-цифровым (например, 5e, 6a, 7a), так и чисто цифровым (8.1 и 8.2 — точка в данном случае выполняет функции исключительно разделителя). Не вдаваясь в подробный анализ причин появления того или иного подхода, укажем только на две значимые особенности:

— в «расширенном» индексе может быть в явном виде зашифрован прототип новой элементной базы;

— добавление индекса означает качественное улучшение характеристик прототипа в первую очередь по частотным свойствам (категория 5е, в которой впервые был задействован такой подход, является исключением).

Для построения трактов категории до 6а включительно стандарты допускают привлечение как экранированных, так и неэкранированных линейных кабелей. В качестве соединителя применяется в основном модульный разъем. Линии категорий 7 и 7а при современном уровне техники могут быть реализованы только на кабеле с индивидуальной экранировкой пар. Функции соединителя возлагаются на разъемы ARJ45, GG45 и *Tera*.

В системах категории 8 (класса G), перспективной в первую очередь для ЦОД, не исключен возврат к кабелям без индивидуального экрана и соединителям RJ45. Такое положение дел определяется более чем трехкратным сокращением предельно допустимой протяженности тракта класса G (30 м против 100 м у менее скоростных аналогов). В данном случае влияние на качество передачи заметно более высокого уровня переходного шума компенсируется выигрышем по затуханию из-за меньшей протяженности цепи распространения сигнала.

Итак, классы обозначаются заглавными латинскими буквами. С середины первого десятилетия XXI в. к ним по аналогии с категориями может добавляться буквенный индекс-расширитель. Класс А выбран как низший, что позволяет наращивать количество классов по мере возникновения такой потребности, не затрагивая уже существующие и обеспечивая тем самым преемственность нормативной базы.

1.8.3. Классы и категории волоконно-оптической подсистемы

К приложениям оптических классов относятся те из них, которые используют в качестве среды передачи сигнала световоды волоконно-оптического кабеля.

На ранних этапах развития техники МКС частотные свойства даже относительно узкополосных многомодовых во-

локонно-оптических трактов максимальной протяженности не оказывали значимого влияния на функционирование активного сетевого оборудования. В силу этого в стандартах первого и второго поколения (1991–1995 гг.) нормировалось только одно обобщенное приложение оптического класса. Ситуация радикально поменялась после внедрения в широкую инженерную практику сетевых интерфейсов *1G Ethernet*.

В 2002 г. стандартом ISO/IEC 11801 для многомодовых оптических трактов офисных МКС было введено три оптических класса: OF-300, OF-500 и OF-2000. Число в обозначении класса соответствует максимальной гарантированной протяженности соответствующего тракта.

Для построения линий оптической подсистемы могут быть использованы многомодовые волокна категорий OM1, OM2, OM3 и OM4. Характерной особенностью категорий многомодовой части волоконно-оптической подсистемы становится то, что по мере перехода к более старшей категории согласно стандартам нормируется улучшение только частотных свойств. Это радикально отличает ее от медножильной подсистемы.

Для одномодовых волокон в МКС офисного типа предусматриваются две категории: OS1 и OS2, технические характеристики которых напрямую заимствованы из спецификаций G652a и G652d, нормируемых Международным союзом электросвязи. Можно утверждать, что в случае обращения к технике ведущих мировых производителей волоконные световоды одномодовых оптических кабелей МКС по своим характеристикам всегда соответствуют требованиям категории OS2. Одномодовые оптические тракты офисных МКС относятся исключительно к классу OF-2000. В системах промышленного назначения нормируются также классы OF-5000 и OF-10 000.

Разъемные и неразъемные соединители, применяемые в процессе формирования оптических трактов, не оказывают влияния на их частотные свойства. Поэтому классификация по категориям на них не распространяется.

При описании характеристик оптической подсистемы определенную популярность получили двухпозиционные индексы типов OM4e или OM4+. Такое обозначение не упоминается в официальных нормативных документах и его следует рассматривать как маркетинговый ход конкретного производителя, демонстрирующий превосходство предлагаемой продукции над требованиями действующих стандартов.

В промышленных МКС дополнительно нормированы классы малой дальности: OF-200 и OF-100 (кварц-полимерные волокна), OF-50 и OF-25 (полимерные волокна). Соответствующие им линии предназначены для поддержки функционирования оборудования промышленной автоматики на нижних уровнях проводки.

1.9. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИММЕТРИЧНЫХ ЛИНИЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ

1.9.1. Принцип соответствия класса и категории и особенности его применения

Между классами и категориями существует определенная взаимосвязь (табл. 1.4) [32]. Необходимость обращения к двум родственным понятиям обусловлена стремлением избежать терминологической ловушки, которая может возникнуть на начальном этапе внедрения техники на основе симметричных кабелей следующего поколения. Сложность проблемы заключается в том, что разработчиками вначале создается целиком линия с качественно более высоким уровнем пропускной способности. Только потом они приступают к решению задачи обеспечения конструктивной открытости оборудования (возможности применения в составе одного тракта компонентов различных производителей). До этого момента компонентов вновь вводимой категории формально просто не существует.

В общем случае соответствие линии электропроводной симметричной техники определенному классу по про-

пусковой способности не гарантирует соответствия входящих в нее компонентов определенной категории. Справедливо также обратное: соответствие компонента определенной категории не гарантирует получение с его помощью у линий характеристик определенного класса. Комплекс мероприятий, устраняющий это несоответствие, носит обобщенное название «*обеспечение открытости категории*». Только при их выполнении справедливо положение о прямом соответствии класса линии и категории элементной базы.

Таблица 1.4

Категория разъема в зависимости от категорий вилки и розетки электропроводной подсистемы МКС

Розетка разъемного соединителя	Вилка разъемного соединителя				
	Category 5e	Category 6	Category 6a	Category 7	Category 7a
Category 5e	Category 5e	Category 5e	Category 5e	Category 5e	Category 5e
Category 6	Category 5e	Category 6	Category 6	Category 6	Category 6
Category 6a	Category 5e	Category 6	Category 6a	Category 6a	Category 6a
Category 7	Category 5e	Category 6	Category 6a	Category 7	Category 7
Category 7a	Category 5e	Category 6	Category 6a	Category 7	Category 7a

В случае обеспечения производителем МКС открытости категории линии связи на симметричном кабеле должны быть собраны полностью из компонентов с характеристиками не хуже той категории, на которую они рассчитаны. Данное правило имеет также обратное действие: тракт передачи информации МКС, собранный из компонентов открытой категории, в обязательном порядке поддерживает работу всех

приложений своего и более низкого классов для наиболее сложных условий. Под последними понимаются максимальная дальность связи, наиболее сложная конфигурация тракта, применение элементов с характеристиками на границе разрешенных и т.п.

Стандарты МКС построены так, что электропроводные кабельные тракты всегда будут соответствовать требованиям определенной категории (класса) «при одновременном выполнении следующих условий:

- технические характеристики всех кабелей, разъемов и соединительных шнуров этой линии соответствуют требованиям этой категории или превышают их;
- линия спроектирована и собрана с учетом требований стандартов (соблюдены ограничения на длины кабелей, количество точек коммутации и т.д.);
- монтаж выполнен в полном соответствии с правилами производителя МКС» [32].

1.9.2. Принцип слабого звена электропроводной подсистемы

Отдельные компоненты МКС различных категорий мало отличаются друг от друга по чисто механическим характеристикам, а в некоторых случаях (соединители) они просто идентичны. Эта особенность позволяет без проблем объединять их в составе одного тракта. Однако качественные параметры такого объекта до проведения сложных расчетов неизвестны, что оказывается крайне неудобным с точки зрения текущей эксплуатации. Для упрощения работы с информационной проводкой стандарт ISO/IEC 11801 основан на так называемом принципе «слабого звена». Его суть состоит в том, что гарантированные ожидаемые характеристики тракта или стационарной линии МКС определяет тот компонент из присутствующих в цепи передачи сигнала, который имеет самую низкую категорию.

В качестве примера практической реализации рассматриваемого принципа можно сослаться на данные табл. 1.4.

Дополнительно отметим, что соответствие комплексного объекта определенному классу не становится 100%-й гарантией возможности нормального функционирования образующих его компонентов в составе тракта, собранного с привлечением компонентов другого производителя. Иначе говоря, это соответствие является необходимым, но еще не достаточным условием.

Наличие в составе линии слабого звена или даже ее формирование полностью из компонентов с категорией, которая не соответствует классу приложения, означает не более чем формальное несоответствие требованиям стандарта. Из него не вытекает невозможность передачи сигналов этого приложения по конкретной линии. Подобное утверждение определяется тем, что для нормального функционирования сетевого интерфейса необходимы в первую очередь заданное отношение сигнала к шуму и определенная полоса пропускания. Подбор элементной базы и структуры линии осуществляется с учетом наихудших условий (например, максимальная длина линии). В более щадящих условиях характеристики линии как средства доставки сигнала от передатчика к приемнику естественным образом улучшаются. Это увеличивает вероятность того, что характеристики достигнут такого уровня, который необходим для нормального функционирования более скоростного приложения.

Приведем несколько примеров, иллюстрирующих данное положение.

Уменьшение длины линии приводит как к увеличению отношения сигнала к шуму, так и к расширению ее полосы пропускания. Результатом становится то, что, например, некоторое приложение вполне может функционировать по линии, собранной из компонентов на единицу более низкой категории. Официально данный прием может быть использован в ЦОД, в которых линейные сигналы сетевых интерфейсов класса E_A

(10-гигабитный *Ethernet*) допустимо передавать по кабельным трактам из компонентов категории 6 на расстояние до 37 м. Более того, при выполнении мягких дополнительных ограничений гарантируется дальность связи до 55 м.

С другой стороны, уменьшение класса приложения до уровня не выше С позволяет увеличить гарантированную протяженность тракта. Например, аналоговый телефон (приложение класса А) с шириной линейного спектра около 3 кГц вполне способен работать по кабелю категории 5е на расстояние много больше 100 м. Возможность такого подхода в явном виде предусматривается действующими стандартами при условии соответствующего отражения данного факта в системе администрирования.

Еще одной степенью свободы является структура линии. Максимальная дальность связи устанавливается на основании 4-коннекторной модели, отличающейся повышенным уровнем шумов. Переход на 2-коннекторную модель обязательно увеличивает пропускную способность. Степень данного улучшения вполне может быть определена в численном виде, например, по соответствующим формулам, включенным в приложение к стандарту ISO/IEC 11801:2011. Увеличить пропускную способность позволяют также повышенные запасы по параметрам отдельных компонентов, определяемые внутрифирменными нормами. При этом результирующая степень превышения может оказаться такой, что по своим чисто передаточным параметрам сформированная линия будет соответствовать более старшему классу. Примером практического внедрения такого подхода может считаться МКС типа *freenet* швейцарской компании *Reichle & De-Massari*. В этой кабельной системе в случае привлечения для реализации компонентов категории 5е при использовании 2-коннекторной модели обеспечиваются характеристики линий класса Е даже при максимальной 100-метровой протяженности тракта.

1.10. ПРОЧИЕ ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ЧАСТИ НИЖНЕГО УРОВНЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

1.10.1. Концепция *Direct Connection*

Концепция *Direct Connection* (прямого подключения) представляет собой сравнительно новую схему построения кабельных трактов МКС. Появление этого варианта реализации информационной проводки было вызвано наличием в современном офисном здании большого количества различных устройств автоматизации систем инженерного обеспечения, а также широким распространением систем внутренней радиосвязи Wi-Fi и оборудования дистанционного наблюдения. Характерными особенностями подобных устройств становится то, что они зачастую полностью или частично располагаются в недоступном месте и являются статичными. Этим они радикально отличаются от классических терминальных устройств МКС, постоянно «путешествующих» вслед за пользователем по всему зданию и перемещающихся по их рабочему столу. В такой ситуации формирование окончного участка проводки в форме комбинации ИР и шнура становится избыточным и линейный кабель вполне может включаться непосредственно в порт активного устройства. Подключение реализуется по схеме интерконнекта в смысле определения стандарта ISO/IEC 11801:2011 с заменой одного из соединяемых кабелей на активное сетевое устройство (рис. 1.10) [15].



Рис. 1.10. Концепция прямого подключения

Внедрение концепции прямого подключения оказывает существенное влияние на конструктивное исполнение

вилок. Особое значение здесь имеет целесообразность перехода на технику высоких категорий из-за большой популярности систем дистанционного питания класса по меньшей мере PoE+, характерной для устройств рассматриваемой разновидности. Такой переход сопровождается увеличением диаметра провода линейного кабеля вплоть до 1,6 мм. В подобной ситуации простое рядное расположение проводов в корпусе вилки становится невозможным из-за ограниченной ширины ее корпуса (11,63 мм согласно стандарту IEC 60603-7-1). Задача механического согласования решается переходом на двухрядную схему со смещением отдельных проводов и их расположением в шахматном порядке. Увеличенные диаметры линейных кабелей влекут за собой необходимость изменения конструкции установочного гнезда.

При больших диаметрах проводов витых пар категорий 6 и выше применение в процессе установки вилок классической обжимной технологии становится нерациональным, что сопровождается переработкой самого узла подключения к линейному кабелю и той части корпуса вилки, в которой располагается этот механизм. Наиболее значимые конструктивные переработки сводятся к следующему:

- вместо пирсинговых контактов массово начинают использоваться IDC-контакты с разделением всей их совокупности на две группы и взаимным смещением последних в шахматном порядке;

- выравнивание проводов в двухуровневую структуру осуществляется с помощью соответствующей оправки;

- для упрощения процедур подачи проводов в область IDC-контактов на корпусе предусматриваются съемные или откидные элементы.

Обращение к описанным выше конструктивным нововведениям полезно еще и с точки зрения улучшения частотных свойств разъема. Свою положительную роль играют уменьшение длины нарушения фабричной скрутки витых пар

и заметное улучшение повторяемости результатов кримпирования, которое является одной из характерных черт технологии на основе IDC-контактов.

1.10.2. Концепции на основе активного сетевого оборудования

Одной из причин ограничения количества подсистем МКС на заре развития этой техники была необходимость выполнения известного правила четырех репитеров в той ее части, которая обслуживала ЛВС. Начиная с конца 1990-х гг. функции узловых компонентов локальных сетей возлагаются исключительно на коммутаторы, для которых правило четырех репитеров неактуально. В результате количество отдельных промежуточных устройств в цепочке может быть свыше четырех без ущерба для качества функционирования ЛВС.

Одновременно современная МКС в той ее части, которая обслуживает конечных потребителей, все чаще начинает использовать единую технологическую платформу IP-устройств.

Данным обстоятельством вполне можно воспользоваться при построении МКС. Максимально полный эффект достигается в том случае, если наиболее значимые изменения сосредоточены в области горизонтальной подсистемы. Это обусловлено следующим:

- из-за небольшой плотности пользовательских IP на нижнем уровне сети не возникает проблемы места для размещения дополнительного активного оборудования и его охлаждения;

- современная микроэлектроника потребляет сравнительно небольшую мощность, которая может быть доставлена по симметричным кабелям по схеме дистанционного питания стандарта даже уровня PoE;

- с учетом того, что на уровне горизонтальной подсистемы офисных МКС сосредоточено свыше 80% всех ресурсов, необходимых для ее создания и последующей эксплуатации, все

нововведения дают наибольший результирующий экономический эффект.

В рамках реализации данной стратегии известны следующие решения:

— так называемые активные консолидационные точки, в основу которых положен коммутатор ЛВС, непосредственно устанавливаемый в конструктиве;

— инсталляционные микрокоммутаторы, которые предназначены для установки в спаренные или даже одиночные гнезда двухпортовых пользовательских ИР (изначально были разработаны как устройства с оптическим *uplink*-портом, затем появились их аналоги с медножильным вариантом этого порта) [26];

— точки радиодоступа по стандарту Wi-Fi в различных его вариантах;

— системы беспроводной оптической связи типа *Beamcaster*.

Отдельную тему представляет предложение по переводу кабельной проводки ЛВС на функционирование по схеме пассивных оптических сетей PON в различных вариантах их исполнения.

Подобные предложения в большем или меньшем объеме внедрены в широкую инженерную практику. Тем не менее они не получили массового распространения и пока рассматриваются скорее как дополнение к классической информационной проводке.

Вопросы и задания

1. Что такое мультисервисная кабельная система (МКС)?
2. Перечислите организации по стандартизации МКС.
3. Перечислите базовые стандарты МКС.
4. Охарактеризуйте стандарт ISO/IEC 11801.
5. Охарактеризуйте стандарт телекоммуникационной инфраструктуры коммерческих зданий.
6. Нарисуйте структуру МКС.

7. Перечислите функциональные элементы МКС.
8. Перечислите подсистемы МКС и укажите их назначение.
9. Охарактеризуйте топологию МКС.
10. Опишите размещение распределительных пунктов МКС.
11. Как происходит распараллеливание и совмещение функций однородных технических помещений МКС?
12. Опишите области применения разрешенных типов кабельных изделий МКС.
13. Опишите классы и категории электропроводной подсистемы.
14. Опишите классы и категории волоконно-оптической подсистемы.
15. Объясните принцип соответствия класса и категории кабеля электропроводной подсистемы и особенности его применения.
16. Объясните принцип «слабого звена» электропроводной подсистемы.
17. Охарактеризуйте концепцию *Direct Connection*.
18. Охарактеризуйте концепцию МКС на основе активного сетевого оборудования.

Глава 2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ МКС

2.1. СИММЕТРИЧНЫЙ КАБЕЛЬ КАК ОСНОВА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ МКС

Симметричный кабель — это кабель, состоящий из одной или более симметричных пар, троек, четверок и тому подобных групп изолированных проводящих жил. Симметричный кабель «витая пара» представляет один из вариантов такого кабеля, отличаясь от остальных малым шагом скрутки отдельных пар. Для ее описания удобно привлекать эквивалентную схему, изображенную на рис. 2.1, а. В некоторых случаях применяют упрощенную схему (рис. 2.1, б).

В схемах рис. 2.1, а и рис. 2.1, б элементы R и G определяют потери электроэнергии в токопроводящей жиле и изоляции, соответственно. Элементы C и L характеризуют инерционность витой пары как среды передачи электромагнитных колебаний.

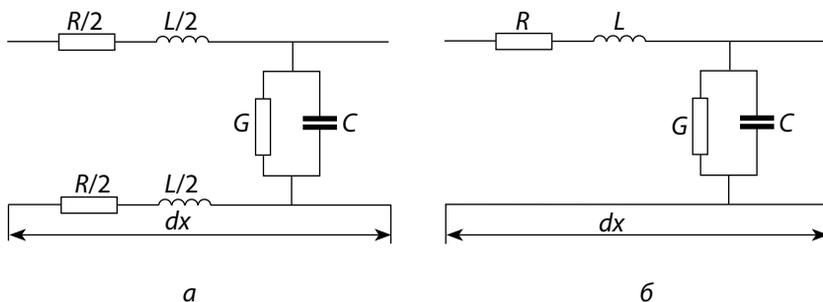


Рис. 2.1. Эквивалентная схема элементарного участка электрического кабеля типа витой пары:
а — основная; б — упрощенная

2.2. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ КАБЕЛЕЙ

Витые пары основной массы симметричных горизонтальных кабелей образуют в готовом изделии структуру, которая естественным образом близка к осесимметричной. Тем не менее такой вариант топологии поперечного сечения является далеко не единственным — альтернативой выступает рядная топология. Конструкции данной разновидности внедрены в серийное производство и находят ограниченное применение при решении определенных классов задач в процессе построения СКС.

В случае обращения к рядной схеме форма кабельного изделия отличается от круглой. С учетом данной особенности такие конструкции обычно называют плоскими, или низкопрофильными, оставляя за традиционным внешним дизайном обозначение круглых кабелей.

Плоские кабели представляют собой один из вариантов горизонтального кабеля, изначально разработаны для прокладки под офисными ковровыми покрытиями и были достаточно популярны на первых этапах развития техники СКС (рис. 2.2, *а*) [15]. При создании такой конструкции тело кабеля дополняется двумя боковыми «крылышками» обычно треугольной в поперечном сечении формы [33]. Они принимают на себя раздавливающие механические усилия, характерные для фокусной области применения изделия (рис. 2.2, *в*).

Верхняя поверхность плоского кабеля может структурироваться продольными пазами, находящимися прямо над камерами для укладки витых пар или же между ними [15]. Их введение несколько снижает расход материала, идущего на изготовление оболочки, и уменьшает погонную массу изделия. Кроме того, облегчается разделка кабеля перед его подключением к розеточному модулю (рис. 2.2, *б*) [15].

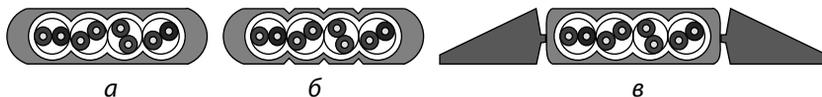


Рис. 2.2. Варианты реализации плоских горизонтальных кабелей:
а — обычный горизонтальный кабель; б — обычный горизонтальный кабель со структурированной верхней поверхностью;
в — кабель для прокладки под ковром

Начиная с 2000-х гг. в распоряжении авторов проектов построения СКС в офисных зданиях появился широкий арсенал технических средств формирования кабельных каналов для подачи информационных сервисов к пользовательским рабочим местам, не примыкающим непосредственно к стенам помещения их размещения. К таковым относятся низкопрофильные фальшполы и различные колонны. Одновременно некоторые производители СКС ввели в состав предлагаемого ими продукта специализированные средства формирования напольных каналов (например, продукт *FLEX kanal* компании *Reichle & De-Massari*), обращение к которым дает возможность не расширять номенклатуру видов исполнения горизонтальных кабелей. Кроме того, такие рабочие места вполне могут обслуживаться системами беспроводной радио- и оптической связи. Все это привело к тому, что специализированные кабели для прокладки под ковром в реальной практике встречаются крайне редко.

Существенным недостатком плоского кабеля категории б и выше в канонической форме его исполнения является то, что он обладает не вполне удовлетворительными свойствами по межкабельным влияниям в случае групповой прокладки в канале. Для улучшения характеристик изделия по этому параметру предложено использование оболочек с выступами различной формы на внешней поверхности (см. рис. 2.2, б, в), которые могут быть симметричными. Их наличие не позволяет кабелям плотно прилегать друг к другу даже при сильной нагрузке кабельных трасс [15].

Сильной стороной плоского кабеля является то, что он дает возможность более экономично использовать про-

странство кабельного канала вне зависимости от способа реализации последнего при условии выполнения регулярной укладки. В связи с этим плоские конструкции могут представлять определенный интерес для создания гибких шнуровых кабелей.

Рядная схема расположения витых пар означает увеличение расстояния для половины (трех из шести) возможных комбинаций пар, т.е. от плоской конструкции следует ожидать определенного улучшения характеристик по обеим разновидностям суммарной переходной помехи.

Для выполнения дальнейшего анализа воспользуемся модельными структурами, изображенными на рис. 2.3 [15].

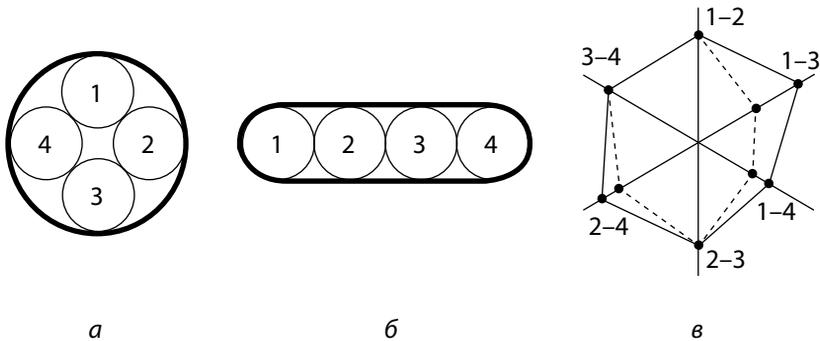


Рис. 2.3. К расчету эффективности перехода на плоскую форму горизонтального кабеля:

- a* — модель круглого кабеля; *б* — модель плоского кабеля;
в — шестиугольная диаграмма переходного затухания плоского (непрерывная линия) и круглого (пунктир) кабелей

Для определенности считается, что кабель с круглой формой поперечного сечения полностью соответствует минимальным нормам действующих редакций стандарта.

В качестве численной меры эффективности используем величину суммарной переходной помехи $PS - GXT$ (от англ. *Global Cross Talk*), объединяющей переходную помеху ближнего и дальнего концов.

Предположим, что минимальная величина межпарного (глобального) переходного затухания наблюдалась между парами 1 и 3, причем приведение в соответствие с нормами возможно только за счет оппозитного расположения этих пар в структуре сердечника.

На основании подхода стандарта ISO/IEC 11801:2011 затухание суммарной (отмечается введением индекса PS) переходной помехи от i -ой пары для k -й пары

$$PS - GXT_k = -10 \lg \sum_{i=1, i \neq k}^4 10^{-GXT_{ik}/10}.$$

Считаем для простоты, что $GXT_{12} = GXT_{14}$ и с учетом того, что для современных кабелей СКС справедливо $PS - GXT = GXT - 3$ дБ, получаем $GXT_{12} = GXT_{14} = GXT_{13} + 3$ дБ.

Известно, что ток переходной помехи падает пропорционально квадрату расстояния между взаимодействующими цепями. Данное обстоятельство позволяет оценить выигрыш по глобальной переходной помехе.

Соответствующие расчеты приведены в табл. 2.1 [15]. Через g в ней обозначено увеличение расстояния между парами в плоском кабеле по сравнению с круглым, что изменением Δ глобальной переходной помехи на величину $\Delta PS - GXT$. Из данных таблицы вытекает, что в структуре, изображенной на рис. 2.4, б, имеем рост $PS - GXT$ на 2,8 дБ.

Таблица 2.1

Сравнение круглых и плоских кабелей по переходным влияниям

	Однорядная структура			Двухрядная структура		
	1-2	1-3	1-4	1-2	1-3	1-4
Комбинация пар	1-2	1-3	1-4	1-2	1-3	1-4
Круглый кабель	1		1	1	$\sqrt{2}$	1
Плоский кабель	1	2	3	$\sqrt{1+g^2}$	2	$\sqrt{9+g^2}$
$\Delta PS - GXT$, дБ	0	3	9,5	$5 \lg(1+g^2)$	3	$5 \lg(9+g^2)$

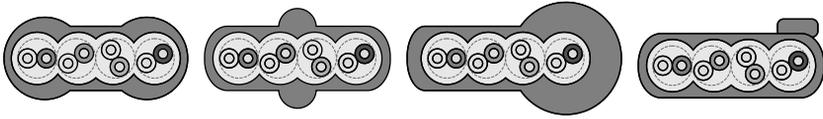


Рис. 2.4. Варианты реализации плоских горизонтальных кабелей с улучшенными параметрами межкабельного переходного затухания

Проведенная оценка показывает, что при сохранении шагов скрутки витых пар неизменными в плоском кабеле значения суммарного переходного затухания ближнего и дальнего концов увеличиваются, но достигаемый выигрыш не является радикальным. Подобный теоретический вывод подтверждается экспериментально [35]. Данное обстоятельство является одной из главных причин малой практической популярности плоских кабелей, которые используются исключительно в узких нишевых областях.

Дальнейшее совершенствование плоских кабелей по параметрам влияния можно проводить по двум направлениям.

Первым из таких направлений становится подбор порядка расположения витых пар в рядной структуре. Например, переход от варианта 1-2-3-4 структуры (см. рис. 2.3, б) к 1-2-4-3 дает увеличение $\Delta PS - GXT$ на 3,7 дБ.

Второе направление заключается в отказе от однорядного расположения витых пар в пользу двухрядного шахматного.

Дадим оценку потенциальных возможностей этого направления. Для структуры, изображенной на рис. 2.4, имеем данные, приведенные в табл. 2.1. Результаты расчетов представлены на рис. 2.5.

Из них следует, что наращивание $\Delta PS - GNX$ данным способом свыше 2,1 дБ лишено смысла из-за того, что плоский кабель начинает проигрывать своему круглому аналогу по массогабаритным характеристикам.

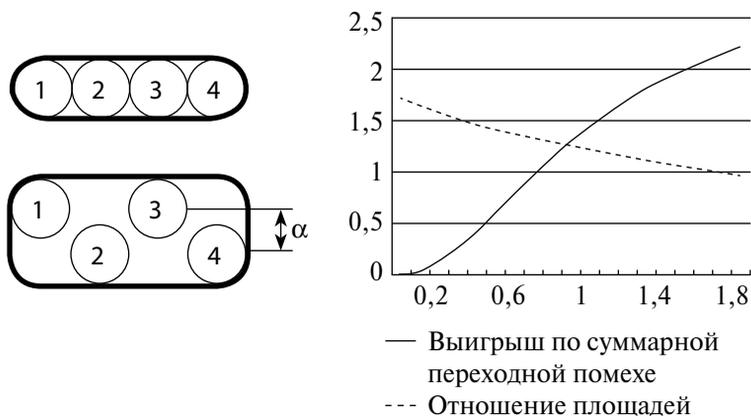


Рис. 2.5. Зависимость отношения площадей поперечного сечения и выигрыша по глобальной переходной помехе от расстояния между рядами пар плоского кабеля

Вопросы и задания

1. Чем отличается симметричный электрический кабель от несимметричного?
2. Назовите области применения симметричного и несимметричного электрического кабеля.
3. Как определяется пропускная способность тракта передачи на основе кабеля «витая пара»?
4. Какой принцип передачи данных используется в том случае, когда пропускная способность тракта оказывается недостаточной для поддержания требуемых качественных показателей?
5. Как влияет тепловой шум на пропускную способность тракта передачи на основе кабеля «витая пара»?
6. Что такое переходное затухание кабеля и как оно определяется?
7. На каком конце кабеля переходное затухание больше — на дальнем или на ближнем?
8. Как переходное затухание зависит от конструкции кабеля?

9. Охарактеризуйте варианты реализации плоских горизонтальных кабелей с улучшенными параметрами межкабельного переходного затухания.

10. Как оценивается диаметр типового кабеля СКС различных категорий?

11. Охарактеризуйте направления улучшения массогабаритных характеристик кабеля «витая пара».

12. Охарактеризуйте базовые варианты структурирования изоляции проводов витых пар.

13. Назовите способы уменьшения диэлектрической проницаемости изоляции.

14. Назовите способы уменьшения эффективного диаметра витой пары.

Глава 3

КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МКС

3.1. РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНИТЕЛИ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ КАБЕЛЕЙ

3.1.1. Истоки возникновения проблемы

При построении горизонтальной подсистемы офисной СКС определенные перспективы имеют гибридные кабели. Согласно стандартам все цепи передачи сигналов в линейной части должны быть заведены на элементы разъемного соединителя. Чаще всего переход на оптический и электропроводный соединители в процессе формирования интерфейса стационарной линии осуществляется с использованием наборных (блочных) полок или пользовательских ИР. Для этого розетки модульного разъема RJ45 и оптического соединителя выполняются с однотипными элементами крепления (обычно в стиле *keystone*).

Главным преимуществом такого подхода считается быстрота внедрения, обеспечиваемая применением в коммутационных устройствах штатной элементной базы без выполнения новых разработок. Фактическая конфигурация устройства подбирается в зависимости от количества реализуемых портов и числа цепей передачи в комбинированном кабеле.

Традиционное решение обладает следующими недостатками:

- потеря того выигрыша по конструктивной плотности, который обеспечивает гибридный кабель в линейной части;
- значительное увеличение рисков механического повреждения волоконных световодов, которые возникают в про-

цессе подключения тяжелых и жестких витых пар электропроводной части к розеточным модулям RJ45;

- сложность выделения свободного пространства, достаточного для хранения технологического запаса световодов, а также гильз комплекта для защиты сростка (КДЗС) и корпусов механических сплайсов при использовании технологии монтажа на основе монтажных шнуров (пигтейлов).

Нельзя также упускать из вида то, что традиционная конструкция соединителя предполагает применение традиционной технологии установки его компонентов на кабель. В части волоконных световодов это влечет необходимость хранения технологического запаса волокна, что ограничивает снизу минимальные габариты корпуса одиночной пользовательской информационной розетки размерами в плане 60×60 мм, что является избыточным для витых пар симметричных кабелей.

Основными средствами устранения указанных выше недостатков становятся:

- переход на транковое исполнение линейных кабелей;
- использование разветвительных коммутационных шнуров, которые выполняют функции адаптера, осуществляющего пространственное разделение витых пар и световодов;
- применение специальной разновидности разъемного соединителя для установки на гибридные кабели.

3.1.2. Особенности гибридных разъемов

Известные гибридные соединители реализуют несимметричную схему построения разъема, т.е. включают в себя интегральный розеточный модуль, с которым взаимодействует интегральная вилка. *Интегральным* называется компонент, содержащий одновременно оптические и электропроводные цепи передачи сигналов и обеспечивающий их соединение (разъединение) в едином цикле с заданным качеством то количество раз, которое определено в нормативной части стандартов СКС.

В качестве прототипа панельной части разъема из соображений выполнения требований базовых стандартов СКС в части типа пользовательского интерфейса целесообразно принять розетку модульного разъема. С учетом этого ограничения известны два основных варианта исполнения таких компонентов. Розеточная часть обоих решений является геометрически совместимой со стандартными вилками модульных разъемов.

При разработке гибридного соединителя за основу принимается тот факт, что допуски на геометрические размеры корпуса вилки и установочного гнезда розетки не позволяют реализовать его конструкцию без применения дополнительных механизмов взаимного выравнивания волоконных световодов. В известных изделиях эта проблема решается обращением к центрирующим гильзам и армирующим наконечникам. Из-за необходимости уменьшения угловых рассогласований наконечник оптической части соединителя должен довольно сильно (минимум на несколько мм) выступать из узла крепления.

Полная совокупность возможных решений такого рода делится на две основные группы.

В первой группе оптические контакты расположены во внутренней части гнезда модуля. Возможно альтернативное исполнение, когда они выполнены внешними по отношению к гнездовой части розетки RJ45 с выносом оптически активных поверхностей на лицевую часть корпуса [33].

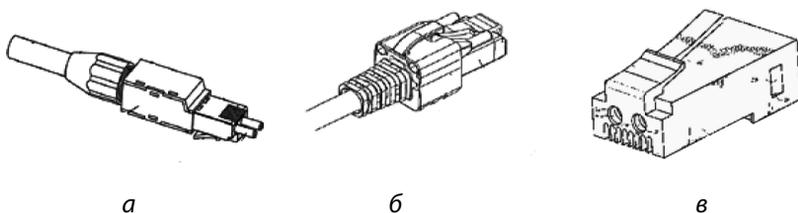


Рис. 3.1. Вилки гибридных разъемных соединителей: а — EM-RJ; б — RCC45; в — с гнездовой частью оптического разъема в вилке

Решение, реализующее один из вариантов первой схемы исполнения разъема (см. рис. 3.1, *a*), доведено до уровня серийного продукта, который выпускается немецкой компанией *Euromicron* и известен под торговой маркой EM-RJ.

Интересным моментом конструкции EM-RJ стало решение проблемы относительно больших габаритов армирующих наконечников волоконных световодов. Они занимают много места в корпусе вилки и расположены там, где в обычных вилках находятся каналы для выравнивания проводов и их подачи к ИРС-контактам. Учитывая это ограничение, разработчик был вынужден использовать для соединения контактов оконцевателя и рабочих контактов вилки промежуточную печатную плату [44, 45].

Второй вариант этого решения остался на уровне предложений и отличается тем, что штыревые компоненты оптической части соединителя смонтированы в розетке по образцу известного оптического разъема MT-RJ. На вилке находятся гнезда и внешне она отличается от обычных наличием на своей торцевой поверхности двух отверстий под наконечники оптического соединителя.

Во второй группе схема была предложена в середине первого десятилетия нового века [15], доведена до уровня серийного изделия и продвигалась компанией *Reichle & De-Massari* под торговой маркой RCC45. Его характерной чертой стало выполнение центрирующих наконечников волоконных световодов в виде внешних наделок на корпусе вилки, расположенных по обе стороны от рычага защелки фиксатора и на одном уровне с ним (см. рис. 3.1, *б*).

Электрические проводники гибридных соединителей могут быть задействованы для обеспечения питания маломощных оконечных устройств, поддерживающих стандарт PoE. В этом случае на лицевую пластину розетки устанавливается дополнительный адаптер. Данную опцию предусматривает разъем RCC45 (рис. 3.2) [15].

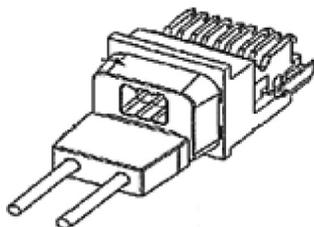


Рис. 3.2. Разъем RCC45 в сборе с дополнительным адаптером для подачи напряжения дистанционного питания

3.2. КОММУТАЦИОННЫЕ ПАНЕЛИ

3.2.1. Панели с переменным углом установки лицевой пластины корпуса

Основная масса коммутационных панелей с розетками модульных разъемов, применяемых при реализации офисных информационных систем, имеет прямую лицевую пластину корпуса. В кабельных системах ЦОД, напротив, более предпочтительны так называемые угловые панели. Подобный дуализм функционально однородной элементной базы для производящего предприятия немедленно влечет за собой распыление ресурсов. Кроме того, угловая коммутационная панель в канонической форме ее исполнения неудобна в монтаже, так как линейные кабели, подключаемые к розеточным модулям различных плоских частей корпуса, перекрещиваются между собой в рабочем положении. Для устранения этих недостатков предложены панели с переменным углом установки лицевой пластины корпуса, которые инвариантны по области применения и одинаково успешно могут использоваться как в офисных СКС, так и в кабельных системах ЦОД.

Суть модернизации известной конструкции заключается в том, что лицевая часть корпуса панели делится на две однотипные полупластины, которые соединены между собой вер-

тикальным шарниром. Шарнир допускает поворот отдельных полупластин с расположением их в крайних точках как на одной прямой, так и под углом порядка 120° друг к другу. При установке панели в ЦОД предполагается, что подключение кабелей к оконцевателям осуществляется при прямом положении лицевой пластины корпуса (Рис.3.3, а) [15]. После завершения этой процедуры шарнир тянущим движением перемещается вперед, панель приобретает угловую форму и фиксируется в таком положении на штатном рабочем месте (рис. 3.3, б) [46].

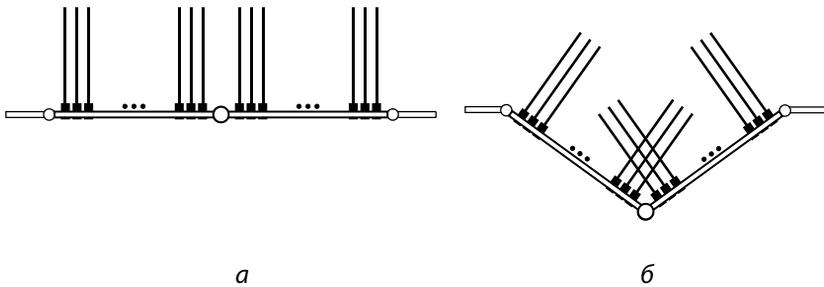


Рис. 3.3. Схема расположения линейных кабелей в угловых панелях с переменным углом:

a — в процессе подключения кабелей к розеточным модулям;
б — в рабочем положении

Известны два различных решения данной задачи, которые отличаются друг от друга исполнением узлов вращения.

Исторически первой такая конструкция была предложена компанией *RiT Technologies*. Она была основана на простом центральном шарнире рояльного типа и скользящих узлах крепления к 19-дюймовым направляющим монтажного конструктива.

Основным недостатком изделия, реализующего схему (рис. 3.4, а), считается необходимость ослабления крепежных винтов узла установки на 19-дюймовых направляющих в момент перевода панели из прямого в угловое положение

и обратно. Отмечалась также неудовлетворительная с точки зрения практики прочность фиксации полупластин несущего корпуса в рабочем положении. С целью совершенствования конструкции в панели компании *YFC Bon Eagle Electric* была выполнена глубокая переработка кинематической части изделия [46]. В центральном узле, соединяющем отдельные полупанели, осуществлен переход на трехосевую схему сложного шарнира на основе петель с вертикальной ориентацией осей. Их конструкция допускает изменение расстояния между полупластинами в процессе их углового поворота. Это дало возможность перейти от скользящего узла крепления к 19-дюймовым рельсам конструктива к заметно более практичному поворотному. Результатом стало увеличение удобства работы монтажника и повышение механической стабильности изделия в рабочем положении (рис. 3.4, б) [15].

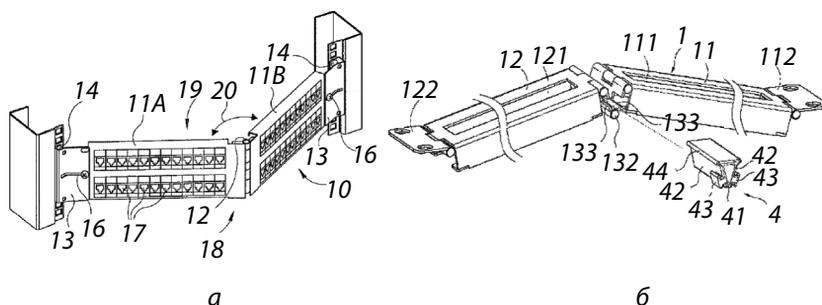


Рис. 3.4. Варианты реализации панелей

с переменным углом установки лицевой пластины корпуса:

a — простой центральный шарнир; *б* — сложный центральный шарнир

Общепринятого наименования изделий рассмотренной разновидности в среде специалистов пока не выработано. Компания *RiT Technologies* называет их панелями с переменным углом корпуса (англ. *panel with a variable angle*), тогда как разработчики *YFCBonEagle* обозначают такую панель как «сгибаемую» (англ. *bendable patch panel*).

3.2.2. Панели с реверсивным подключением коммутационных шнуров

Недостатками коммутационных панелей с классическим дизайном вне зависимости от вида выполнения их лицевой пластины являются сложность чтения штатной и дополнительной маркировки системы администрирования при сильной загрузке портов коммутационного поля и необходимость выделения свободного пространства большой глубины с их фронтальной части. Последнее определяется конструкцией вилок разъемных соединителей и необходимостью соблюдения норм по радиусу изгиба коммутационного шнура.

Устранение этих недостатков достигнуто в панелях с реверсивным подключением. Основной характерной чертой этих изделий становится то, что при подключенной вилке кабель коммутационного шнура направлен не от панели, а ориентирован внутрь монтажного конструктива.

Возможности изменения направления подвода шнура к панели можно добиться двумя различными способами.

Первый из таких способов заключается в переработке конструкции вилки так, чтобы она была ориентирована антипараллельно кабелю в смысле направления движения сигнала. Такой дизайн группового коммутационного оборудования может применяться для разъемов любой разновидности. Изделия серии *VisiPatch* внедрены в серийное производство, аналогичные панели на основе разъемов модульного типа остались только в виде предложения [46].

Во втором случае в обратном направлении разворачивается розетка панели, которая выносится вперед относительно установочной плоскости на скобе с формой, которая близка к Г-образной [47]. Такое решение позволяет работать с коммутационными шнурами, имеющими традиционное исполнение, но подключение и отключение шнуров происходит «на ощупь».

3.2.3. Угловые панели с уменьшенной монтажной глубиной

Функции коммутационного оборудования симметричных линий информационных кабельных систем ЦОД обычно вы-

полняют угловые панели высокой плотности. Применение в них лицевой пластины корпуса в виде выступающего вперед угла (рис. 3.5, б) [15] позволяет, в отличие от традиционных панелей с прямой лицевой пластиной корпуса (рис. 3.5, а) [15], отказаться от установки горизонтальных организаторов. Разработчик пользуется тем, что кабели коммутационных шнуров категории 6 и выше обладают высокой жесткостью и не требуют обязательной поддержки на участке от розетки соединителя до точки входа в вертикальный организатор. Дополнительно учитывается то, что угол, который образует кабель подключенного коммутационного шнура с плоскостью монтажа, оказывается заметно меньше прямого. Это существенно уменьшает длину кабеля, находящегося в «вывешенном» состоянии.

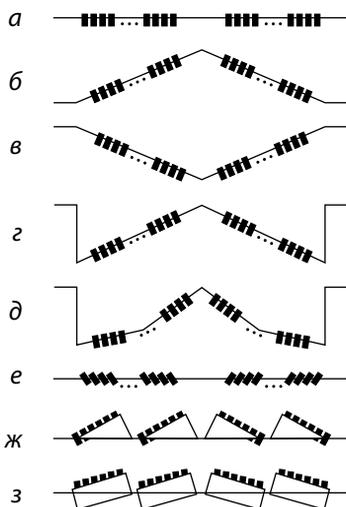


Рис. 3.5. Варианты исполнения корпусов 19-дюймовых панелей: а — прямой; б — классический угловой; в — классический утопленный угловой; г — с внутренним углом; д — двойной угловой утопленный; е — с угловой установкой розеточных модулей; ж — блочный с блоками треугольной формы; з — блочный с прямоугольными блоками

При всех своих достоинствах угловые панели обладают также определенными недостатками. Основными из них можно считать сравнительно большую монтажную глубину и неудобство монтажа из-за эффекта перекрещивания кабелей. Применение конструкций, свободных от таких недостатков, увеличивает эффективность создаваемой СКС.

Требование большой монтажной глубины классической угловой панели обусловлено тем, что ее форма вынуждает сдвигать вглубь серверного шкафа переднюю пару 19-дюймовых монтажных направляющих. Это увеличивает глубину конструктива и ухудшает условия функционирования системы воздушного охлаждения.

С целью устранения указанного недостатка предложен ряд конструкций.

Первым очевидным решением поставленной задачи следует рассматривать переход на схему «внутреннего угла» (рис. 3.5, *в*) [15]. Данный вариант был доведен до уровня серийного продукта и пользовался популярностью в середине первого десятилетия XXI в. во Франции. Малое распространение таких изделий обусловлено неудобством их эксплуатации из-за перекрещивания кабелей коммутационных шнуров. С учетом этого остальные конструкции всегда имеют ориентацию розеток модульных разъемов от центра к краям, принципиально устраняющую этот эффект.

В основу группы решений утопленного типа положено соображение о том, что коммутационное оборудование СКС имеет заметно меньшую глубину по сравнению с активными сетевыми устройствами различного назначения. Это свойство позволяет уменьшить монтажную глубину с лицевой поверхности панели за счет более полного использования внутреннего пространства монтажного конструктива. Для этого корпус панели выполняется с выступающими вперед крепежными элементами (рис. 3.5, *г*) [15].

Кабели коммутационных шнуров, подключенные к внешним розеткам углубленной угловой панели, упираются в несущий

отгиб. Для устранения данного недостатка предложены двойные угловые утопленные панели [48], у которых внешняя часть лицевой пластины имеет меньший угол отклонения от плоскости установки (рис. 3.5, *д*) [15].

Панели высокой плотности для серверных шкафов вполне могут иметь плоскую форму лицевой пластины корпуса. Для обеспечения необходимых условий организации кабелей коммутационных шнуров в таких изделиях осуществляется угловой разворот самого розеточного модуля (рис. 3.5, *е*) [15].

В случае применения традиционных прямых розеточных модулей коммутационные шнуры ориентированы от центра панели, тогда как линейные кабели — в сторону центра, что приводит к их нежелательному перекрещиванию. Для устранения этого недостатка в случае панелей отображения [49, 50] предложено применение проходных адаптеров (адаптеров I-типа) с угловой формой корпуса. Обращение к ним дает возможность добиться ориентации обоих типов кабельных изделий в направлении от центра.

Само угловое крепление розеточного модуля в корпусе коммутационного устройства достаточно сложно с конструктивной точки зрения. Для устранения данного недостатка в сочетании с сохранением плоской формы несущего корпуса предложен переход на блочный дизайн панели. Модули монтируются не в корпус, а в промежуточный 12-портовый несущий модуль, который, в свою очередь, вставляется в установочное гнездо корпуса и удерживается там на защелках. Сами модули могут быть как треугольной (рис. 3.5, *ж*) [15], так и прямоугольной (рис. 3.5, *з*) [15] формы. В последнем случае они могут быть как фиксированными [42], так и снабжаться центральной осью и в процессе монтажа устанавливаться параллельно плоскости лицевой пластины панели [43]. При этом изделие в целом приобретает свойства панели с переменным углом установки лицевой пластины корпуса.

Вопросы и задания

1. Подготовьте доклад на тему «Проблемы технологий разъемных соединителей для гибридных кабелей».
2. Подготовьте доклад на тему «Панели с переменным углом установки лицевой пластины корпуса».
3. Подготовьте доклад на тему «Панели с переключателями».
4. Подготовьте доклад на тему «Панели с реверсивным подключением коммутационных шнуров».
5. Подготовьте доклад на тему «Угловые панели с уменьшенной монтажной глубиной».
6. Подготовьте доклад на тему «Коммутационные панели офисных МКС».
7. Подготовьте доклад на тему «Телефонные коммутационные панели».
8. Подготовьте доклад на тему «Технические помещения для коммутационных панелей».
9. Подготовьте доклад на тему «Два способа организации кабельных систем: интер-коннект и кросс-коннект».
10. Подготовьте доклад на тему «Интеллектуальные кабельные системы для автоматического отслеживания реального соединения пар портов коммутационных панелей».
11. Подготовьте доклад на тему «Технология идентификации портов коммутационных панелей с помощью датчиков *iPatch*».
12. Подготовьте доклад на тему «Создание дополнительного канала связи для отслеживания соединений коммутационных панелей с помощью добавления в патч-корд дополнительных проводников и на разъемы дополнительных контактов».
13. Подготовьте доклад на тему «Создание дополнительного канала для отслеживания соединений коммутационных панелей с помощью экрана STP патч-корда».
14. Подготовьте доклад на тему «Создание дополнительного канала для отслеживания соединений коммутационных

панелей с помощью неиспользованной полосы пропускания патч-корда».

15. Подготовьте доклад на тему «Использование RFID-метки для идентификации разъема кабельной системы и RFID-антенны для порта коммутационной панели».

16. Подготовьте доклад на тему «Идентификация разъемов кабельной системы с помощью контактной микросхемы на базе 1-Wire».

Глава 4

ШНУРОВЫЕ И ПРЕДОКОНЦОВАННЫЕ СИММЕТРИЧНЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МКС

4.1. ШНУРОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

4.1.1. Разновидности коммутационных шнуров

Коммутационные шнуры широко используются в процессе формирования трактов передачи информации различных видов и предназначены для следующих целей:

- прямое подключение к структурированной проводке активного сетевого оборудования;
- коммутация отдельных стационарных линий в процессе формирования составных трактов;
- соединение между собой коммутационных панелей отображения портов активного сетевого оборудования в технических помещениях в случае построения коммутационного поля по схеме кросс-коннекта.

Некоторые разновидности шнуров применяются в процессе проведения различных видов измерений.

Согласно определению, данному в стандарте ISO/IEC 11801, коммутационный шнур представляет собой отрезок кабеля с гибкими многопроволочными проводниками, на обоих концах которого устанавливаются вилки разъемов. В зависимости от вида коммутационного оборудования шнуры могут быть армированы двумя однотипными вилками или выполнены комбинированными, с вилками несопадающих типов на разных концах.

В процессе построения и эксплуатации МКС находит применение большое количество шнуров разнообразного функ-

ционального назначения. Стандартом ISO/IEC 11801 в 2002 г. была введена классификация этих изделий, представленная в табл. 4.1 [22].

Таблица 4.1

Основные разновидности шнуровых изделий СКС

Англоязычное обозначение	Отечественный аналог	Назначение
<i>Equipment cord</i>	Коммутационный шнур, монтажный шнур, аппаратный шнур	Подключение к СКС группового активного сетевого оборудования, установленного в техническом помещении
<i>Patch-cord</i>	Коммутационный шнур, патч-корд	Коммутация отдельных панелей СКС в техническом помещении в случае построения коммутационного поля по схеме кросс-коннекта
<i>Work-area cord</i>	Оконечный шнур, пользовательский шнур, абонентский шнур	Подключение к СКС сетевого оборудования со стороны рабочего места пользователя
<i>Extra Short Connection Cord</i> *	Шнур-перемычка	Непосредственное отображение портов активного сетевого оборудования на коммутационную панель

* Название не стандартизовано.

Отечественная терминология в данном вопросе не отличается строгостью, последовательностью и структурированностью, а также сильно засорена англицизмами. С учетом этой особенности в табл. 4.1 представлено соответствие русско- и англоязычных терминов.

Ряд авторов различных публикаций и технический персонал проектных и монтажных организаций, а также системные администраторы и специалисты, ответственные за эксплуатацию СКС, не различают шнуры по назначению вообще. Для обозна-

чения всех разновидностей шнуровых изделий, используемых в составе кабельных трактов структурированной проводки, ими употребляются обобщающий термин «коммутационный шнур» или же англоязычная калька «патч-корд».

Аналогично линейным кабелям коммутационные шнуры классифицируются по категориям. Касательно количества элементарных цепей передачи стандарт ISO/IEC 11801 предусматривает возможность применения 4-парных коммутационных шнуров всех тех категорий, которые предусмотрены этим нормативным документом. Одновременно могут быть использованы шнуровые изделия, которые формально не относятся ни к одной из категорий, например из-за меньшего количества пар. Допустимость их применения обусловлена тем, что этот компонент тракта передачи не входит в состав стационарной линии и прямо не охватывается действием стандартов СКС. Таким образом, конструктивное исполнение подобного изделия может выбираться разработчиком произвольно. Единственное известное исключение из этого общего правила относится к случаю работы шнура в составе тракта, предназначенного для обеспечения функционирования оборудования ЛВС.

В составе горизонтальной подсистемы СКС рекомендуется использовать 4-парные коммутационные шнуры с модульными разъемами, разведенными по схеме T568B как более распространенной. Число пар в шнурах с разъемами типа 110, установленных на одном или обоих концах гибкого кабеля (как второго по популярности соединителя), определяется тем конкретным приложением, для обслуживания которого привлекаются ресурсы СКС. Экранированный вариант возможен только в коммутационных шнурах с двумя модульными разъемами.

Для увеличения эффективности процесса текущей эксплуатации кабельной системы производящие компании предлагают шнуры различной длины. Обычно используется ряд дискретных значений с некоторым шагом, который зависит от производителя. Американские компании больше тяготеют к целочисленным футовым значениям этого параметра,

а в случае значительных объемов поставок на европейский рынок или при нахождении производства в Европе чаще используется дециметровый дискрет. Европейские производители СКС в основной своей массе ориентируются в данном вопросе на метрические единицы длины. Следует отдельно указать на то, что стандарт TIA/EIA-568-A не рекомендует использовать коммутационные шнуры длиной свыше 6,1 м (20 футов). Стандарт ISO/IEC 11801:2002 занимает в данном вопросе несколько более жесткую позицию. Согласно требованиям этого нормативного документа значение длины коммутационного шнура, который задействуется в различных математических моделях горизонтальной подсистемы, не должно превышать 5 м. С учетом возможности использования электропроводных линий в магистральной части СКС, а также в открытом офисе производители в качестве штатной каталожной позиции предлагают коммутационные шнуры категории 5е и выше с длинами до 9 м. Ряд производителей допускает также шнуры большей длины в случае поступления соответствующего заказа.

Минимальная длина коммутационного шнура у большинства производителей обычно составляет 50–60 см. В связи с распространением в последнее время схем жесткого отображения портов активного сетевого оборудования на коммутационную панель, которая располагается на соседнем посадочном месте монтажного конструктива, минимальная длина соединительного шнура может быть меньше указанного значения. Для обозначения таких изделий в зарубежной технической литературе используются специальные термины (англ. *Extra Short Connection Cord*, нем. *Kurzverbinder*), в табл. 4.1 используется термин «шнур-перемычка». Серийно они предлагаются, например, компаниями *Corning Cable Systems* (длина 0,2 м) и *Rechle&De-Massari* (длина 0,2 и 0,25 м).

Коммутационные шнуры могут быть изготовлены в производственных условиях или непосредственно на объекте в процессе монтажа СКС. Рекомендуется употреблять фабричные

шнуры с потенциально более высокими электрическими характеристиками и эксплуатационной надежностью. Часть производителей СКС переводят эту рекомендацию в разряд требований. Они не сертифицируют и не ставят на фирменную гарантию информационные кабельные системы, в которых не используются шнуры заводского изготовления из заранее определенного закрытого перечня.

4.1.2. Упаковка коммутационных шнуров

Производящие предприятия достаточно консервативно подходят к упаковке коммутационных шнуров. Обычно их поставка осуществляется в пластиковом пакете. Шнур сворачивается в кольцо и дополнительно фиксируется в этом состоянии мягкой изолированной проволокой. На пакет наклеивается этикетка с указанием артикульного номера и некоторых поясняющих надписей для быстрого определения типа вилок и экранирующих покрытий (при их наличии), длины кабеля и категории шнура. В случае больших объемов выпуска упаковка шнуров производится в пластиковые пакеты.

В упаковочном пакете могут находиться от одного до пяти (однотипных) шнуров. Групповая упаковка характерна для изделий небольшой длины, максимум до 1,5–2 м. В случае индивидуальной упаковки могут вкладываться некоторые дополнительные компоненты. Например, компания *SchneiderElectric* практикует укладку в упаковочный пакет двух пар разноцветных маркирующих клипс.

Еще одной разновидностью групповой упаковки является коробочная поставка. В этом случае в картонную коробку укладываются несколько десятков шнуров одной длины. Фокусной группой потребителей в данном случае рассматриваются различные дистрибьютерские компании.

Оригинальный способ поставки однотипных коммутационных шнуров предложен компанией *Ortronics*. Он также относится к группе коробочной упаковки и продвигается под торговой маркой *EZPatch*. Основная идея состоит в том, что шнуры

по 50 штук последовательно соединяются друг с другом фиксатором. Затем из получившейся цепочки по образцу горизонтального кабеля формируется самонесущая обмотка или производится ее намотка на катушку. Последняя помещается в упаковочную коробку с несколько модифицированным выводом [42, 43]. В случае необходимости выполнения коммутации шнур вытягивается из коробки и отсоединяется от цепочки. Фиксатор при этом считается расходным материалом, изготавливается из тонкой пластмассы методом штамповки и после использования выбрасывается.

Фиксаторы *EZPatch* могут иметь разнообразную форму исполнения (рис. 4.1) [32]. Серийно производится только тот из них, из которого вилка шнура вынимается поворотом против часовой стрелки. При таком движении поднимается верхняя прижимающая лапка и от цепочки отсоединяется шнур.

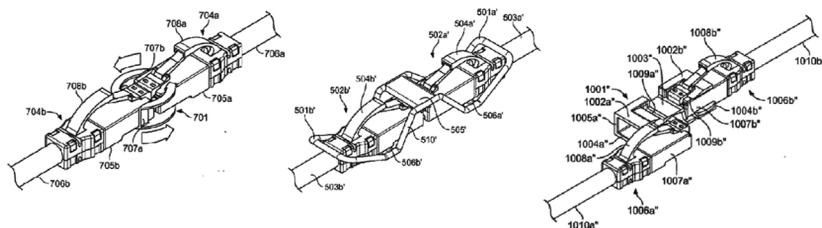


Рис. 4.1. Некоторые варианты исполнения скрепляющего держателя коммутационных шнуров в случае упаковки *EZ Patch*

Основным достоинством решения компании *Ortronics* считается удобство складского хранения. Это обеспечивается, в частности, унификацией размеров упаковочных коробок горизонтальных кабелей и коммутационных шнуров. Немаловажное значение имеет также значительное уменьшение количества отходов из-за отсутствия индивидуальных пакетов и скрепляющей проволоки.

Контактная группа вилок модульных разъемов довольно чувствительна к загрязнениям, появление которых может ока-

зать существенное влияние на параметры тракта категории 6 и выше. Для устранения опасности их возникновения компания *Reichle&De-Massari* практикует установку на торцевую часть вилок модульных разъемов защитного колпачка. Последний изготавливается из тонкого пластика и удерживается в рабочем положении за рычаг фиксирующей защелки. Для удаления колпачка достаточно просто нажать на рычаг и снять его линейным движением.

4.2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ШНУРОВ ПО ИСПОЛНЕНИЮ

4.2.1. Плоские шнуровые кабели

В параграфе 2.2 были рассмотрены плоские линейные кабели. Структура сердечника, положенная в их основу, вполне может быть использована также при создании гибких кабелей для коммутационных шнуров.

Основным побудительным мотивом обращения к такому решению считается то, что появляется возможность эффективно уменьшить площадь поперечного сечения кабельных жгутов. Необходимым условием достижения этого полезного свойства становится обязательное наличие регулярной структуры жгута. Выигрыш достигается за счет более плотной укладки плоских кабелей, что хорошо видно из рис. 4.2 [15].

Проиллюстрируем положение о преимуществах плоских кабелей на численном примере [42]. Коммутационные шнуры категории 6 типа U/UTP компании *Siemon* имеют внешний диаметр 5,8 мм. Семь таких шнуров образуют жгут с эффективной общей площадью 230 мм². Плоский кабель с аналогичными параметрами имеет размеры поперечного сечения 2,34×8,1 мм. При условии регулярной укладки семь таких кабелей занимают площадь 150 мм². Занимаемая ими площадь оказывается примерно в половину меньше по сравнению с традиционными круглыми изделиями.

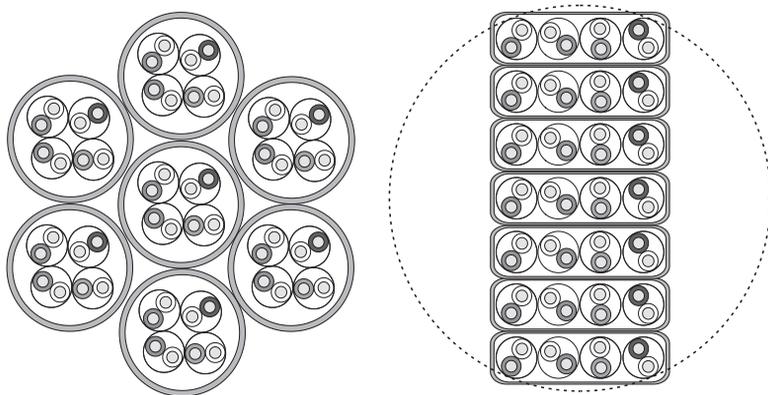


Рис. 4.2. Сравнение поперечных размеров регулярных жгутов из семи обычных круглых (слева) и плоских (справа) кабелей

По своим механическим параметрам шнуры из плоских гибких кабелей эквивалентны своим аналогам на базе круглых шнуров. Все отличие заключается только в форме поперечного сечения этого изделия. При изготовлении коммутационных шнуров данная особенность влечет за собой необходимость применения вилок с соответствующей формой входного гнезда.

Широкого распространения плоские шнуровые кабели не получили. Основная причина состоит в том, что при отсутствии регулярной укладки, которая характерна для текущей эксплуатации СКС, плоские кабели неизбежно проигрывают круглым (вследствие их большего эффективного диаметра).

Дополнительным плюсом плоской конструкции может считаться несколько меньшая величина суммарной переходной помехи. Это имеет существенное значение при скоростях 1 Гбит/с и выше в случае неэкранированной техники.

4.2.2. Кабель консолидационной точки

Для обозначения рассматриваемых далее элементов использован термин «кабель консолидационной точки», который заимствован из стандарта ISO/IEC 11801:2011. Кабель данной

разновидности (рис. 4.3) [15] применяется при СКС с консолидационной точкой в составе горизонтальных трактов. Он представляет собой полноценное линейное претерминированное изделие на основе кабеля с жесткими однопроволочными проводниками.

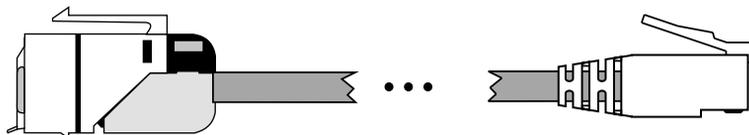


Рис. 4.3. Схема исполнения кабеля консолидационной точки

Основные отличия от классических претерминированных сборок заключаются в следующем:

- с учетом малопортового характера пользовательской информационной розетки кабель представляет собой единичное изделие;
- изделие имеет несимметричное исполнение, т.е. на одном его конце установлена вилка модульного разъема, а на втором — розетка.

Из соображений обеспечения удобства эксплуатации и уменьшения номенклатуры используемых компонентов консолидационная точка функционально исполняется в едином стиле с многопользовательской розеткой. Это ведет к тому, что функции ее интерфейса возлагаются на панельную часть разъемного соединителя. Аналогичным образом на основе розетки реализуется пользовательский интерфейс. Данная особенность приводит к необходимости исполнения изделия в комплексе по схеме «тяги-толкай» с установкой различных компонентов разъема на разных концах. Одновременно появляется необходимость в жесткой пространственной ориентации изделия в рабочем положении: розеточным модулем в сторону рабочего места пользователя кабельной системы.

Кабель консолидационной точки может иметь достаточно большую длину. В данной ситуации из-за необходимости его протяжки по сильно загруженным каналам резко возрастает

опасность механического повреждения элементов разъемного соединителя. Для ее устранения компанией *PatchSee* предложено простое защитное устройство PLUGCAP. Данное изделие представляет собой защитный колпачок, который снабжен рым-болтом и перед началом прокладки надевается на вилку модульного разъема, полностью скрывая ее. Фиксация колпачка осуществляется за штатный рычажный фиксатор вилки, который своим зацепом входит в соответствующий сквозной вырез на корпусе (рис. 4.4) [15].

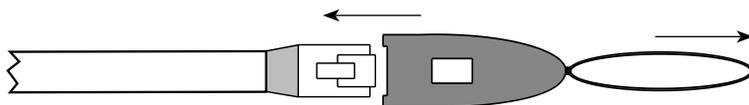


Рис. 4.4. Схема устройства PLUGCAP

Устройство PLUGCAP может рассматриваться как многофункциональное. Его без ограничений можно применять также для работы с коммутационными шнурами большой длины.

4.3. КОММУТАЦИОННЫЕ ШНУРЫ ДЛЯ СИСТЕМ ИНТЕРАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ, ОПТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ОПТИЧЕСКОЙ ТРАССИРОВКИ

Далее рассмотрены решения, ориентированные на увеличение эффективности коммутационного шнура на компонентном уровне и имеющие целью увеличение эффективности системы администрирования СКС. Сопутствующие им усовершенствования делятся на две основные группы.

Первая из них основана на увеличении количества цепей передачи, что позволяет доставлять в нужное место дополнительные информационные сигналы. При этом не исключено как обращение к цепям, нетипичным для основной области применения, так и использование в качестве среды передачи штатных компонентов шнурового кабеля. Это будет обеспечивать бóльшую функциональность. Решения второй группы обеспе-

чивают чисто механические подходы, когда функции шнура ограничиваются несущим основанием для подобных цепей.

Необходимость обращения к дополнительным цепям передачи обусловлена запретом стандартов СКС на параллельное подключение к витым парам.

В процессе реализации функций интерактивного управления и оптической идентификации в подавляющем большинстве случаев применяются специальным образом доработанные коммутационные шнуры.

Дополнительные элементы, включаемые в структуру кабельного сердечника, обычно образуют пару. Они могут быть представлены как двумя проводами, так и двумя полимерными световодами.

В кабелях для шнуров систем PV+ компании *RiT Technologies*, *PanViewIQ* компании *Panduit* и некоторых других использовано два дополнительных гибких провода (рис. 4.5, а) [15]. Они предназначены для передачи напряжения дистанционного питания на датчик подключения удаленного от панели конца, а также для организации информационного обмена между панелью и удаленным датчиком. В настоящее время подход на основе пары дополнительных проводов становится типовым.

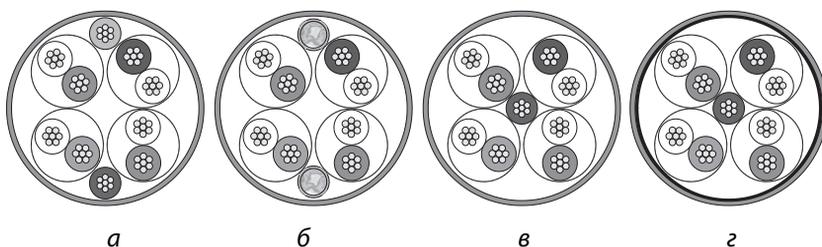


Рис. 4.5. Особенности конструкции шнуровых кабелей для систем интерактивного управления и оптической идентификации:
 а — с двумя дополнительными медными проводниками; б — с двумя дополнительными полимерными световодами; в — с одним медными проводником; г — с дополнительным медным проводником и оплеточным экраном

В шнурах *PatchSee* опция оптической индикации реализуется с помощью двух пластиковых волоконных световодов (рис. 4.5, б) [15]. Обращение к парному исполнению этого компонента обусловлено стремлением к увеличению яркости свечения индикаторных элементов за счет простого удвоения числа торцевых поверхностей.

В шнурах типа *LED Patch kabel* с характеристиками категории 6а и опцией оптической индикации для передачи рабочего тока на индикаторные светодиоды также использована двухпроводная схема, но на основе одного провода. Функции второго провода в ней выполняет оплетка общего экрана (рис. 4.5, в) [15].

Однопроводная схема передачи сигналов подключения использовалась в шнурах системы *PatchView* компании *RiT Technologies* (рис. 4.5, г) [15]. Данный вид исполнения обусловлен конструкцией датчика подключения.

Дополнительно отметим, что практикуемая в оптических шнурах внешняя по отношению к кабельному сердечнику схема расположения дополнительных компонентов такого рода в медножильных шнурах не используется. Свою роль в таком решении играет наличие достаточно большого свободного пространства под оболочкой электропроводных шнуровых изделий.

Шнуры с опцией оптической трассировки можно рассматривать как развитие шнуров с оптической идентификацией. Целесообразность внедрения таких изделий обусловлена их заметно большей эффективностью за счет того, что они обеспечивают активную визуализацию всего шнура, а не только его концевых участков.

Любой компонент, относящийся к рассматриваемой группе, имеет простую конструкцию. В его структуру внедряется маломощный источник видимого оптического излучения, который активизируется при подключении внешнего источника питания. Функции подобного источника могут выполнять светодиодная и электролюминесцентная ленты.

Первая схема внедрения элемента оптической трассировки предполагает интеграцию в структуру оболочки кабеля (рис. 4.6, *а*) [42]. Вторая схема основана на использовании кабеля в качестве обычной несущей основы (рис. 4.6, *б*).

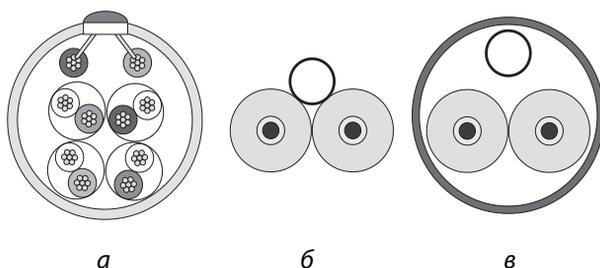


Рис. 4.6. Особенности конструкции шнуровых кабелей для систем оптической трассировки:

а — светодиодная подсветка; *б-в* — электролюминесцентная подсветка

В третьем варианте (рис. 4.6, *в*) элемент оптической трассировки располагается под общей защитной оболочкой без жесткой механической связи с остальными элементами. В последнем случае оболочка выполняется из прозрачного материала.

Вопросы и задания

1. Нарисуйте структуру кабелей коммутационных шнуров.
2. Опишите конструкцию шнуровых изделий общего назначения.
3. Опишите процесс упаковки коммутационных шнуров.
4. Опишите конструкцию медножильных шнуров с уменьшенным поперечным сечением.
5. Опишите конструкцию плоских шнуровых кабелей.
6. Опишите конструкцию коммутационных шнуров для систем интерактивного управления и оптической идентификации.
7. Опишите конструкцию коммутационных шнуров для систем оптической трассировки.

8. Сделайте доклад на тему «Решение с поддержкой функции оптической идентификации и трассировки *TracerLight*».

9. Сделайте доклад на тему «Решение с поддержкой функции оптической идентификации и трассировки *PatchSee*».

10. Сделайте доклад на тему «Решение с поддержкой функции оптической идентификации и трассировки *LED RJ45 Cat5e Patch Cable*».

11. Сделайте доклад на тему «Решение с поддержкой функции оптической идентификации и трассировки *X-Tracer*».

Глава 5 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ МКС

5.1. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ МКС

Затухание оптических коннекторов вызывается как осевым и поперечным смещением сердцевин оптических волокон (ОВ) в наконечнике, так и геометрией самих сердцевин стыкуемых волокон.

Проанализируем факторы, влияющие на затухание в ОВ:

- 1) несоответствие размеров сердцевин ОВ;
- 2) поперечное смещение сердцевин ОВ;
- 3) некруглость сердцевины ОВ;
- 4) различие числовых апертур ОВ;
- 5) угловая несоосность сердцевин двух стыкуемых ОВ;
- 6) поперечное смещение наконечников коннекторов;
- 7) стыковой зазор ОВ;
- 8) условия ввода излучения в ОВ.

Несоответствие размеров сердцевин ОВ приводит к следующим последствиям: при передаче света из сердцевины большего диаметра в сердцевину меньшего диаметра часть мощности теряется. По многомодовому ОВ передается несколько групп мод. Число этих групп зависит от размера сердцевины и длины волны излучения. К примеру, диаметр в 49,2 мкм является границей между возможностью передачи 18-ти и 19-ти групп мод. В случае монохроматического излучения это происходит очень резко. При использовании более широкополосных источников переход будет плавнее. Данное явление нетрудно понять, если мы представим себе ОВ, состы-

кованное с другим волокном с меньшим диаметром сердцевины. Часть света из первого ОВ попадет в оболочку второго и будет потеряна. Стандарт на ОВ ОМЗ оговаривает величину допуска на диаметр сердцевины ($50 \pm 2,5$) мкм.

Поперечное смещение сердцевины ОВ влияет на затухание в точке стыка волокон. Оно вызывается эксцентриситетом сердцевины относительно оболочки ОВ. Также итоговое затухание связано с размером сердцевины, смещением и длиной волны излучения. Даже если сердцевины имеют один диаметр, смещение между ними может привести к затуханию в точке контакта. Для ОВ типа ОМЗ (одномодовое волокно) стандарт оговаривает величину поперечного смещения ($< 3,0$ мкм).

Некруглость сердцевины ОВ необходимо дополнительно исследовать, ее влияние пока не установлено как отраслью, так и организациями по стандартизации. Стандарт допускает величину некруглости сердцевины менее 5% (для ОВ 50 мкм — это 2,5 мкм).

Различие числовых апертур стыкуемых ОВ также влияет на затухание. Требования к числовым апертурам (NA, от англ. *Numerical Aperture*) оговорены стандартом: $0,20 \pm 0,015$. Воздействие такого отклонения в соответствии с новой моделью ИЕС (Международной электротехнической комиссии) пока находится в стадии обсуждения. Старые же руководства [59] указывают, что в худшем случае затухание растет на 0,1 дБ.

Угловая несоосность сердцевины двух стыкуемых ОВ определяется размерами и совместимостью наконечников (феррулов) коннекторов и диаметром оболочки волокон. Для наконечников современных коннекторов данная несоосность весьма мала и вызываемым ею затуханием можно пренебречь.

Поперечное смещение наконечников коннекторов зависит от совместимости наконечников, эксцентриситета их внутренних каналов, несовпадения диаметров оболочки ОВ и канала наконечника, а также несоосности сердцевины и оболочки. Смещение составляет менее 7 мкм для современных многомодовых коннекторов.

Стыковой зазор, или смещение по направлению оси, возникает, когда два торца волокон не имеют физического контакта. Чем больше зазор, тем больше затухание. Когда свет переходит из одной физической среды (волокна) в другую (воздух), часть его отражается в обратном направлении. Степень отражения света при переходе из одной физической среды в другую зависит от коэффициентов преломления этих сред. При переходе между средами «волокно» и «воздух» отражается около 3,4% передаваемой мощности. Если зазор между средами имеет очень малый размер (единицы мкм), то между границами полости может наблюдаться интерференция отраженных лучей, что может вызвать затухание величиной примерно в 0,7 дБ, как показано на рис. 5.1.

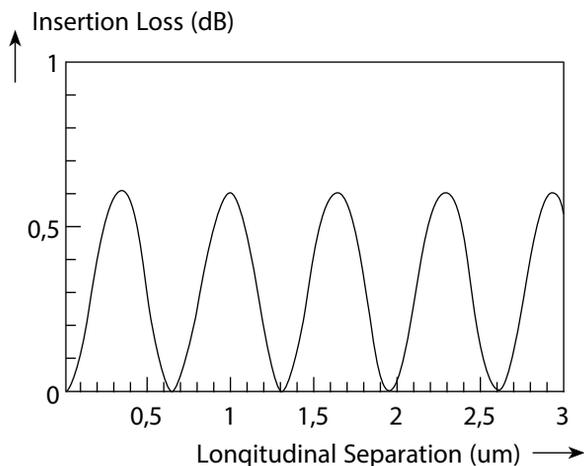


Рис. 5.1. Интерференционные эффекты в зазоре между ОВ

Условия ввода излучения в ОВ, при которых осуществляется измерение затухания, оказывают влияние на измеренную величину. Для одномодовых ОВ ввод излучения осуществляется лучом точно вдоль оси оптоволоконна с помощью

лазерного диода. Для многомодовых ОВ может использоваться более дешевый светодиодный излучатель, имеющий более широкую диаграмму направленности излучения. Возможно применение дешевого излучателя, имеющего более узкую диаграмму направленности с большой интенсивностью излучения. Это поверхностно-излучающий лазер с вертикальным объемным резонатором VCSEL (от англ. *Vertical Cavity Surface Emitting Laser*), работающий на длине волны 850 нм.

Для многомодовых световодов затухание одного и того же коннектора при вводе излучения с помощью поверхностно-излучающего лазера с вертикальным объемным резонатором VCSEL будет меньше, чем при вводе с полным заполнением светом (OFL, от англ. *Over Filled Launch condition* — полное заполнение (переполнение) светом).

Проанализируем факторы, влияющие на возвратные потери в многомодовых коннекторах. От торцов стыкуемых ОВ всегда будет происходить некоторое отражение сигнала. Причиной этого являются дефекты полировки, такие как царапины или лунки, изображенные на рис. 5.2, а также поверхностный слой с другим коэффициентом рефракции, связанный с материалом, используемым для полировки.

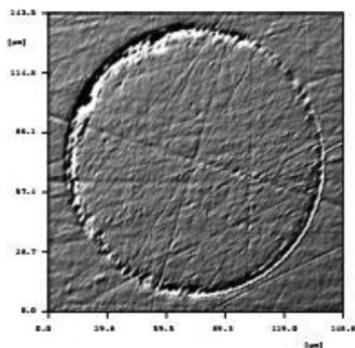


Рис. 5.2. Поврежденный торец с $RL \geq 20$ дБ

Согласно стандартам величина возвратных потерь многомодового коннектора должна быть ≥ 20 дБ. Такую величину нетрудно обеспечить полировкой даже в случае поврежденной поверхности скола ОВ. Это объясняется большим размером сердцевины и величины NA, характеризующей максимальный угол ввода оптических лучей в волокно.

Важность чистоты торца волокна в наконечнике оптического соединителя демонстрируется на рис. 5.3. Показана проверка чистоты торца после 1, 3 и 5 подключений. Видно, что торцевая поверхность волокна загрязняется при каждом следующем подключении, при этом грязь смещается к центру волокна. Это значительно влияет на результаты тестирования канала 1 и 10 Гбит/с. Любое загрязнение торцевой поверхности волокна может стать критическим, так как международным стандартом ISO/IEC 11801 определен бюджет потерь.

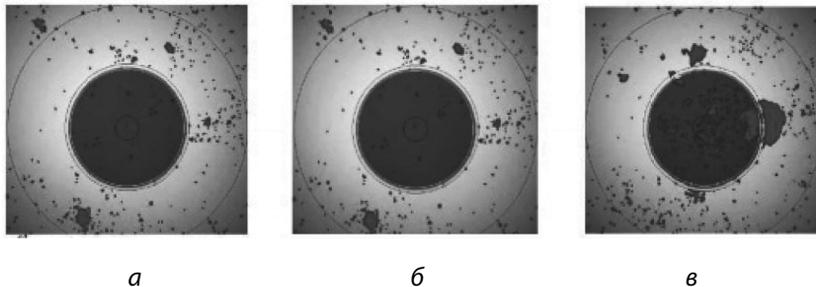


Рис. 5.3. Поверхность торцевого волокна:

a — при первом подключении; *б* — при втором подключении;
в — при третьем подключении

Рекомендуется всегда проверять состояние торцов соединителей перед их соединением друг с другом, перед подключением к коммутационной панели или к активному оборудованию. Важно своевременно удалять пыль и грязь с торца волокна. На рис. 5.4 [60] представлены результаты очистки торца волокна.



Рис. 5.4. Результаты очистки торца волокна:

a — осмотр торца; *б* — кассета с лентой для очистки;
в — повторный осмотр

Для стабильного уровня отражения чрезвычайно важен физический контакт между торцами стыкуемых волокон. На рис. 5.5 [60] показаны большие колебания величины возвратных потерь при изменении продольного зазора между стыкуемыми ОВ.

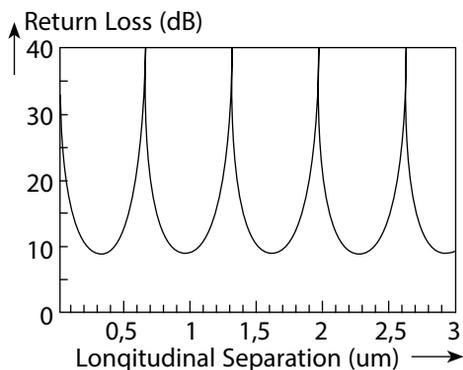


Рис. 5.5. Возвратные потери для малых зазоров:

Return Loss — это возвратные потери, дБ;
Longitudinal Separation — продольный зазор между стыкуемыми ОВ, нм

Для того чтобы обеспечить низкое затухание и стабильный уровень возвратных потерь, превышающий 20 дБ, физический кон-

такт между торцами стыкуемых волокон является неременным требованием. Когда в линии установлено несколько коннекторов, суммарные возвратные потери от кабельного тракта в направлении к излучателю будут увеличиваться. Стандарты на сетевые интерфейсы [61] сохраняют работоспособность при возвратных потерях не ниже 12 дБ. С учетом этой особенности требованиями IEEE (от англ. *Institute of Electrical and Electronics Engineers* — Институт инженеров электротехники и электроники) разрешается применение в оптическом тракте не более двух коннекторов с возвратными потерями ≥ 20 дБ. Это требование накладывает еще одно ограничение на число стандартных коннекторов, которые могут быть установлены последовательно.

При анализе характеристик оптических волокон важно также измерить модовую полосу пропускания BW (от англ. *BandWidth*). В табл. 5.1 [62] представлены методы измерения BW в соответствии со способами ввода излучения. Как правило, данные об измеренной полосе пропускания слабо коррелируются между собой, а следовательно, не могут быть использованы произвольно (без привязки к типу источника излучения) для расчета ВОК.

Таблица 5.1

Методы измерения модовой полосы пропускания

Обозначение метода	Суть метода	Соответствие стандартам	Применение
OFL (от англ. <i>Over Filled Launch condition</i> — полное заполнение (переполнение) светом)	Измерение модовой полосы пропускания (BW) многомодового волокна (ММ ОВ) при полном заполнении его сердцевины светом от светодиода (СД)	ТИА FOTP 204, IEC 60793-1-41	Предназначен для окон прозрачностью 850 и 1300 нм. Метод и полученные с его помощью данные целесообразно использовать в тех случаях, когда источником излучения в системе с ММ ОВ является СД

Продолжение табл. 5.1

Обозначение метода	Суть метода	Соответствие стандартам	Применение
RML (от англ. <i>Restricted Mode Launch Bandwidth</i> – частичное заполнение ОВ светом)	Измерения BW MM ОВ при ограниченном возбуждении мод, возбуждаемым от лазеров типа VCSEL	ГИА FOTP 204	Предназначен для окон прозрачностью 850 и 1300 нм. Метод и полученные с его помощью данные целесообразно использовать в тех случаях, когда источником излучения в системе с MM ОВ является VCSEL
DMD (от англ. <i>Differential Mode Delay Mask Set Bandwidth</i> – дифференциальная модовая задержка)	Измерения BW MM ОВ на основании дифференциальной задержки (DMD), измеренной с помощью установки маски, пропускающей возбуждаемое источником световое пятно. Формирование с помощью маски светового пятна излучения диаметром 5 мкм, которое в зависимости от положения на плоскости среза MM ОВ возбуждает свой набор мод	ГИА FOTP 220, IEC 60793-2-10	Измеряя интенсивность пучка и DMD для данного набора, например при смещении (сканировании) пятна по радиусу ОВ, можно оценить радиальное распределение мощности излучения произвольного источника, а затем пересчитать его на полосу BW

Окончание табл. 5.1

Обозначение метода	Суть метода	Соответствие стандартам	Применение
Min EMBc (от англ. <i>Minimum Effective Mode Bandwidth</i> – метод измерения минимальной эффективности модовой BW)	Метод основан на знании радиального распределения мощности световой энергии	TIA FOTP 220, IEC 60793-2-10	Для минимизации по множеству стандартных источников. Универсален и может заменить все три предыдущие

Указанные методы измерений применимы к новым стандартам TIA/EIA, IEC и ISO и спецификациям.

Вопросы и задания

1. Перечислите стандартные виды оптических кабелей.
2. В каких единицах измерения определяется диаметр оболочки волоконно-оптического кабеля?
3. Чем отличается одномодовый кабель от многомодового?
4. Какие защитные покрытия используются для волоконно-оптического кабеля?
5. Для чего предназначена цветная кодировка оптических волокон?
6. Опишите конструкцию волоконно-оптических модулей со свободной укладкой волокон.
7. Опишите конструкцию волоконно-оптических модулей с плотной укладкой волокон.
8. Опишите конструкцию ленточных оптических волокон.
9. Опишите конструкцию оптического сердечника модульной скрутки.

10. Опишите конструкцию трубчатого оптического сердечника.

11. Перечислите материалы, идущие на изготовление оболочек волоконно-оптических кабелей, и опишите их характеристики.

12. Каким образом можно защитить волоконно-оптический кабель от влаги?

13. Каким образом можно защитить волоконно-оптический кабель от грызунов?

14. Какие характеристики определяют помехозащищенность волоконно-оптических коммуникаций?

15. Какие факторы влияют на величину затухания оптического кабеля?

16. Какие факторы влияют на величину затухания оптического коннектора?

17. Как условия ввода излучения в оптоволокно, при которых осуществляется измерение, оказывают влияние на измеренную величину?

18. Для чего нужно знание числовой апертуры оптоволокна?

19. На какие параметры волоконно-оптического кабеля влияет чистота торца волокна в наконечнике оптического соединителя?

Глава 6

МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ АРХИТЕКТУР

6.1. РАЗВИТИЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ МКС ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В государственной программе Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)» для развития технической и технологической основы становления информационного общества поставлена задача значимого сокращения транзакционных издержек в экономике за счет стандартизации процессов, среды взаимодействия информационно-телекоммуникационных технологий [63]. На XXVII Международном конгрессе «Безопасность и качество в сфере ИКТ» (25.03.2015) отмечено, что для повышения качества связи необходима разработка национальных стандартов [64]. Актуальны корректировка существующей нормативной базы телекоммуникационной инфраструктуры и разработка рекомендаций для утверждения национальных стандартов.

В настоящее время высокопроизводительные волоконно-оптические мультисервисные кабельные системы (МКС) строятся в зданиях на основе централизованной топологии расположения активного оборудования [65]. Централизованная волоконно-оптическая кабельная система (СОА, от англ. *Centralized Optical Architecture* – централизованная оптическая архитектура) является дополнением к классической топологии структурированной кабельной системы как альтернатива оптическим кросс-соединениям в телекоммуникационных помещениях. Цель аль-

тернативы: реализация принципа объединения активного оборудования и технологии FTTD (от англ. *fiber-to-the-desk* — оптическое волокно до рабочего стола. Технология централизованной оптической архитектуры популярна в вычислительных комплексах (ВК), центрах обработки данных [61, 66].

Структурная схема ВК на основе ЦОД приведена на рис. 6.1 [67].

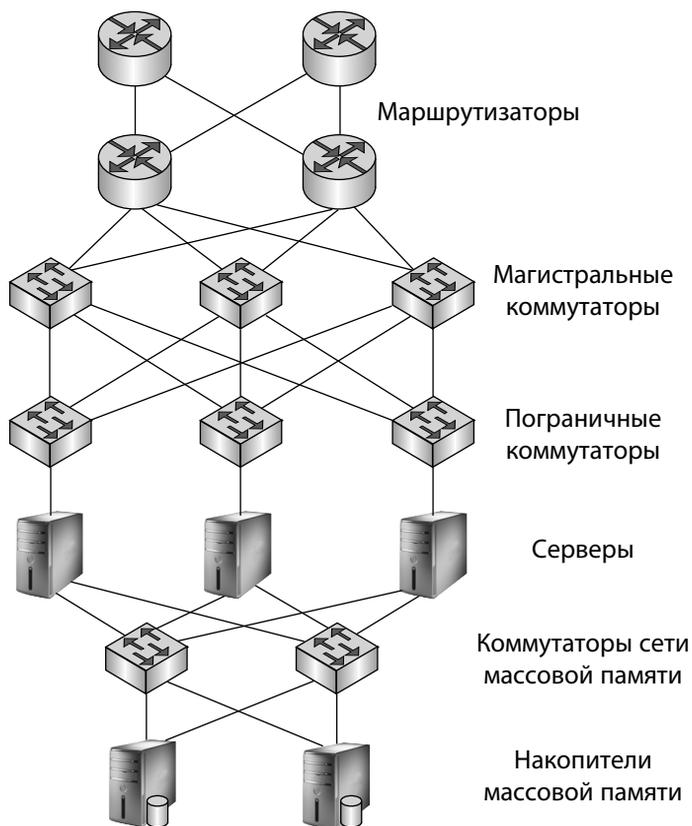


Рис. 6.1. Структурная схема ЦОД

Аппаратная часть инфраструктуры крупного ЦОД состоит из множества независимых устройств различного функционального назначения. Структура характеризуется большой сложностью. В связи с этим для облегчения понимания на этапе проектирования, в период строительства и последующего управления во время эксплуатации систему можно разбить на отдельные укрупненные блоки. Тогда каждый из этих блоков для максимального упрощения всей структуры обменивается данными с соседними, без создания соединений «через модуль». Итогом подобного действия является создание сети в виде иерархической структуры с обозначением в ней нескольких уровней:

- ядра;
- агрегации;
- доступа;
- хранения данных.

Принятие структуры, приведенной на рис. 6.1, стало следствием оптимизации объекта, при которой рассматривались и учитывались различные критерии:

- главные функции, осуществляемые ЦОД;
- создавшаяся на данный момент развития науки и техники структура систем хранения и обработки информации, базирующаяся на сетях массовой памяти или хранения данных, а также на клиент-серверной архитектуре ЛВС;
- возможные варианты подсоединения к линиям операторов связи для выполнения обмена данными с внешними источниками потребления ресурсов ЦОД и предоставляемых услуг.

Создание интерфейса связи с внешним миром является основным вопросом, который решает ядро системы. Также ядро отвечает за организацию доступа в интернет и выполнение различных операций соединения с сетью коммуникационных операторов. Принимая во внимание функциональное назначение данного уровня, основным типом активного оборудо-

вания в ядре являются маршрутизаторы, а скорость обмена информацией максимальна.

Далее по традиционной иерархии аппаратной части ЦОД находится уровень агрегации или уровень распределения. На нем лежат функции корневой части уже местной сети объекта. В связи с этим на данном уровне большое значение приобретает правильный выбор магистральных коммутаторов, который в данном случае является основным.

Уровень доступа является технически максимально многофункциональным и, следовательно, конструктивно самой непростой частью телекоммуникационной и вычислительной структуры ЦОД, так как необходимо решение значительного количества многообразных задач даже на уровне отдельных классов. Значительно увеличивает сложности этого уровня необходимость совместной эффективной работы и взаимодействия двух основных для ЦОД, но совершенно разных технологий обмена данными, используемых в локальных вычислительных сетях и в системах массовой памяти. При наличии этой особенности, а также для создания удобных условий при проектировании, монтаже и дальнейшем использовании для уровня доступа создают три подуровня.

Пограничные (англ. *Edge*) коммутаторы составляют *верхний подуровень* уровня доступа. Эти технические единицы своими линейными портами подсоединяются к серверам. *Uplink*-порты пограничных коммутаторов выполняют функцию подключения к магистральным коммутаторам.

На *среднем подуровне* уровня доступа расположены серверы, в данном месте разделение серверов по своему функционалу не осуществляется. Нижний подуровень состоит из коммутаторов сети массовой памяти. При этом сетевые интерфейсы серверов соединяются с портами пограничных коммутаторов локальной вычислительной сети, а также с коммутаторами сети массовой памяти.

Самый *нижний уровень* аппаратурной части информационно-телекоммуникационной инфраструктуры отвечает за сохранение данных, вследствие этого он обозначается как уровень хранения данных. Исходя из его основной функции, главными частями при рассмотрении активного сетевого оборудования, являются накопители массовой памяти. Технические модули, в задачу которых положена реализация данного функционала, создаются с использованием разных концепций (накопители на магнитной ленте, дисковые массивы и т.д.). Конкретные условия создаваемого проекта предполагают использование одного определенного устройства или нескольких из них в определенном сочетании.

Иерархическая структура телекоммуникационной части ЦОД при поверхностном рассмотрении напоминает строение дерева, но между ними категорически нельзя ставить знак равенства. Это объясняется следующими причинами:

- отсутствие возможности выполнения входного интерфейса ЦОД на базе единственного коммутатора или их группы из-за сверхвысоких объемов трафика и невозможности создания высокой надежности при эксплуатации;
- внутренние тракты передачи охвачены системами множественного резервирования, что является обязательным для выполнения необходимого условия готовности всего объекта и составляющих его частей;
- размещение серверов, являющихся самыми массовыми из потребителей ресурсов телекоммуникационной инфраструктуры на внутреннем уровне иерархии (уровне доступа).

При рассмотрении иерархической структуры реализации объекта с его топологией появляются возможности извлечения большого количества преимуществ:

- удобство увеличения производительности при выполнении вычислений, а также количества обслуживаемых потребителей (клиентов);

- возможность большого роста эффективности многих операций управления;
- простота создания необходимого уровня эксплуатационной надежности путем ввода избыточности и исключение проблем принципиального плана в условиях создания резервных линий;
- относительная легкость увеличения стойкости защиты от неразрешенного доступа к передаваемой, обрабатываемой и хранимой информации;
- комфортность обслуживания комплекса вычислительной и телекоммуникационной техники разного рода применения, расположенной в аппаратной зале, а также вследствие ее очень строгого разделения по некоторым равноудаленным областям и зонам.

При передаче по кабельным сетям видео-, аудио- и мультимедийной информации кабельная сеть выполняет функции мультисервисной кабельной системы (МКС).

Проанализируем преимущества волоконно-оптической кабельной системы для построения ЦОД. Как известно, волоконно-оптическая кабельная система имеет ряд преимуществ, основными (и существенными для аппаратного зала ЦОД) из которых являются низкое энергопотребление, отсутствие переходных помех, сравнительно небольшие габариты кабелей (по сравнению с медными кабелями) и простота монтажа. В июне 2010 г. IEEE опубликовал стандарт 802.3ba, описывающий 40/100G *Ethernet*, который стал неотъемлемым компонентом в проектировании нового поколения ЦОД, так как в нем описаны основные технические параметры сетевых интерфейсов *Ethernet*, обеспечивающие заявленную скорость в 40 и 100 Гбит/с. Стандарт содержит требования к кабельной системе и представляет физический уровень PHL (от англ. *PHysical Layer* — физический уровень) модели OSI (от англ. *Open Systems Interconnection basic reference model* — базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем), а также MAC-уровень (от англ. *Media Access Control* — управление

доступом к среде), который регулирует доступ к физической среде. Стандарт должен:

- поддерживать только полнодуплексные режимы *Ethernet* MAC-уровня;
- сохранять формат кадра *Ethernet* 802.3 MAC-уровня;
- сохранять минимальный и максимальный размер кадров стандарта IEEE 802.3;
- обеспечивать поддержку BER (от англ. *Bit Error Rate* — коэффициент ошибок) на уровне не хуже 10⁻¹² на интерфейсе между MAC- и физическим уровнями [68];
- обеспечивать совместимость с оптическими транспортными сетями (OTN, от англ. *Optical Transport Network*);
- поддерживать скорость 40 и 100 Гбит/с на MAC-уровне.

Деление на различные уровни (физический, канальный и т.п.) и их подуровни достаточно условно. По сути, это функциональное деление набора процедур, которые должна реализовать аппаратура для передачи данных. И в этом смысле функциональное деление позволяет создавать унифицированные компоненты, причем стандартизованные не только по функциям, но и по интерфейсам. Соответственно, нужно иметь в виду, что описываемые ниже логические подуровни и интерфейсы могут иметь отдельное аппаратное воплощение, а могут быть реализованными в одной микросхеме или модуле. Например, процедуры MAC-уровня и часть функций физического уровня, независимых от среды передачи, реализуют в одном чипе, а функции, связанные с конкретной средой (оптоволокно, витая пара и т.п.) — в другом.

На рис. 6.2 [15] показан MAC-уровень, в новом стандарте его функции не изменились: он преобразует пакеты верхних уровней в кадры *Ethernet*, сегментирует, добавляет к заголовку преамбулу, MAC-адрес и контрольную последовательность [68] FCS (от англ. *Frame Check Sequence* — контрольная последовательность кадра).

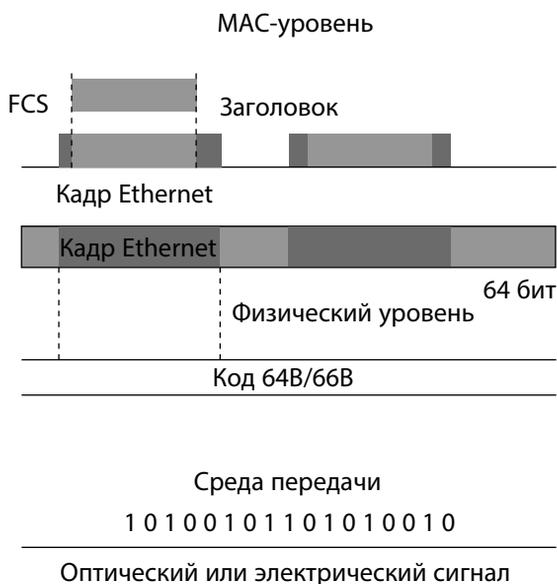


Рис. 6.2. Физический и MAC-уровни стандарта для скоростей 40 и 100 Гбит/с

В табл. 6.1 [58] представлены варианты реализации физического уровня PHY, соответствующие стандарту 802.3ba.

Таблица 6.1

PHY для стандарта 802.3ba

PHY	40 GigabitEthernet	100 GigabitEthernet
Как минимум 1 м по объёмной единичной плате	40GBase-KR4	—
Как минимум 10 м по медному кабелю	40GBase-CR4	100GBase-CR10
Как минимум 100 м по OM3 MMF	40GBase-SR4	100GBase-SR10
Как минимум 125 м по OM4 MMF	40GBase-SR4	100GBase-SR10

Окончание табл. 6.1

PHY	40 GigabitEthernet	100 GigabitEthernet
Как минимум 10 км по SMF	40GBase-LR4	100GBase-LR10
Как минимум 40 км по SMF	—	100GBase-ER10

KR — интерфейс с максимальной дистанцией передачи 1 м (обслуживает заднюю панель компьютерных систем); CR — интерфейс, использующий медную пару (STP), максимальная дальность передачи — 7 м (обслуживает компьютерные системы и аппаратные комнаты локальной вычислительной сети); SR — коротковолновый оптический интерфейс, использующей ММ ОВ на волне 850 нм (работает на дальностях до 100 м по ОВ типа OM3 и 125 м по волокну OM4); LR — параллельный оптический интерфейс, работающий на волне волны 1300 нм по одномодовому волокну на расстояние до 10 км с привлечением технологии грубого спектрального мультиплексирования CWDM (4×10,3125 Гбит/с для 40-гигабитных систем) или 4×25,78125 Гбит/с для 10-гигабитных систем; ER — аналогичные интерфейсы с увеличенной до 40 км дальностью действия.

Варианты реализации централизованной оптической архитектуры МКС приведены на рис. 6.3 [69].



Рис. 6.3. Варианты построения централизованной оптической архитектуры МКС

Преимуществом централизованной схемы оптической архитектуры является высокая проектная гибкость, обусловленная большим количеством схем реализации.

6.2. СХЕМА ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Принципиальное новшество стандарта 802.3ba — переход с последовательной передачи сигнала (спектральное мультиплексирование) на параллельную передачу по нескольким потокам (от англ. *lanes*) [65], которая изображена на рис. 6.4 [66].

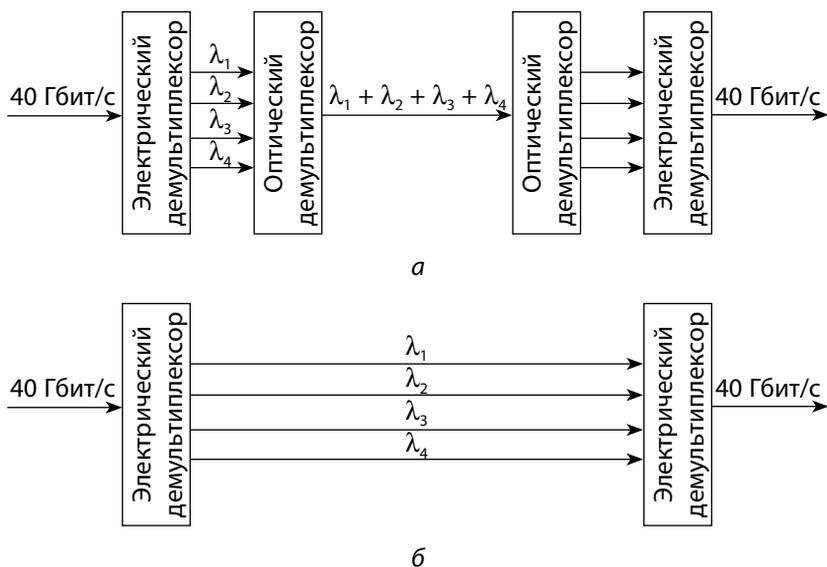


Рис. 6.4. Система со скоростью передачи 40 Гбит/с
(показано только одно направление передачи сигнала):

a — схема оптического мультиплексирования; *б* — схема параллельной передачи (пространственного мультиплексирования)

Схема спектральной параллельной передачи или оптического мультиплексирования, представленная на рис. 6.4, *a*, за-

ключается в том, что каждый субканал формируется с привлечением своей оптической несущей. На передающем конце сигналы отдельных передатчиков объединяются в общий поток с помощью оптического сумматора, на приемник их разделяют с помощью полосовых оптических фильтров, после чего декодируют в отдельных приемниках. Схема очень экономична в части требуемого количества физических цепей передачи, но для ее реализации необходимы:

- оптические излучатели с контролируемой длиной и шириной волны оптической несущей, которая, кроме того, отличается высокой стабильностью этих характеристик в рабочем температурном диапазоне сетевых интерфейсов;
- сложные и дорогие оптические фильтры и сумматоры.

Схема физической параллельной передачи [66] обладает рядом преимуществ:

- отсутствие необходимости установки на концах линии модулей оптических мультиплексоров;
- возможность использования менее сложных линейных кодов и, соответственно, сложных и дорогостоящих оптических передатчиков.

Схема физической параллельной передачи реализует пространственное уплотнение оптического кабеля. Это означает, что для передачи сигналов каждого отдельного канала используется отдельное волокно, что удешевляет конструкцию оптического тракта передачи. При дуплексной передаче данных используются 8 световодов для достижения скорости 40 Гбит/с, 20 световодов для достижения скорости 100 Гбит/с в диапазоне 850 нм, который экономически более целесообразен для передачи. Кабель строится из хорошо освоенных в серийном производстве многомодовых световодов с категорией не ниже OM3, оптимизированных для работы с лазерными излучателями и имеющих коэффициент широкополосности не хуже 2000 МГц·км.

Волокна категории OM4 обеспечивают лучшие характеристики волоконно-оптической линии: коэффициент широкополосности при лазерном возбуждении порядка 4700 МГц·км [66].

Применение волокон, характеристики широкополосности которых не соответствуют требованиям спецификаций волокон ОМ3 и ОМ4, считается нецелесообразным. Это объясняется сильными дисперсионными искажениями, (которые не могут быть эффективно скомпенсированы в приемнике при электронной обработке поступающего сигнала на схемотехническом уровне).

Параметры световодов для оптических кабелей МКС приведены в табл. 6.2 [58].

Таблица 6.2

Основные параметры световодов для ОК СКС (МКС)

Тип и категория волокна	Длина волны, нм	Коэффициент широкополосности, МГц·км		Примечание
		возбуждение с переполнением	возбуждение от лазера	
62,5/125 (ОМ1)	850	200	Не нормируется	В ЦОД не используются
	1300	500	Не нормируется	
50/125 (ОМ2)	850	500	Не нормируется	В ЦОД не используется G651.1
	1300	500	Не нормируется	
50/125 (ОМ3)	850	1500	2000	Могут применяться в ЦОД
	1300	500	Не нормируется	
50/125 (ОМ4)	850	3500	4700	
	1300	500	Не нормируется	
SM(OS1)	1310	—	—	G.652A и B
SM(OS2)	1550	—	—	G.652C и D

Выбор волокон категории ОМ3 и ОМ4 связан также с тем, что обеспечиваемые характеристики данных световодов позволяют преодолеть 100-метровую границу протяженности оптического тракта. Однако 300-метровый рубеж остается недостижимым в случае скоростей 40 и 100 Гбит/с, что для аппаратных залов ЦОД является некритичным, так как обычно

протяженность линии составляет не более 150 м. Стандарт 802.3ba накладывает как раз такое ограничение по дальности передачи для волокон категории OM3 и OM4 для оптических интерфейсов 100G Ethernet, как показано в табл. 6.3 [58].

Таблица 6.3

Ограничение по дальности передачи интерфейсов 100G Ethernet

Скорость, Гбит/с	40	100
Шина	1 м	—
Симметричный кабель	7 м	7 м
Многомодовое волокно категории OM3	100 м	100 м
Многомодовое волокно категории OM4	100 м	150 м
Одномодовое волокно	2 и 10 км	10 и 40 км

Если сравнивать одномодовые и многомодовые технические средства в экономическом плане, то можно сделать такие выводы:

- на линиях небольшой протяженности более выгодно использование многомодовой техники, так как цена оптоэлектронной элементной базы ниже;
- при строительстве более протяженных линий выгоден одномодовый кабель, так как его стоимость меньше;
- по мере роста пропускной способности линии растет также ее стоимость при наращивании длины, так как возникает необходимость использования более качественных волокон и перехода на схему параллельной передачи для скорости выше 10 Гбит/с.

Однако, несмотря на все свои преимущества, схема параллельной передачи требует решения следующих проблем:

- необходимость в стандартизации и контроле такой величины, как *skew* (параметр перекося задержки);
- применение ленточных световодов создает проблему прокладки и неэффективного использования пространства, так как их форма сильно отличается от формы привычного круглого поперечного сечения кабеля.

6.3. МОДУЛЬНО-КАССЕТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЗВИТИЯ АРХИТЕКТУРЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При выборе конструкции кабеля для схем параллельной передачи необходимо учитывать, что оптоэлектронная и электрооптическая части приемопередатчиков выстроены по матричной схеме, что ведет к необходимости изменения конструкции линейных кабелей с целью достижения такого согласования активной и пассивной частей линии, чтобы в результате решение было более экономичным [66].

При разработке линий параллельной высокоскоростной волоконно-оптической передачи обязательно учитывают конструкцию разъемного соединителя. Его функции выполняет многоволоконный разъем МРО (от англ. *Multi Fiber Push-on*), внешний вид которого приведен на рис. 6.5, а. Изделие описывают стандарты IEC 61754-7 и TIA-604-5 (FOCIS 5). Выбор многоволоконного разъема типа МРО является разумной альтернативой для кабельной инфраструктуры систем высокой плотности, где используются сотни или тысячи портов, какими являются ЦОД.

Разъем МТР (от англ. *Mechanical Transfer Push-on*) компании *US Connec* представляет собой улучшенную версию разъема МРО. Наиболее существенные отличия: центрирующие штыри эллиптической формы из нержавеющей стали для улучшения взаимного расположения волокон двух коммутируемых разъемов и уменьшения их износа. Наконечник типа МТ в разьеме МТР установлен по плавающей схеме, что обеспечивает целостность физического контакта находящихся под воздействием нагрузки разъемов. Встроенный металлический зажим для овальной пружины обеспечивает надежную фиксацию и приложение сил пружины. Разъем МТР полностью совместим с МРО и IEC 61754-7 и TIA-604-5. МРО/МТР-коннекторы бывают 12- и 24-волоконные (рис. 6.5, б, в) [58].

Соединители МРО и МТР полностью совместимы друг с другом, поэтому для их обозначения часто употребляют сокращение МРО/МТР.

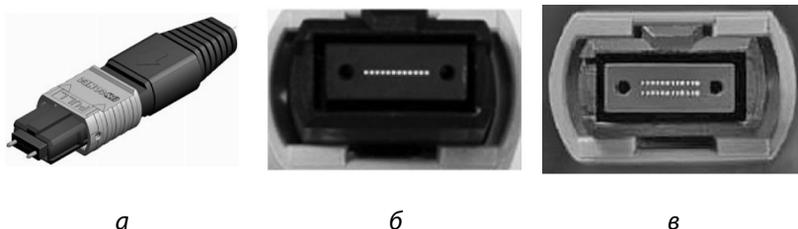


Рис. 6.5. Коннекторы типа МРО:
а — разъем МРО; б — 12-волоконный МРО-коннектор;
в — 24-волоконный МРО-коннектор

Разъемы МРО, внешний вид которых приведен на рис. 6.6 [58], имеют высокую конструктивную плотность, которая приводит к проблемам при подключении 10-гигабитного сетевого оборудования, так как в этом типе оборудования используется всего одна пара волокон. Решить эту проблему можно с помощью модульно-кассетного построения стационарной линии СКС (МКС). Суть модульно-кассетных решений сводится к тому, что претерминированный линейный кабель на конечном линейном участке стационарной линии не выводится прямо на пользовательские розетки, а подключается к промежуточному элементу (к кассете с одной или двумя розетками МРО на линейной стороне).

Кассеты МРО-LC серии *MPOptimate*, внешний вид которых изображен на рис. 6.7 [58], характеризуются очень низкими потерями мощности оптического сигнала и малыми отражениями в разъемах. Как следствие, гарантируется поддержка 10 Gigabit Ethernet и Fiber Channel 8 Гбит/с на длинах до 200 м в тракте из шести кассет. Для Fiber Channel 16 Гбит/с схема соединения оборудования в сети хранения данных может быть построена с использованием четырех кассет МРО-LC серии *MPOptimate* при максимальной длине тракта 120 м, что позволяет реализовать две коммутации по схеме «кросс-коннект».

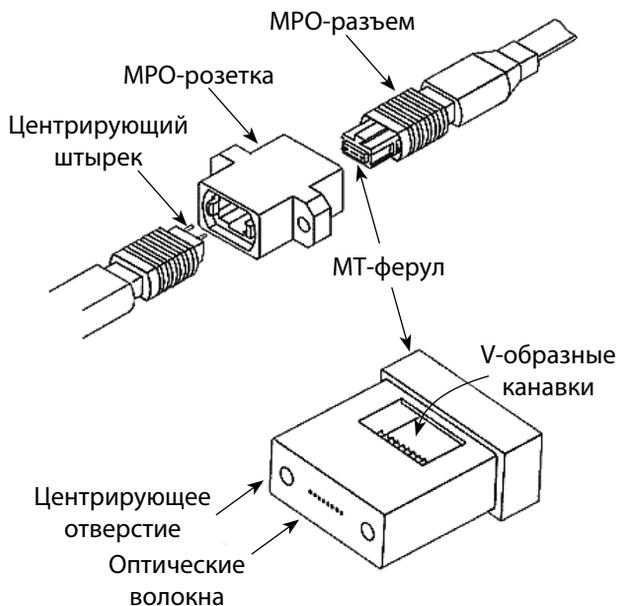


Рис. 6.6. Оптический интерфейс MTP/MPO

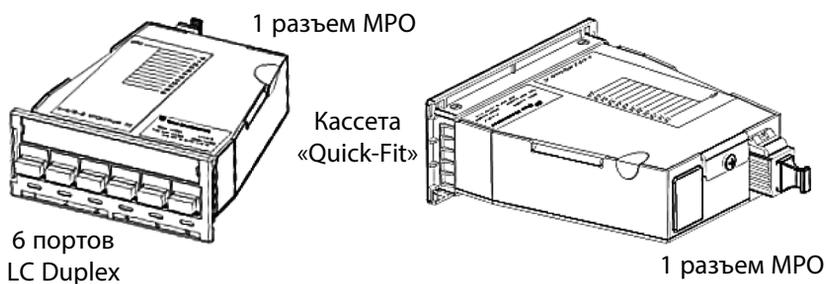


Рис. 6.7. Кассета MPO-LC серии *MPOptimate* 1×MPO — 6×LC Duplex

Кассеты MPO-LC предназначены для подключения кабельных сборок MPO и перехода с 12-волоконного соединителя MPO/MTP на разъемы LC-типа. С помощью кассет реализуется подключение активного сетевого оборудования

по схеме «интер-коннект» или «кросс-коннект». Кассеты комплектуются шестью разъемами LC Duplex и одним разъемом MPO. Предлагаются кассеты со сменой полярности и без смены полярности пар оптических волокон.

Распределение волокон по отдельным розеткам LC осуществляется внутри корпуса кассеты, как показано на рис. 6.8 [66].

Сравнение кабельной системы офиса и аппаратного зала ЦОД показывает, что модульно-кассетные решения получили в ЦОД более широкое применение.

Действующие стандарты для СКС не содержат информации о применении модульно-кассетной техники для построения оптических трактов СКС (МКС), этим активно пользуются некоторые производители данного оборудования. На производстве внедряются собственные системы нормирования параметров элементной базы для модульно-кассетных решений улучшенных разновидностей с их фиксацией на уровне фирменных стандартов. Требования формулирует производитель кабельной системы самостоятельно, стремясь к тому, чтобы обращение к предлагаемому техническому решению гарантировало выполнение норм стандартов при выполнении требований к протяженности тракта модульно-кассетного решения и его структуре.

Линии волоконно-оптической связи ЦОД характеризуются небольшой длиной каналов связи. На них используется недорогое активное приемо-передающее оборудование, которое создается с массовым заимствованием технических решений, полученных в процессе создания 10-гигабитных сетевых интерфейсов.

Для упрощения монтажа и уменьшения временных затрат на прокладку линии и соединение различных средств и приборов вычислительной техники используются претерминированные оптические кабели, называемые также сборками — отрезки кабеля определенной длины, оконцованные коннекторами. Вилки разъемов защищаются оконечной арматурой в виде съемного герметического пластмассового или металлического наконечника.

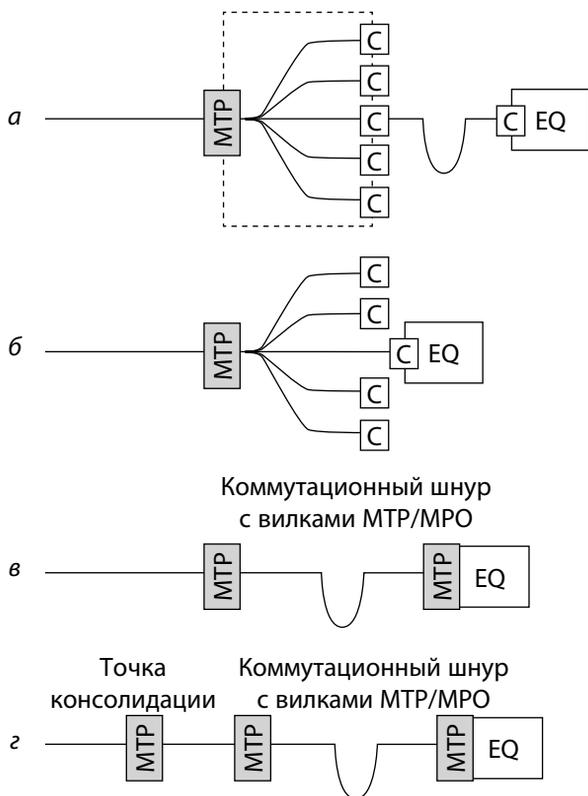


Рис. 6.8. Варианты подключения активного сетевого оборудования в кабельной системе ЦОД:

а — с использованием кассеты; *б* — с использованием разветвительного шнура; *в* — прямое подключение в случае работы по схеме параллельной передачи; *г* — подключение через точку консолидации;
EQ — активное сетевое оборудование

Схема параллельной передачи для централизованной оптической архитектуры с использованием модульно-кассетного оборудования является перспективным и экономически выгодным решением. При правильном выборе составляющих активных и пассивных компонент тракта можно сделать проект

МКС для ЦОД, который будет не только отвечать требованиям сегодняшнего дня, но и останется актуальным еще несколько лет.

6.4. ОПТИМИЗАЦИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ МКС

Модульно-кассетная техника представляет собой дальнейшее развитие концепции претерминированных конструкций [66]. Обращение к ней позволяет удовлетворить требования к качественным показателям создаваемой структурированной проводки. Перенос установки компонентов в заводские условия является полезным для практики свойством, так как процесс инсталляции сводится к чисто механическим операциям, исключая работу с цепями передачи сигналов. Существует множество подходов в реализации СКС (МКС) в волоконно-оптическом варианте, которые отражены в табл. 6.4 [66].

Таблица 6.4

Модульно-кассетные и претерминированные решения различных производителей СКС (МКС)

Производящая компания	Тип СКС	Оптическая подсистема
<i>Commscope</i> , США	<i>Systimax</i>	<i>InstaPATCH 360</i>
<i>Corning Cable Systems</i> , Германия	<i>LanScape</i>	<i>Plug&Play</i>
<i>MolexPN</i> , США	<i>DTS</i>	<i>FiberModlink</i>
<i>Panduit</i> , США	<i>PanNet</i>	<i>Plug and Play</i>
<i>RiT Technologies</i> , Израиль	<i>SMART</i>	<i>Xlight</i>
<i>Siemon</i> , США	<i>Siemon Cabling System</i>	<i>Plug and Play</i>
<i>TE Connectivity</i> , США	<i>Net Connect</i>	<i>MPOptimate</i>
<i>Nexans</i> , Бельгия	<i>LANmark</i>	<i>Plug@Play</i>

При проектировании МКС в ВК и ЦОД должна быть обеспечена совместимость с популярным оборудованием 40GBASE-SR4 и 100GBASE-SR10, которое работает по многомодовым волоконно-оптическим кабелям. Данное оборудование использует параллельную передачу по нескольким волокнам на длине волны 850 нм и позволяет получать тракты длиной до 100 м на волокнах категории OM3 и до 150 м на волокнах категории OM4. Эффективная скорость на каждую линию 10 Гб/с. Таким образом, 40GBASE-SR4 поддерживает передачу 40 Гбит Ethernet по четырем параллельным волокнам в каждом направлении, т.е. суммарно восемь волокон, а 100GBASE-SR10 поддерживает передачу 100 Гбит Ethernet по 10 волокнам в каждом направлении, т.е. суммарно 20 волокон. Использование многомодового волокна обусловлено в первую очередь относительно короткими длинами линий и каналов в ВК и ЦОД, а также сравнительной простотой и низкой стоимостью активного оборудования, использующего VCSEL-лазеры и простую схему кодирования. Для сравнения: в системах на основе одномодового волокна используется технология спектрального разделения каналов, которая ощутимо дороже и не оправдана с экономической точки зрения для коротких линий связи [7].

Во время установки СКС (МКС) приходится работать только с двумя разновидностями изделий: транковыми кабелями и кассетами для формирования пользовательского интерфейса. Конструктивно *транковый кабель* выполнен как двухсторонняя претерминированная сборка, в конструкции которой в обязательном порядке использованы вилки разъемов группового типа.

Кассета — второй основной конструктивный элемент, который выполняет функции адаптера корпусного типа и дает возможность осуществить переход от группового разъема к индивидуальным разъемам.

В настоящее время существует группа стандартов, описывающих кабельные системы для ЦОД:

- 1) международный стандарт ISO/IEC 24764 «Информационная технология — СКС для ЦОД»;

2) стандарт США TIA-942 «*Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers*» (фактически дополняет ISO/IEC 24764 до TIA-942). Данный стандарт является более полным, поскольку описывает не только кабельные системы ЦОД, но и другие аспекты, такие как проектирование и монтаж ЦОД, помещения и кабельную канализацию и др.;

3) международный стандарт ISO/IEC 14763-2 «Информационная технология. Изготовление и эксплуатация кабельной системы зданий и территории заказчика. Часть 2: Разработка и инсталляция». Очень полезный стандарт для проектировщиков и операторов СКС. Стандарт принят в феврале 2012 г. и, по сути, является дополнением стандарта ISO/IEC 11801, описывающим требования СКС к проектированию, инсталляции, документации, управлению, контролю качества, тестированию, техническому обслуживанию, ремонту, полярности и др.;

4) международный стандарт ISO/IEC 14763-3 «Тестирование кабельной системы на основе оптоволокна». Описывает процедуры, выполняемые при тестировании волоконно-оптических линий СКС.

Пропускная способность ВОК на основе коннекторов МРО составляет 1, 10, 40 и 100 Гбит/с. В 10-гигабитных оптических системах используются только два ВОК, при этом каналы с разъемами МРО подключаются к кассетам или *fanout*-сборкам, как показано на рис. 6.9 [58]. *Fanout*-сборки служат переходом с МРО-коннектора на стандартные разъемы LC или SC.



Рис. 6.9. Интерфейсные средства между разъемами МРО и LC или SC:
а — Кассета 2×МРО(12) — 24×LC, OM4, 24-портовая, вид спереди и сзади;
б — *fanout*-сборка 1×МРО(12) — 12×LC, OM3

Примеры подключения оборудования к кроссам высокой плотности в подсистеме сетевого доступа по ISO/IEC 24764 показаны на рис. 6.10 [58].

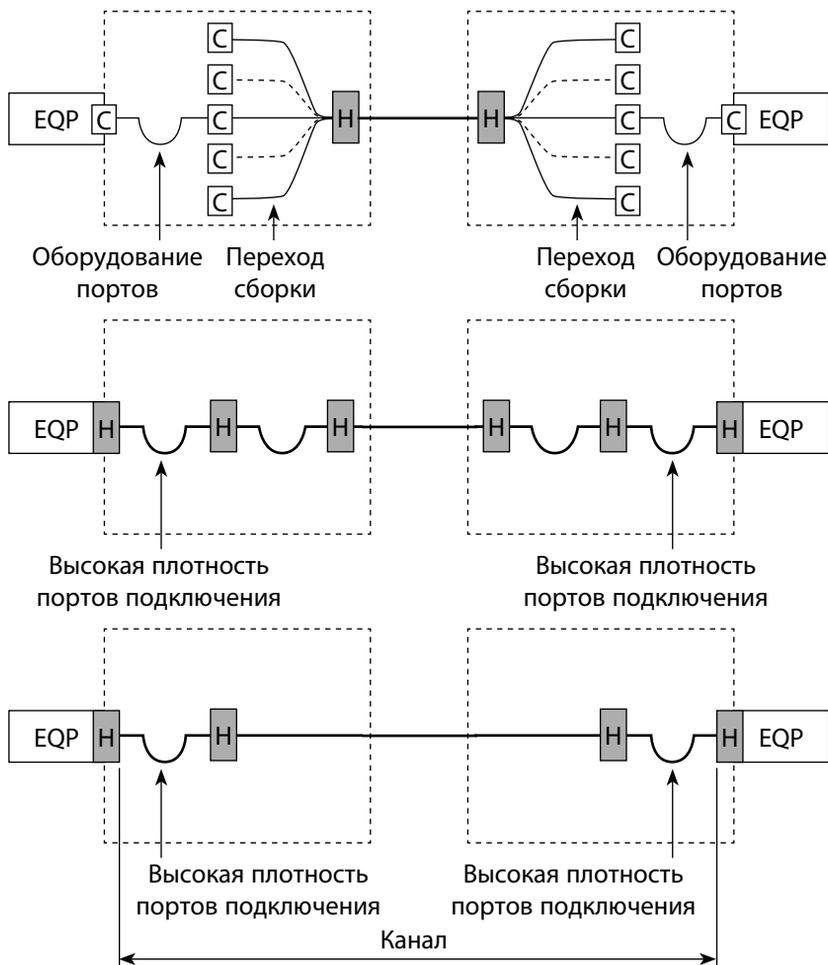


Рис. 6.10. Типовые схемы подключения оборудования к кроссам высокой плотности в оптической системе:
 Н — высокая плотность подключения аппаратных средств;
 С — оконцеватели; EQP — оборудование

В дальнейшем при переходе с пропускной способности в 1 и 10 Гбит/с на пропускную способность в 40 и 100 Гбит/с все магистральные кабели будут сохранены, а кассеты и коммутационные шнуры на обоих концах канала будут заменяться на МРО-шнуры, которые подключаются непосредственно к трансиверам активного оборудования.

Поскольку большинство ЦОД по сравнению с магистральными системами работает на коротких расстояниях, потери от длины кабелей незначительны по сравнению с потерями в соединениях. Приемлемые вносимые потери в соединениях обычно достигаются за счет использования лучших разъемов и высококачественных, заводского производства волоконно-оптических шнуров, сборок и кассет.

Каждая кассета имеет по два разъемных соединителя, находящихся на пользовательской и линейной сторонах. Уравнение распределения потерь в тракте на основе модульно-кассетного решения записывается так

$$IL_{\Sigma P} = N IL_{cas} + \alpha L \text{ (дБ)}, \quad (6.1)$$

где N — число кассет в тракте ($N > 1$); IL_{cas} — затухание кассеты; αL — затухание транкового кабеля, зависящее от его длины L и коэффициента затухания α .

Величины IL_{cas} и максимально допустимые потери в разъемах IL_{con} в зависимости от количества кассет в тракте приведены в табл. 6.5 [66].

Таблица 6.5

Предельные параметры затухания и возвратных потерь многомодовых разъемных соединителей модульно-кассетных решений

Количество кассет	Вносимые потери, дБ		Возвратные потери, дБ	
	IL_{cas}	IL_{con}	RL_{cas}	RL_{con}
2	0,6	0,3	20,5	23,5
3	0,4	0,2	22,3	25,3
4	0,3	0,15	23,5	26,5
5	0,12	0,06	24,5	27,5
6	0,1	0,05	25,6	28,6

Формула (6.1) для канонического двухконнекторного простого оптического тракта с учетом всех описанных факторов в случае для одной кассеты принимает вид

$$IL_{cas} = 2IL_c, \quad (6.2)$$

где IL_c — потери в отдельном оптическом разъеме с улучшенными параметрами.

Оценка возвратных потерь в единичном разъеме:

$$\begin{aligned} & -10\lg\left(10^{-0,1RL_c} + 10^{-0,1(RL_c - \alpha L)}\right) = \\ & = -10\lg\left(10^{-0,1RL_c} \left(1 + 10^{0,1\alpha L}\right)\right) = RL_c - 10\lg\left(1 + 10^{0,1\alpha L}\right) = \\ & = RL_c - 4,34\ln\left(1 + e^{0,23\alpha L}\right) \cong RL_c - 4,34e^{0,23\alpha L} \cong \\ & \cong RL_c - 4,34(1 + 0,23\alpha L) \cong RL_c - 4,34 - \alpha L. \end{aligned} \quad (6.3)$$

Так как $\alpha L \cong 0,3$ дБ, расчетное выражение для RL одного разъема принимает вид

$$RL = RL_c - 4 \text{ дБ}. \quad (6.4)$$

Анализ приведенной пары соотношений показывает, что их достаточно для задания величины затухания многомодовых разъёмных соединителей с использованием в качестве параметра максимально допустимого количества кассет в тракте. Результаты соответствующих расчетов приведены в табл. 6.6 [66].

Таблица 6.6

Предельные величины вносимых потерь и возвратных отражений оптических соединителей при их различном количестве в составе тракта

Количество кассет	Вносимые потери, дБ	Возвратные потери, дБ
	IL_c	RL_c
2	0,3	23,5
3	0,2	25,3
4	0,15	26,5
5	0,12	27,5
6	0,1	28,6

При выполнении требований к предельным величинам вносимых потерь значение коэффициента затухания оптического кабеля принималось равным 3,0 дБ. Такая величина использована при нормировании 150-метровых трактов на основе многомодового волокна категории OM4 и лучше соответствует значениям этого параметра, которые фактически достигаются в реальных условиях. Отдельно отметим, что оптические соединители с затуханием 0,15 дБ относятся к наиболее качественным изделиям группы А по международному стандарту IEC 61300-3-34. Таким образом, тракты с шестью кассетами требуют обязательного введения более жестких фирменных норм в отношении качества изготовления.

Нечетное количество кассет введено в табл. 6.6 ввиду возможного наличия в составе тракта передачи точки консолидации. В таком случае согласно требованиям стандартов запрещается использование схемы кросс-коннекта для соединения линейных кабелей, т.е. данный технический объект реализуется на основе всего одной кассеты.

С ростом числа соединений в МКС возрастает управляемость, но производительность падает. Это объясняется тем, что дополнительные соединения способствуют росту потерь. Поэтому в ЦОД необходимо поддерживать баланс между управляемостью и производительностью. Выбор правильных компонентов МКС помогает добиться баланса управляемости и производительности. Компоненты СКС с низкими значениями оптических потерь будут гарантировать максимальную производительность. При сравнении вносимых потерь кабельных компонентов всегда нужно учитывать, что в эксплуатационных характеристиках компонентов указаны типичные потери, которые не являются достоверными при расчетах, поэтому при расчетах необходимо учитывать максимальные потери.

Компанией *TE Connectivity* предложена система *MPOptimate* на базе 24-волоконного разъема MPO, готовая к переходу на более высокие скорости передачи данных и обеспечивающую поддержку трех следующих поколений серверов, систем

хранения и коммутаторов. Ключевыми особенностями данной системы являются:

- претерминированные кассеты с 24-волоконными соединителями МРО с низким затуханием;
- претерминированные кабели с 24-волоконными соединителями МРО с низким затуханием;
- поддержка 10/40/100 Gigabit Ethernet;
- осуществляется более рациональное использование всех волокон по сравнению с 12-волоконными претерминированными системами МРО.

Таким образом, методика построения модульно-кассетных конструкций в оптических системах должна состоять из следующих этапов:

- 1) анализ совокупных характеристик кабельной системы;
- 2) стандартизованный подход к планированию, инсталляции, документированию и соблюдению полярности в оптических трактах с использованием протоколов заводских испытаний, подтверждающих соответствие требованиям отраслевых стандартов;
- 3) организационно-технические мероприятия по минимизации затухания и возвратных потерь;
- 4) обеспечение широкополосности вне зависимости от условий ввода оптического сигнала и характеристик излучателя в активном оборудовании;
- 5) обеспечение требований к характеристикам оптических соединений, которые важнее увеличения полосы пропускания волокна или уменьшения допустимого радиуса его изгиба;
- 6) обеспечение требований ГОСТ к потребительским свойствам и составу показателей качества телекоммуникационных услуг.

Для соответствия требований стандартам среды взаимодействия ВК на основе ЦОД необходимо оценивать не только помехозащищенность и пропускную способность, но и нормативные значения показателей качества услуг связи на этапах взаимодействия с потребителем (по ГОСТ Р 56087.3-2014): доля (процент)

заявок пользователей телекоммуникационных служб; доля (процент) пользователей телекоммуникационных служб, выразивших удовлетворенность информативностью; доля (процент) успешных обращений к телекоммуникационным службам [68].

6.5. СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОПТИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ

6.5.1. Прямое подключение серверов к магистральному коммутатору

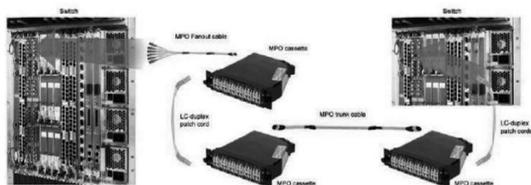
Для улучшения качества связи оптической линии в ЦОД предложено прямое подключение серверов к магистральному коммутатору в обход коммутатора доступа, при использовании касетно-модульных решений; проведены исследования на соответствие параметров оптического тракта предлагаемой конструкции требованиям стандартов.

Для расширения функциональных возможностей многомодовой элементной базы актуальна задача увеличения гарантированной предельной дальности действия существующих серийных многомодовых сетевых интерфейсов 40G и 100G Ethernet.

При использовании параллельной оптики возникает необходимость выполнения ограничения по коэффициенту широкополосности и параметру *skew* (разность в задержках распространения сигнала по разным волокнам одного кабеля).

Ввиду невозможности измерения на месте действительная величина ширины полосы пропускания уже построенных оптоволоконных линий в структурированных кабельных системах не замеряется. Требуемые по стандарту частотные параметры проектируемого оптического тракта гарантируются выбором элементной базы и четким выполнением заданного ограничения на максимальную длину кабеля заданных технических объектов. Аналогичный подход применяется для выполнения норм по параметру *skew*.

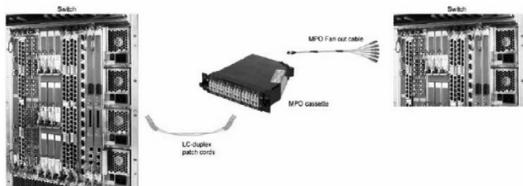
Варианты использования компонентов кабельной системы МРО в составе кабельного тракта приведены на рис. 6.11 [58].



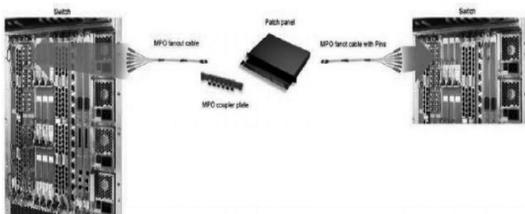
a



б



в



г

Рис. 6.11. Схемы подключения оптической кабельной системы с использованием разъемов MPO:

a — подключение коммутатора по схеме «кросс-коннект» (отображение портов); *б* — прямое подключение оборудования; *в* — одно разъемное соединение с одним разветвительным кабелем; *г* — одно разъемное соединение с двумя разветвительными кабелями

В связи с частотными свойствами многомодовых оптических кабелей и исходящими из этих свойств дисперсионными штрафами по мощности, возникающими из-за недостаточно большой ширины полосы пропускания, возникают нелогичные выводы при анализе параметров многомодовых оптических трактов, приведенных в табл. 6.7 [66]. Из данных табл. 6.7 следует, что для 40- и 100-гигабитных систем при большей величине протяженности линий, построенных на базе волокон категории OM4, допускается меньшая величина потерь по сравнению с линиями на базе оптических волокон категории OM3. В то же время спецификация этих волокон по коэффициенту затухания отличий не содержит. Причиной возникновения такой разницы является увеличенное значение дисперсионного штрафа на линиях большей длины.

Таблица 6.7

**Некоторые параметры многомодового
оптического тракта различных вариантов
быстродействующих интерфейсов Ethernet**

Тип интерфейса	Год утверждения	Спецификация	Длина тракта, м	Допустимые потери, дБ
1G Ethernet 1000Base-SX	1998	IEEE 802.3z	550	3,56
10G Ethernet 10GBase-SX	2003	IEEE 802.3ae	300 (OM3) 490 (OM4)	2,6 (OM3) 3,2 (OM4)
40G Ethernet 40GBase-SR4	2010	IEEE 802.3ba	100 (OM3) 150 (OM4)	1,9 (OM3) 1,5 (OM4)
100G Ethernet 100GBase-SR10	2010	IEEE 802.3ba	100 (OM3) 150 (OM4)	1,9 (OM3) 1,5 (OM4)

Аппаратный зал ЦОД состоит из двух уровней. На одном уровне располагаются серверы и небольшая часть коммутационного оборудования в 19-дюймовых полках, а на другом

уровне располагается все оставшееся коммутационное оборудование.

Типовая схема размещения оборудования в стандартном 19-дюймовом конструктиве, применяемом в ЦОД, показана на рис. 6.12 [67].

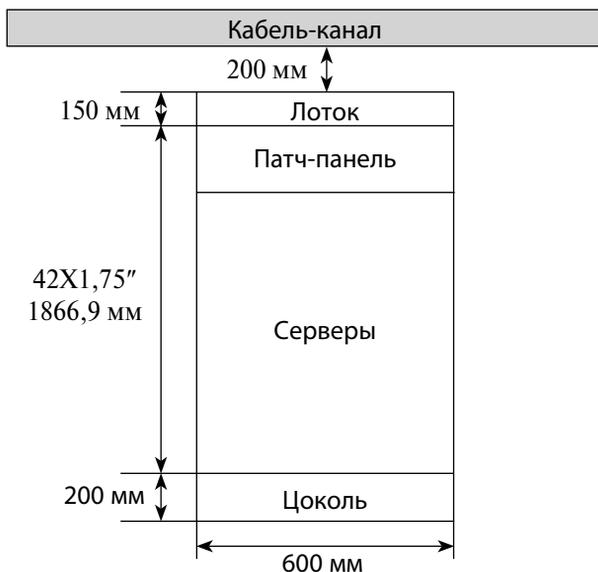


Рис. 6.12. Типовая схема размещения оборудования в стандартном 19-дюймовом конструктиве

Для удобного, компактного, технологичного и безопасного крепления телекоммуникационного оборудования (серверов, маршрутизаторов, модемов, станций) используются стойки — металлические конструкции (без дверей или обшивки). В ближайшее десятилетие 19-дюймовые стойки будут по-прежнему наиболее востребованы. Внешний вид стоек в ЦОД показан на рис. 6.13 [67]. Соединение стоек в ряд является наименее затратным способом обеспечения устойчивости.

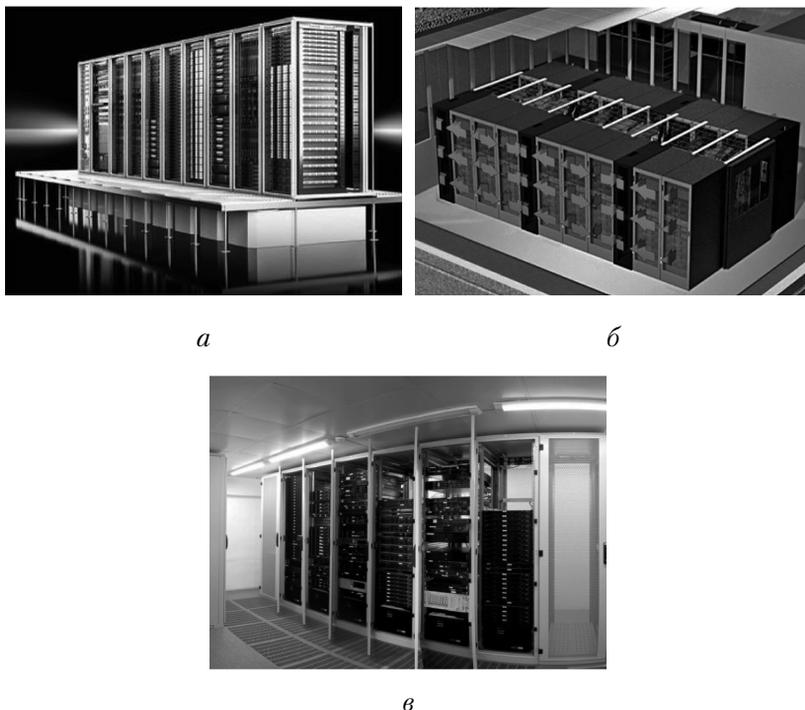


Рис. 6.13. Различные конструкции стоек в ЦОД:

- а* — последовательное соединение стоек по прямой линии;
- б* — параллельно-последовательное соединение стоек;
- в* — последовательное соединение по не прямой линии

Рассчитаем максимальную длину кабеля от сервера до коммутационной панели. В общем случае она может быть найдена исходя из выражения:

$$L_{\max} = l_k k_n k_{\text{кп}} + l_{\text{кк}} k_n k_{\text{кп}} + l_c n_c k_n + l_{\text{кс}}, \quad (6.5)$$

где l_k — длина кабеля; k_n — коэффициент запаса на неровности укладки ($k_n = 1,05$); $k_{\text{кп}}$ — коэффициент для учета прокладки кабеля к коммутатору доступа; $l_{\text{кк}}$ — расстояние от коммутационной панели до кабель-канала; l_c — расстояние между

стойками ЦОД; n_c — количество стоек ЦОД в одном ряду; l_{kc} — дополнительная длина кабеля, зависящая от конструкции стойки.

Приведем пример расчета максимальной длины кабеля.

Длина кабеля $l_k = 1,87$ м, с запасом на неровности укладки и учетом коэффициента k_n составит: $1,87 \cdot 1,05 = 1,96$ м ≈ 2 м.

Расстояние от коммутационной панели до кабель-канала составляет $l_{kk} = 0,4$ м, если коммутационная панель располагается в самом верху стойки и имеет высоту 1U ($1U = 44,45$ мм). С учетом запаса на неровности укладки: $0,4 \cdot 1,05 = 0,42$ м.

В аппаратном зале ЦОД на нижнем уровне таких стоек в каждом ряду может находиться до $n_c = 12$ (шт.).

Максимальное расстояние между крайними стойками, схематично изображенными на рис. 6.14 [67], с учетом расстояния между стойками l_c составляет: $0,6 \cdot 12 = 7,2$ м.

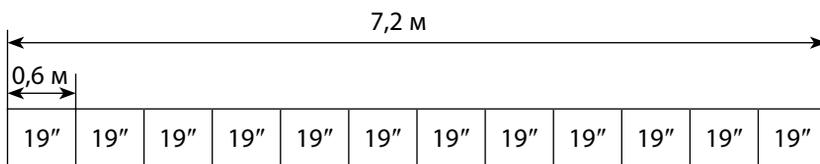


Рис. 6.14. Схема расположения стоек в ряду ЦОД

С учетом запасом на неровности укладки будет: $7,2 \cdot 1,05 = 7,56$ м.

В крайней стойке, как правило, располагается коммутатор доступа (рис. 6.15) [67], и серверы из всех стоек подключаются к нему. В этом случае учитывается величина $k_{кп} = 2$.

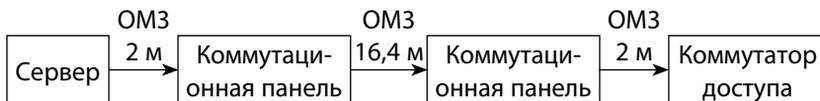


Рис. 6.15. Схема расчета максимальной длины кабеля от сервера до коммутатора доступа

Тогда максимальная длина кабеля в данном случае $L_{max} = 2 \cdot 2 + 2 \cdot 0,42 + 7,56 = 12,4$ м.

Если же допустить расположение коммутационной панели на любой высоте стойки, то максимальная длина $L_{max} = 2 \cdot 2 + 2 \cdot (0,42 + 2) + 7,56 = 16,4$ м.

В данном примере дополнительная длина кабеля $l_{кс}$, зависящая от конструкции стойки, будет учитываться только для определения расстояния от коммутационной панели до кабель-канала.

Иногда возникает необходимость подключения некоторых серверов напрямую к магистральному коммутатору, в обход коммутатора доступа (рис. 6.16) [67], для обеспечения работы сервисов, которые критичны к задержкам.

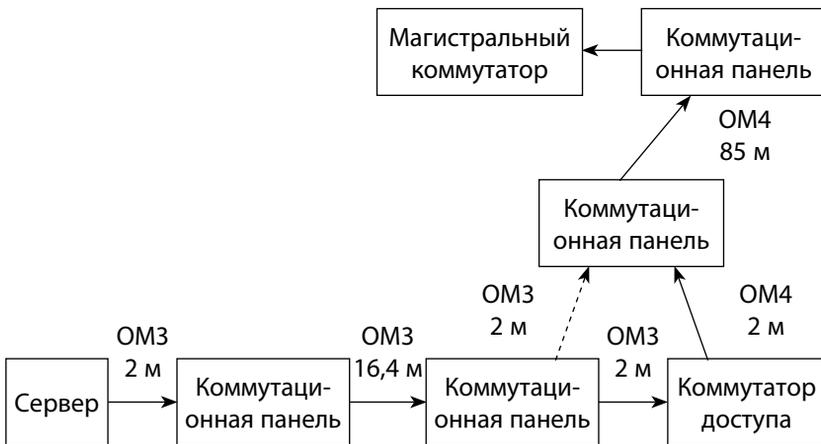


Рис. 6.16. Схема соединения оборудования в обход коммутатора доступа, с указанием длин и типа волокна

В этом случае длина кабеля ОМ4 составляет 87 м.

Максимально допустимая длина кабеля ОМ4 для интерфейса 40GBase-SR4 составляет 150 м, поэтому полученное значение длины соответствует требованиям стандартов.

Компоновочная схема ЦОД приведена на рис. 6.17 [67].

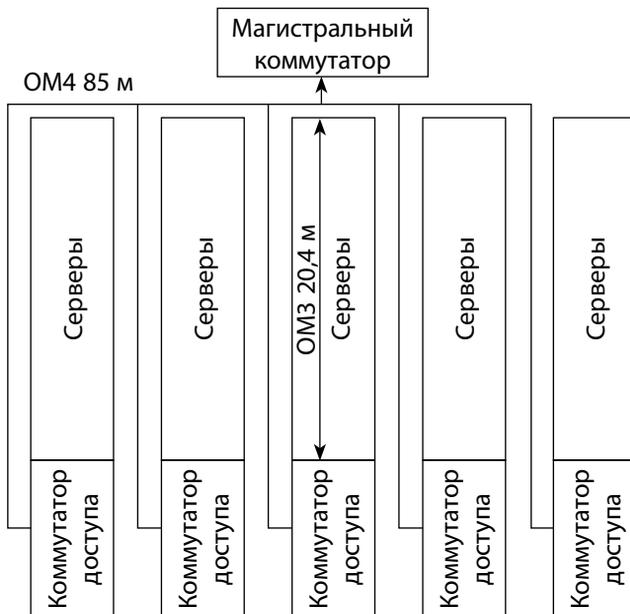


Рис. 6.17. Компоновочная схема ЦОД

Ширина W полосы пропускания оптического тракта длиной l определяется расчетным путем. Для этого используется информация о коэффициенте широкополосности ΔF , которая содержится в спецификации ОК.

Коэффициенты широкополосности волокон при лазерном возбуждении:

$$\text{ОМ3: } \Delta F = 2000 \text{ МГц} \cdot \text{км};$$

$$\text{ОМ4: } \Delta F = 4700 \text{ МГц} \cdot \text{км}.$$

Ширина полосы тракта произвольной длины [19]

$$W = \frac{\Delta F}{l}, \quad (6.6)$$

где ΔF — максимальная полоса пропускания волокна; l — длина тракта.

Параметры коэффициента широкополосности ΔF и дисперсии волокна связаны между собой [17]:

$$\Delta F = \frac{k}{\tau}, \quad (6.7)$$

где k — определяет форму импульса; τ — дисперсия.

Импульс имеет форму, близкую к гауссовой, поэтому можно принять $k = 0,19$. Волокно категории OM4 при длине 150 м имеет полосу пропускания, которую можно определить по формуле (6.6)

$$W = \frac{4700}{0,15} = 31333,333 \text{ МГц.}$$

Формула для максимально допустимой дисперсии получается путем преобразования (6.7):

$$\tau = \frac{k}{\Delta F}, \quad (6.8)$$

где k — определяет форму импульса; ΔF — максимальная полоса пропускания волокна, совпадающая с W при длине тракта 1 км.

При длине 150 м и волокне OM4 максимально-допустимая дисперсия по формуле (6.8) составит

$$\tau = \frac{0,19}{31333,333} = 6,06 \text{ пс.}$$

Данная величина дисперсии принимается за эталон и уже с ней сравнивается дисперсия составного тракта из кабелей OM3 + OM4.

Используем формулу (6.6) для вычисления полосы пропускания волокна категории OM3 при длине 20,4 м (0,204 км):

$$W = \frac{2000}{0,0204} = 98039,215 \text{ МГц.}$$

Его дисперсия в соответствии с формулой (6.8)

$$\tau = \frac{0,19}{98039,215} = 1,94 \text{ пс.}$$

Волокно категории OM4 при длине 87 м имеет полосу пропускания, которую можно вычислить по формуле (6.6):

$$W = \frac{4700}{0,087} = 54022,98 \text{ МГц.}$$

Его дисперсия в соответствии с формулой (6.8)

$$\tau = \frac{0,19}{54022,98} = 3,52 \text{ пс.}$$

Суммарная дисперсия тракта определяется как [19]

$$\tau_s = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_1^2}. \quad (6.9)$$

Тогда согласно формуле (6.9) суммарная дисперсия

$$\tau_s = \sqrt{1,94^2 + 3,52^2} = 4,02 \text{ пс.}$$

Данное значение меньше максимально допустимой дисперсии 6,06 пс, следовательно, передача возможна.

В стандарте ISO/IEC 11801 допускается затухание на разъем 0,75 дБ и затухание кабеля 3,5 дБ/км. При соединении в обход длина кабеля OM3 составляет 20,4 м, OM4 — 87 м. В расчетной схеме используются три кассеты на кабеле OM3 и одна кассета на кабеле OM4. Допустимые потери для сетевого интерфейса 40GBase-SR4 составляют: 1,9 дБ для OM3 и 1,5 дБ для OM4.

Затухание оптического тракта рассчитывается по формуле [17]

$$IL = 2NIL_c + \alpha l, \quad (6.10)$$

где N — число кассет; IL_c — затухание в одном разъеме; α — затухание кабеля; l — длина тракта.

Требования к величине затухания оптического тракта представлены в табл. 6.8.

Таблица 6.8

Потери в разъемных соединителях

Уровень качества	Потери, дБ
1	0,75
2	0,4
3	0,2
4	0,1

По формуле (6.10) вычислим затухание при соединении в обход:

$$IL = 2 \cdot 4 \cdot 0,75 + 3,5 \cdot 0,1074 = 6,38 \text{ дБ.}$$

Очевидно, что данная величина является больше допустимой по стандарту, поэтому необходимо рассчитать максимально допустимое затухание в разъеме.

После преобразования (6.10) получим формулу для расчета максимально допустимого затухания в одном разъеме:

$$IL_c = \frac{IL - \alpha l}{2N}, \quad (6.11)$$

где IL — максимальное затухание по стандарту.

Для тракта с кабелем OM3+OM4 длиной 107,4 м и четырьмя кассетами по формуле (6.11) с учетом табл. 6.6 можно вычислить максимально допустимое затухание в одном разъеме:

$$IL_c = \frac{1,5 - 3,5 \cdot 0,1074}{2 \cdot 4} = 0,14 \text{ дБ} \approx 0,1 \text{ дБ.}$$

Рассчитаем затухание при соединении в обход, с применением разъемов с улучшенными характеристиками и с уровнем качества 4, по формуле (6.10):

$$IL = 2 \cdot 4 \cdot 0,1 + 3,5 \cdot 0,1074 = 1,18 \text{ дБ.}$$

Такая величина потерь согласно требованиям стандартов допускается для сетевого интерфейса 40GBase-SR4.

Количественной мерой интенсивности обратных отражений является коэффициент обратного отражения RL , дБ, [17]:

$$RL = 10 \lg \frac{P_r}{P_0}, \quad (6.12)$$

где P_r — мощность потока обратного рассеяния; P_0 — мощность оптического сигнала на входе разъема. По стандарту СКС (ISO/IEC-11801:2002) коэффициент обратного отражения должен быть не более -20 дБ.

Суммарный коэффициент обратного отражения RL_s для двухконнекторного оптического тракта (требования к этому показателю приведены в табл. 6.9 [66]) рассчитывается по следующей формуле [17]:

$$RL_s = -10 \lg \left(10^{0,1RL} + 10^{0,1(RL-\alpha l)} \right), \quad (6.13)$$

где RL — коэффициент обратного отражения одного разъема; α — затухание кабеля; l — длина тракта.

Таблица 6.9

Коэффициент обратного отражения разъемных соединителей

Уровень качества	RL , дБ
1	-20
2	-30
3	-32
4	-35

В случае использования модульно-кассетной техники и с учетом общей малости произведения αl [17]:

$$RL_s = -10 \lg \left(N \cdot 10^{0,1(RL+3)} \right). \quad (6.14)$$

Вычисление коэффициента обратного отражения для четырех кассет и разъемов уровня качества 3 по формуле (6.14) дает следующий результат:

$$RL_s = -10 \lg \left(4 \cdot 10^{0,1(-32+3)} \right) = -22,97 \text{ дБ.}$$

Полученная величина соответствует требованиям стандарта СКС (ISO/IEC-11801:2002).

На основании приведенной методики расчета построена диаграмма для определения коэффициента обратного отражения, изображенная на рис. 6.18 [67].

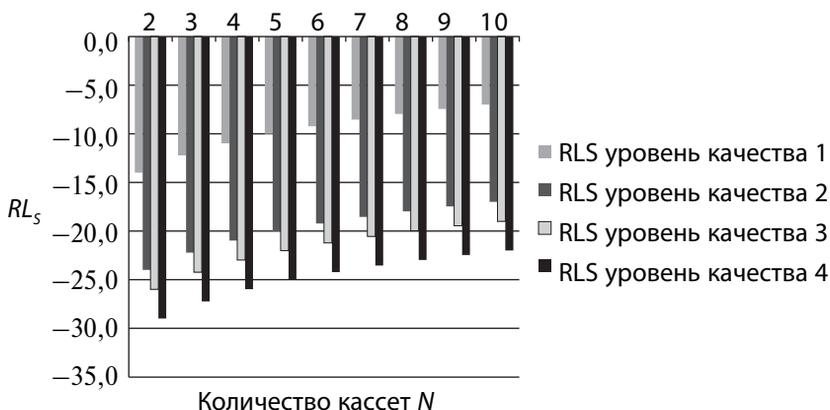


Рис. 6.18. Столбчатая диаграмма для определения коэффициента обратного отражения в многомодовых линиях с различным количеством кассет и уровнями качества разъемных соединителей

Предлагаемое схемное решение можно реализовать не только в ЦОД, но и для организации хранения, обработки и передачи информации в автоматизированных информационных системах, в системах мониторинга и управления кабельной инфраструктурой, конвергенции различных коммуникационных сервисов на базе IP-технологий [67].

С помощью аналитических методов расчета определены графоаналитические зависимости показателей качества для предлагаемого способа подключения сервера: максимальная длина кабеля, затухание при соединении кабеля в обход коммутатора доступа с применением разъемов с улучшенными характеристиками, коэффициент обратного отражения разъемных соединителей. Предлагаемое решение позволяет обеспечить работу се-

тевых сервисов, которые критичны к задержкам, и увеличить допустимую протяженность линии с одновременным сохранением стоимостных преимуществ многомодовой элементной базы.

6.5.2. Усовершенствование способа построения стационарной оптической линии

Для построения оптического высокоскоростного тракта с длиной волны 850 нм увеличенной длины предложены применение многомодовых волокон с компенсацией межмодовой и хроматической дисперсии *SignatureCore* от компании *Panduit* или его аналогов от компаний *Corning* и *Draka*, использование разветвительных шнуров вместо модульно-кассетных решений, учет внутренних резервов современной элементной базы. С помощью аналитических методов расчета показателей качества показана целесообразность предложенного способа организации оптической линии связи.

При построении оптических внутренних магистралей МКС и построенных на базе ЦОД, центров обработки научной информации для работы с данными с космического аппарата, характеризующихся относительно небольшой протяженностью линейной части (до 300 м), экономически более выгодна многомодовая элементная база, поэтому повышение эффективности использования многомодовых трактов актуально. Эффективность применения многомодовых волокон может быть увеличена за счет внутренних резервов основных нормативных документов СКС, обусловленных как особенностями их построения, так и имеющегося на практике заметного превышения параметров элементной базы над нормируемыми значениями. С учетом принципиального новшества стандарта 802.3ba — перехода на параллельную передачу, а также принимая во внимание требования к увеличению длины оптического тракта на основе многомодового волокна, необходимо разработать новые способы подключения сетевого оборудования, позволяющие улучшить качество связи при увеличении длины оптического тракта [17, 70].

Соблюдение норм стандартов по максимальной протяженности тракта в случае его реализации на стандартной элементной базе гарантирует получение заданных показателей качества передачи, требуемого спецификациями сетевых интерфейсов по критерию обеспечения необходимого уровня дисперсионных искажений и (или) максимально допустимого затухания [17].

Компоненты, входящие в состав подсистемы внутренних магистралей МКС, строящихся на основе многомодового волокна, приведены на рис. 6.19 [58].

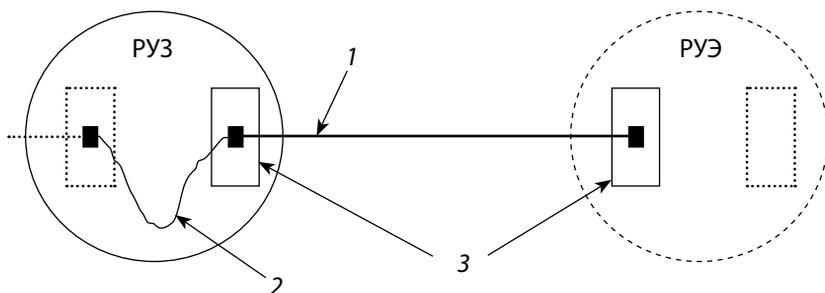


Рис. 6.19. Типовая схема подсистемы внутренних магистралей МКС:

■ — соединитель (состыкованные гнездо и вилка);

1 — кабели магистралей здания; 2 — коммутационные шнуры и перемычки в распределительном устройстве здания; 3 — соединительное оборудование (коммутационные панели), на котором терминируются кабели подсистемы внутренних магистралей в распределительном устройстве здания и в распределительном устройстве этажа

В дальнейшем предполагается, что предельная по сравнению с требованиями стандартов протяженность линии может быть увеличена. Для этого используют как внутренние резервы основных нормативных документов СКС, обусловленные особенностями их построения, так и имеющееся на практике заметное превышение параметров элементной базы над нормируемыми значениями. Пример такого превышения приведен на рис. 6.20.

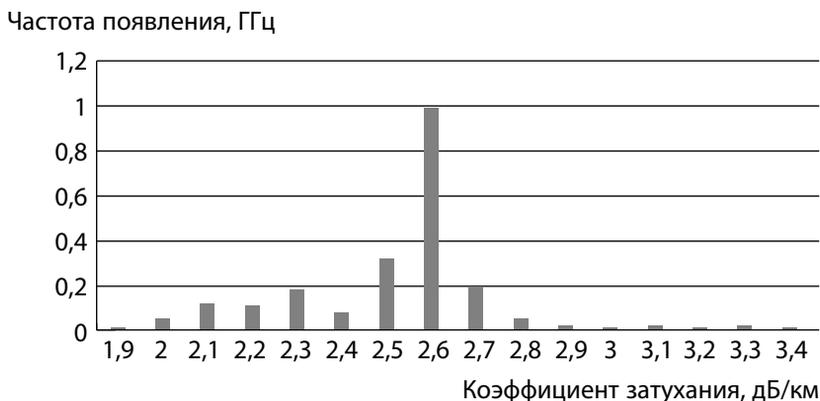


Рис. 6.20. Фактические величины коэффициента затухания на длине волны 850 нм

Схема параллельной передачи, изображенная на рис. 6.21, б, обычно реализуется с помощью модульно-кассетного решения (см. рис. 6.21, а): линейный претерминированный кабель подключается к cassette (промежуточный элемент) с одной или двумя розетками МТР/МРО. Внутри самой cassette с помощью разветвительного шнура малой длины выполняется распределение волокон линейного кабеля по отдельным розеткам коннекторов С, которые на основании требований стандартов имеют тип LC [17].

Есть и другой способ. Схему параллельной передачи со скоростью 40 Гбит/с можно реализовать способом построения стационарной линии на основе канонической схемы, в которой интерфейс пользователя реализован в виде розетки МРО. Адаптер в виде разветвительного шнура, изображенного на рис. 6.21, а, согласует многоволоконный и двухволоконный участки тракта, что необходимо для скорости 10 Гбит/с. С помощью этого способа сокращается количество соединителей (два против четырех в модульно-кассетной схеме) и, соответственно, достигается выигрыш в несколько дБ. Но пока способ, изображенный на рис. 6.21, б, несмотря на существенные до-

стоинства, мало распространен в 40-гигабитных системах связи из-за неудобства эксплуатации. При реализации этого способа необходимо обеспечить допустимую величину разности между минимально вводимой в волокно мощностью оптического сигнала и минимально допустимой мощностью сигнала на окне фотоприемника, при которых обеспечиваются заданные вероятность ошибки цифрового сигнала и отношение сигнала к шуму для аналогового сообщения.

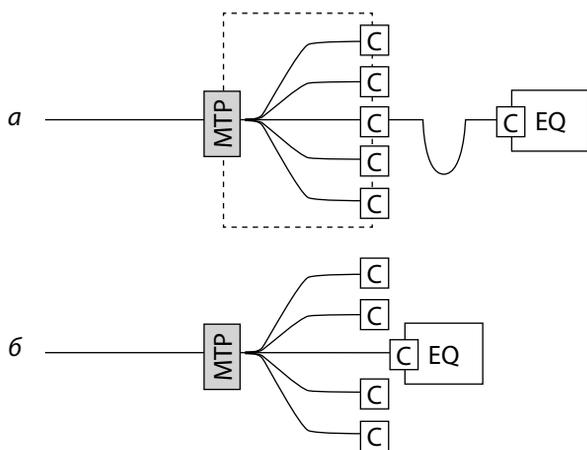


Рис. 6.21. Реализация подключения оконечного активного оборудования к МКС на основе оптоволокна:
 а — модульно-кассетное решение; б — разветвительный шнур;
 EQ — оборудование; MTP — многополюсный оптический интерфейс

Нарастить предельную дальность связи можно такими средствами, как [17, 65]:

- применение многомодовых волокон с компенсацией межмодовой и хроматической дисперсии *SignatureCore* от компании *Panduit* или его аналогов от компаний *Corning* и *Draka*;
- использование разветвительных шнуров вместо модульно-кассетных решений;
- учет внутренних резервов современной элементной базы.

Предельная длина многомодового тракта ищется как решение уравнения бюджета мощности, которое в данном случае имеет следующий вид [2]:

$$E = A(l) + r_d(l) + r_{nd}, \quad (6.15)$$

где E — энергетический потенциал оптического сетевого интерфейса (разность между минимально вводимой в волокно мощностью оптического сигнала и минимально допустимой мощностью сигнала на окне фотоприемника, при которых обеспечиваются заданные вероятность ошибки цифрового сигнала и отношение сигнала к шуму для аналогового сообщения); $A(l)$ — затухание сигнала в тракте длиной l ; $r_d(l)$ — параметр дисперсионного штрафа по мощности; r_{nd} — недисперсионный штраф по мощности.

Энергетический потенциал E сетевых интерфейсов берется из их спецификаций. При отсутствии данных в качестве оценки E принимаются величины допустимого затухания в тракте, приведенные в приложении к стандарту ISO/IEC 11801.

Величина недисперсионного штрафа по мощности r_{nd} принимается равной 1 дБ для интерфейсов, энергетический потенциал E которых больше 4 дБ. Для оборудования, где $E < 4$ дБ, недисперсионный штраф считается учтенным и поэтому $r_{nd} = 0$ дБ.

Обычно затухание в кабеле рассчитывается как произведение коэффициента затухания на длину. Размерность коэффициента (дБ/км) требует, чтобы и длина кабеля указывалась в километрах. Коэффициент затухания для каждого вида оптического волокна обычно указывается производителями в каталогах, но для справки можно использовать значение 3,5 дБ/км для многомодового волокна при длине волны 850 нм.

Затухание в линии состоит из двух составляющих: потери самого кабеля и потери в соединителях (коннекторах и муфтах).

В предлагаемой методике расчета затухания оптической линии ожидаемая величина затухания A в форме оценки сверху, выполненной с привлечением правила «трех сигм»

(вероятность превышения не свыше 0,3% при условии нормального распределения оцениваемой случайной величины) выглядит следующим образом:

$$A = MA + 3\sqrt{DA}, \quad (6.16)$$

где $MA = \sum_{i=1}^N A_i$ – математическое ожидание; A_i – затухание i -го компонента; $DA = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2$ – дисперсия затухания; σ_i^2 – дисперсия затухания i -го компонента.

Примем затухание разъемного соединителя

$$\alpha_c = n\alpha_{con},$$

где n – количество разъемов; α_{con} – потери в одном соединителе.

Численное значение дисперсионного штрафа по мощности

$$r_d = \frac{2,24f_T}{f_0} - 0,6, \quad (6.17)$$

где f_T – тактовая частота; f_0 – верхняя граничная частота тракта.

Для интерфейсов *Ethernet* значение тактовой частоты

$$f_T = \epsilon V, \quad (6.18)$$

где ϵ – коэффициент для оборудования, учитывающий тип кодирования линейного сигнала: $\epsilon = 1,25$ для оборудования *Fast Ethernet* (блочный линейный код 4B5B) и *Gigabit Ethernet* (блочный линейный код 8B10B), $\epsilon = 1,031$ для оптической сетевой аппаратуры 10G Ethernet (блочный линейный код 64B66B); V – скорость передачи.

Верхняя граничная частота тракта

$$f_0 = \frac{\Delta F}{l}, \quad (6.19)$$

где ΔF – коэффициент широкополосности линейного кабеля.

Возможное превышение ΔF над требованиями стандартов в явном виде не учитывается и рассматривается как запас расчета.

Само уравнение бюджета с учетом вышеперечисленного выглядит следующим образом:

$$E = lA + n\alpha_{con} + \frac{2,24f_T}{f_0} - 0,6 + r_{nd} =$$

$$= (MA + 3\sqrt{DA})l + n\alpha_{con} + \frac{2,24\epsilon V}{\Delta F} - 0,6 + r_{nd}.$$

Отсюда выразим формулу длины многомодового тракта

$$l = \frac{E + 0,6 - r_{nd} - n\alpha_{con}}{MA + 3\sqrt{DA} + \frac{2,24\epsilon V}{\Delta F}}. \quad (6.20)$$

Длина тракта для обычного волокна OM4

$$l = \frac{E + 0,6 - r_{nd} - n\alpha_{con}}{MA + 3\sqrt{DA} + \frac{2,24\epsilon V}{\Delta F}} = \frac{4,4 + 0,6 - 2 \cdot 0,75}{3,5 + \frac{2,24 \cdot 1,031 \cdot 40000}{4700}} = 150 \text{ м.}$$

Теперь проанализируем целесообразность предложенного комплекса мероприятий для увеличения предельной длины многомодового тракта: применение многомодовых волокон с компенсацией межмодовой и хроматической дисперсии *Signature Core* от компании *Panduit*, использование разветвительных шнуров вместо модульно-кассетных решений.

Определим показатели качества оптического многомодового тракта увеличенной длины. По гистограмме рис. 6.20 определяется коэффициент затухания кабеля:

$$A = MA + 3\sqrt{DA} = A_k + 3\sqrt{\sigma_{i0k}^2} = 2,4 + 3 \cdot 0,2 = 3 \text{ дБ.}$$

По нормативным документам затухание соединителя указано 0,75 дБ (табл. 6.10) [66]. Для оптического кабеля на основе многомодового волокна *Signature Core* затухание разъемного соединителя: $\alpha_c = 2 \cdot 0,2 = 0,4$ дБ.

Параметры коэффициента широкополосности и дисперсии связаны между собой соотношением (6.7).

Таблица 6.10

Потери в разъемных соединителях

<i>Grade</i> (уровень качества)	Потери α_{con} , дБ
1	0,75
2	0,4
3	0,2
4	0,1

При $k = 0,34$ стандартное волокно OM4 имеет $\tau = 72$ пс/км.

Для оценки величины хроматической дисперсии применяется двухчленная формула Селмейера:

$$\tau_{\lambda} = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right), \quad (6.21)$$

где λ_0 — длина волны нулевой дисперсии, равная 1300 нм; S_0 — крутизна характеристики дисперсии на длине волны λ_0 ; λ — фактическая длина волны (в технике параллельной передачи $\lambda = 850$ нм).

Для *SignatureCore* в спецификации не сказано про коэффициент широкополосности, поэтому вычислим его с помощью формул (6.7) и (6.8).

Для OM4 дисперсия

$$\tau = \frac{k}{\Delta F} = \frac{0,34}{4700 \cdot 10^6} = 7,234 \cdot 10^{-11} = 72,34 \text{ пс/км.}$$

Величина хроматической дисперсии

$$\tau_{\lambda} = \frac{0,1 \cdot \frac{10^{-12}}{10^3 \cdot 10^{-18}}}{4} \cdot \left(850 \cdot 10^{-9} - \frac{(1300 \cdot 10^{-9})^4}{(850 \cdot 10^{-9})^3} \right) = 10 \text{ пс/км.}$$

Из-за эффекта вычитания дисперсий получаем

$$\tau_{\Sigma} = 72,34 - 10 = 62,34 \text{ пс/км.}$$

Рассчитаем коэффициент широкополосности для вычисленной дисперсии:

$$\Delta F = \frac{k}{\tau_{\Sigma}} = \frac{0,34}{62,34 \cdot 10^{-12}} = 5454 \text{ МГц.}$$

Для скорости 40 Гбит/с

$$l = \frac{4,4 + 0,6 - 0,4}{3 + \frac{2,24 \cdot 1,031 \cdot 40000}{5454}} = 0,231 \text{ км} = 231 \text{ м.}$$

Для скорости 100 Гбит/с

$$l = \frac{4,4 + 0,6 - 0,4}{3 + \frac{2,24 \cdot 1,031 \cdot 100000}{5454}} = 0,101 \text{ км} = 101 \text{ м.}$$

Многомодовые тракты с улучшенными характеристиками можно применять для ЦОД, при планировании основных и резервных каналов связи, в мультисервисных кабельных системах, в центрах обработки научной информации для оперативной обработки данных, поступающих с космического аппарата.

Вопросы и задания

1. Опишите главные функции, осуществляемые центром обработки данных.
2. Опишите принцип работы систем со спектральным мультиплексированием.
3. Опишите принцип работы систем с частотным мультиплексированием.
4. Расскажите о развитии архитектуры оптических систем с помощью схемы параллельной передачи и спектрального мультиплексирования.
5. Опишите функции модульно-кассетного оборудования в волоконно-оптических сетях.

6. Какой спектральный диапазон волоконно-оптического кабеля экономически наиболее выгодно использовать и почему?

7. Расскажите о развитии концепции претерминированных конструкций в волоконно-оптических сетях.

8. Расскажите об аналитическом моделировании параметров канонического двухконнекторного простого оптического тракта.

9. Укажите особенности применения оборудования модульно-кассетного типа в волоконно-оптических системах связи.

10. Приведите способы усовершенствования конструкций оптических линий связи.

11. Приведите способы расчета показателей качества многодогового тракта.

Список используемой литературы

1. *Vacca J.* The Cabling Handbook [Текст] / J. Vacca. — London: Prentice Hall PTR, 1999. — 684 p.
2. *Семенов А.Б., Артюшенко В.М., Аббасова Т.С.* Введение в структурированные кабельные системы [Текст]: учеб. пособие / А.Б. Семенов, В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова; под ред. А.Б. Семенова. — М.: Издательство «Научный консультант», 2018. — 206 с.
3. *Dittrich J.* Moderne Datenverkabelung [Текст] / J. Dittrich, U. Thienen. — Bonn: ITP, 1998. — 517 s.
4. *Gerschau L.* Strukturierte Verkabelung [Текст] / L. Gerschau. — Bergheim, DATACOM, 1995. — 276 s.
5. *Стерлинг Д.Д.* Кабельные системы [Текст] / Д.Д. Стерлинг, Л. Бакстер. — М.: Лори, 2003. — 313 с.
6. *Хейс Д.* Кабельные системы для телефонии, данных, TV и видео [Текст] / Д. Хейс, П. Розенберг. — М.: КУДИЦ-образ, 2005. — 368 с.
7. *Самарский П.А.* Основы структурированных кабельных систем [Текст] / П.А. Самарский. — М.: Компания «АйТи»; ДМК Пресс, 2005. — 228 с.
8. *Гальперович Д.Я.* Высокоскоростные кабельные системы для компьютерных сетей [Текст] / Д.Я. Гальперович. — М.: Русская панорама, 1999. — 128 с.
9. *Гальперович Д.Я.* Инфраструктура кабельных сетей [Текст] / Д.Я. Гальперович. — М.: Русская панорама, 2006. — 248 с.
10. *Смирнов И.Г.* Структурированные кабельные системы [Текст] / И.Г. Смирнов. — М.: Эко-Трендз, 1998. — 178 с.
11. *Смирнов И.Г.* Структурированные кабельные системы — проектирование, монтаж и сертификация [Текст] / И.Г. Смирнов. — М.: Экон-Информ, 2005. — 360 с.
12. *Семенов А.Б.* Основные тенденции развития техники СКС [Текст] / А.Б. Семенов // Журнал сетевых решений. LAN. — 2007. — Т. 13. — № 8 (133). — С. 56–65.

13. *Семенов А.Б.* Метод расчета коэффициента технологического запаса длины горизонтального кабеля СКС [Текст] / А.Б. Семенов // Электросвязь. — 2007. — № 6. — С. 34–36.
14. *Семенов А.Б.* Неэкранированные СКС для 10 GigabitEthernet [Текст] / А.Б. Семенов // Журнал сетевых решений. LAN. — 2006. — Т.11. — № 1. — С. 28–36.
15. *Артюшенко В.М.* Построение и функционирование структурированных кабельных систем [Текст]: учеб. пособие / В.М. Артюшенко, А.Б. Семенов, Т.С. Аббасова; под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. А.Б. Семенова. — Королев МО: МГОТУ, 2017. — 171 с.
16. *Семенов А.Б.* Администрирование структурированных кабельных систем [Текст] / А.Б. Семенов // НОУДО «Институт АйТи». — М.: ДМК Пресс; Компания «АйТи», 2009. — 192 с.
17. *Семенов А.Б.* Волоконно-оптические подсистемы современных СКС [Текст] / А.Б. Семенов. — М.: ДМК Пресс; Компания «АйТи», 2007. — 632 с.
18. *Семенов А.Б.* Системы интерактивного управления СКС [Текст] / А.Б. Семенов. — М.: Эко-Трендз, 2011. — 224 с.
19. *Семенов А.Б.* Структурированные кабельные системы для центров обработки данных [Текст] / А.Б. Семенов. — М.: Компания «Стинс Коман»; ДМК Пресс, 2014. — 232 с.
20. *Артюшенко В.М.* Сервис информационных систем в электротехнических комплексах [Текст] / В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова; под науч. ред. В.М. Артюшенко. — Москва: ФГОУВПО РГУТиС, 2009. — 100 с.
21. *Артюшенко В.М.* Проектирование мультисервисных систем в условиях воздействия внешних электромагнитных помех [Текст] / В.М. Артюшенко, Т.С. Аббасова; под науч. ред. В.М. Артюшенко. — Москва: ФГОУ ВПО РГУТиС, 2011. — 110 с.
22. ISO/IEC 11801:2002(E). Information Technology — Generic Cabling for Customer Premises. International Standart. Second edition 2002-09. — 136 p.

23. *Elliott B.J.* Designing a structured cabling system to ISO 11801 2nd edition. Cross-referenced to European CENELEC and American Standards [Текст] / B.J. Elliott. — England, Cambridge: Woodhead publishing Limited, 2002.

24. *Барабаш П.* Развитие современных мультисервисных сетей на базе интерактивных систем кабельного телевидения [Текст] / П. Барабаш, О. Махровский // Журнал «Broadcasting, телевидение и радиовещание». — 2003. — № 2. — С. 7–12.

25. *Енютин К.А.* Развитие сервисных услуг на базе мультимедийной интерактивной кабельной системы [Текст] / К.А. Енютин, В.М. Артюшенко // Электротехнические и информационные комплексы и системы. — 2008. — Т. 4. — № 4. — С. 41–45.

26. *Гальперович Д.* Мультимедийные кабельные системы [Текст] / Д. Гальперович // Журнал сетевых решений. LAN. — 2003. — № 5. — С. 24–29.

27. *Гальперович Д.* Мультимедийная проводка с полосой 1200 МГц [Текст] / Д. Гальперович // Журнал сетевых решений. LAN. — 2006. — №1. — С. 42–49.

28. European Standard CENELEC EN 50083-1. Cabled Distribution Systems for Television, Sound and Interactive Multimedia Signals Part 1: Safety Requirements. — 1993.

29. European standard CENELEC EN 50083-5. Cable Networks for Television Signals, Sound Signals and Interactive Services. Part 5: Headend Equipment 1994.

30. CENELEC EN 50083-6. Cable Networks for television signals, sound signals and interactive services. — 1994.

31. *Гальперович Д.* Самая широкополосная проводка [Текст] / Д. Гальперович // Журнал сетевых решений. LAN. — 2006. — № 8. — С. 42–48.

32. ГОСТ Р 53246-2008. «Информационные технологии. Системы кабельные структурированные. Проектирование основных узлов системы. Общие требования». — М.: Стандартинформ, 2009. — 77 с.

33. ГОСТ Р 53245-2008 «Информационные технологии. Системы кабельные структурированные. Монтаж основных

узлов системы. Методы испытания». — М.: Стандартиформ, 2009. — 39 с.

34. *Мацкевич Д.* Есть российский стандарт СКС [Текст] / Д. Мацкевич // Журнал сетевых решений. LAN. — 2010. — № 1. — С. 34–37.

35. *Семенов А.Б.* Есть мнение [Текст] / А.Б. Семенов // Вестник связи. — 2011. — № 2. — С. 25.

36. ГОСТ Р 54429-2011 «Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия». — М.: Стандартиформ. — 2009. — 78 с.

37. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. — М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. — 54 с.

38. ОСТН-600-2001 «Отраслевые строительно-технологические нормы на монтаж сооружений и устройств связи, радиовещания и телевидения Минсвязи России». — М.: ССКТБ ТОМАСС. — 2001. — 234 с.

39. *Dold R.* RJ45 — The standard-compliant all-round plug for requirements in industry and buildings. Whitepaper [Текст] / R. Dold. — Фирменный материал компании *MetzConnect*. — 2013. — 8 р.

40. *Семенов А.Б.* Оптические инсталляционные устройства [Текст] / А.Б. Семенов // Журнал сетевых решений. LAN. — 2000. — № 7–8. — С. 48–56.

41. Патент 8948601 США / МКИ H04B10/114 / Method and system for indoor wireless optical links [Текст] / A. Shar, D. Kin, B. Glushko, E. Ven-eshay; заявл. 10.07.2012; опубли. 03.02.2015. — 23 р.

42. РД 45.120-2000. Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети. НТП 112-2000.

43. ГОСТ 15845-80 «Изделия кабельные. Термины и определения. Государственный комитет СССР по стандартам». — М.: Издательство стандартов, 1980. — 29 с.

44. *Engels Y.* Alien-Crosstalk-Schutz per Konstruktion [Текст] / Y. Engels // LANline. — 2007. — № 2. — С. 52–54.

45. *Семенов А.Б.* Дистанционное питание по кабельным трактам СКС [Текст] / А.Б. Семенов // Журнал сетевых решений. LAN. — 2005. — Т. 11. — № 2. — С. 34–43.

46. Патент 8395 045 США/МКИ Н01В 7/17 / Communication cable comprising electrically discontinuous shield having nonmetallic appearance [Текст] / D.C. Smith, J.S. Tyler, C. McNut, P.E. Neveux; заявл. 03.03.2011; опубл. 12.03.2013. — 12 р.

47. Патент 5 399 813 США/МКИ Н01В 11/02 / Category 5 telecommunication cable [Текст] / D.B. McNeill, J.B. Kilpatrick; заявл. 24.06.1993; опубл. 21.03.1995. — 6 р.

48. Патент 4 644 099 США/МКИ Н01В 7/08 / Undercarpet cable [Текст] / P.D. Vasconi; заявл. 11.04.1985; опубл. 17.02.1987. — 4 р.

49. Патент 6 566 607 США/МКИ Н01В 11/00 / High speed data communication cable [Текст] / J.H. Walling; заявл. 05.10.1999; опубл. 20.05.2003. — 11 р.

50. Патент 7 449 638 США/МКИ Н01В 11/02 / Twisted pair cable having improved crosstalk isolation [Текст] / W.T. Clark, J.J. Dellagala, R. Allen, M.J. Rubera; заявл. 08.12.2006; опубл. 11.11.2008. — 28 р.

51. Патент 6 303 867 США/МКИ Н01В 11/02 / Shifted-plane core geometry cable [Текст] / W. Clark, J. Dellagala, K. Consalvo; заявл. 29.08.2000; опубл. 16.10.2001. — 17 р.

52. *Большаков С.* Инфраструктурное обеспечение беспроводных решений нового поколения [Текст] / С. Большаков, Р. Китаев // Журнал сетевых решений. LAN. — 2014. — № 04. — С. 30–38.

53. *Семенов А.Б.* Целесообразность введения нового подкласса симметричных горизонтальных кабелей [Текст] / А.Б. Семенов // Кабель-news. — 2013. — № 1. — С. 54–57.

54. ГОСТ 15845-80 «Изделия кабельные. Термины и определения. Государственный комитет СССР по стандартам». — М.: Издательство стандартов, 1980. — 29 с.

55. Патент 6 743 983 США/ МКИ H02G 15/100 / Communication wire [Текст] / D. Wekhorst, S. Juengst, S. Dickman, R. Kenny; заявл. 16.12.2002; опубл. 1.06.2004. — 9 р.

56. Патент 8 245 397 США/ МКИ H04R 43/00 / Crush resistant conductor insulation [Текст] // G. Thuot, R.T. Young, J.L. Netta; заявл. 6.08.2010; опубл. 21.08.2012. — 14 р.

57. Патент 7 993 568 США/ МКИ B29C 59/00 / Profiled insulation LAN cables [Текст] / G. Heffner; заявл. 27.10.2005; опубл. 9.08.2011. — 11 р.

58. ГОСТ Р 52266-2004 «Кабельные изделия. Кабели оптические. Общие технические условия». — М.: ИПК Издательство стандартов. — 2004. — 19 с.

59. Кабельная система МРО. Справочное руководство. — Tyco Electronics Corporation, 2010. — 25 с.

60. Семенов А.Б. Визуальный контроль качества оптических трактов СКС [Текст] / А.Б. Семенов // Журнал сетевых решений. LAN. — 2004. — № 8. — С. 46–54.

61. Incites T11: Fibre Channel standards, Infiniband TA: Infiniband standards, IEEE 802.3: Gigabit Ethernet standards.

62. Семенов А.Б. Совершенствование многомодовой волоконной оптики для СКС [Текст] / А.Б. Семенов, Б.Н. Фомичев // Вестник связи. — 2015. — № 3. — С. 32–34.

63. Аббасова Т.С. Современные информационные технологии для анализа помехозащищенности волоконно-оптических коммуникаций [Текст] / Т.С. Аббасова // Информационно-технологический вестник. — 2016. — № 4(10). — С. 3–17.

64. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 313 (ред. от 17.06.2015) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020 годы)».

65. XXVII Международный конгресс «Безопасность и качество в сфере ИКТ». 25.03.2015. [Электронный ресурс]. — URL: www.makb.ru/news/010.html (дата обращения 09.12.2018).

66. *Гальперович Д.* Оптическая кабельная система для ЦОД – переход от 10 к 40 Гбит [Текст] / Д. Гальперович // Журнал сетевых решений. LAN. – 2012. – № 5. – С. 9–14.

67. *Семенов А.Б.* Модульно-кассетные волоконно-оптические решения с улучшенными параметрами [Текст] / А.Б. Семенов, М. Журавлева, И. Сидоркина // Журнал сетевых решений. LAN. – 2014. – № 3. – С. 49.

68. Исследование волоконно-оптических инфокоммуникаций для передачи, обработки, хранения и защиты больших объемов информации: отчет о НИР, выполняемой в рамках тематического плана по заданию Минобрнауки РФ в 2017 году, фундаментальное исследование, № госрегистрации АААА-А17-117020210028-6 / рук. и отв. исп. НИР Т.С. Аббасова. – М.: ФГБОУ ВПО «МГУС», 2017. – 69 с.

69. ГОСТ Р 56087.3-2014 «Система национальных стандартов в области качества услуг связи. Качество услуг связи. Нормативные значения показателей качества услуг связи на этапах взаимодействия с потребителем».

70. *Аббасова Т.С.* Оптимизация и стандартизация оптической среды взаимодействия вычислительных комплексов [Текст] / Т.С. Аббасова // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2017. – № 1. – С. 86–99.

71. *Аббасова Т.С.* Усовершенствование способа построения стационарной оптической линии связи [Текст] / Т.С. Аббасова, Э.М. Аббасов, А.П. Мороз [и др.] // Двойные технологии. – 2017. – № 1 (78). – С. 36–41.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	6
1.1. ГЛАВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ МКС.....	6
1.1.1. Стандарты США и их структура.....	9
1.1.2. Нормативные документы международных организаций.....	12
1.1.3. Прочие зарубежные нормативные документы.....	13
1.1.4. Отечественная нормативная база.....	15
1.2. Определение МКС и ее основные свойства.....	16
1.2.1. Универсальность.....	17
1.2.2. Модульность.....	18
1.2.3. Избыточность.....	20
1.3. Структурные особенности МКС.....	21
1.3.1. Варианты организации МКС.....	21
1.3.2. Топология МКС.....	24
1.4. Технические помещения.....	26
1.4.1. Аппаратная.....	26
1.4.2. Кроссовые.....	28
1.4.3. Входной кросс.....	29
1.4.4. Распараллеливание и совмещение функций однородных технических помещений.....	31
1.4.5. Соединители.....	33
1.5. Состав МКС и ее подсистемы.....	34
1.5.1. Назначение подсистем.....	34
1.5.2. Подсистема внешних магистралей.....	37
1.5.3. Подсистема внутренних магистралей.....	39
1.5.4. Горизонтальная подсистема.....	41
1.6. Дополнительные укрупненные функциональные модули.....	42
1.7. Функциональные компоненты и элементная база для построения МКС.....	44
1.7.1. Состав МКС.....	44
1.7.2. Элементная база МКС.....	47
1.7.3. Предпочтительные области применения разрешенных типов кабельных изделий МКС.....	50
1.8. Понятие классов и категорий.....	53
1.8.1. Классы приложений и линий МКС, категории кабелей, шнуров и разъемов.....	53
1.8.2. Классы и категории электропроводной подсистемы.....	56
1.8.3. Классы и категории волоконно-оптической подсистемы.....	58
1.9. Принципы формирования симметричных линий различных классов.....	60
1.9.1. Принцип соответствия класса и категории и особенности его применения.....	60
1.9.2. Принцип слабого звена электропроводной подсистемы.....	62

1.10. Прочие варианты построения физической части нижнего уровня информационных систем.....	65
1.10.1. Концепция Direct Connection.....	65
1.10.2. Концепции на основе активного сетевого оборудования.....	67
<i>Вопросы и задания</i>	68

Глава 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ МКС70

2.1. Симметричный кабель как основа горизонтальной подсистемы МКС.....	70
2.2. Расчет плоских кабелей.....	71
<i>Вопросы и задания</i>	76

**Глава 3. КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МКС78**

3.1. Разъемные соединители для гибридных кабелей.....	78
3.1.1. Истоки возникновения проблемы	78
3.1.2. Особенности гибридных разъемов	79
3.2. Коммутационные панели	82
3.2.1. Панели с переменным углом установки лицевой пластины корпуса.....	82
3.2.2. Панели с реверсивным подключением коммутационных шнуров.....	85
3.2.3. Угловые панели с уменьшенной монтажной глубиной.....	85
<i>Вопросы и задания</i>	89

**Глава 4. ШНУРОВЫЕ И ПРЕДОКОНЦОВАННЫЕ СИММЕТРИЧНЫЕ
КАБЕЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МКС91**

4.1. Шнуровые изделия общего назначения.....	91
4.1.1. Разновидности коммутационных шнуров.....	91
4.1.2. Упаковка коммутационных шнуров	95
4.2. Специальные разновидности шнуров по исполнению.....	97
4.2.1. Плоские шнуровые кабели	97
4.2.2. Кабель консолидационной точки.....	98
4.3. Коммутационные шнуры для систем интерактивного управления, оптической идентификации и оптической трассировки	100
<i>Вопросы и задания</i>	103

**Глава 5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ МКС..... 105**

5.1. Анализ факторов, влияющих на помехозащищенность оптических интерфейсов МКС	105
<i>Вопросы и задания</i>	113

**Глава 6. МУЛЬТИСЕРВИСНЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ДЛЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ АРХИТЕКТУР 115**

6.1. Развитие централизованной оптической архитектуры МКС для вычислительных комплексов	115
6.2. Схема параллельной передачи для развития архитектуры централизованных оптических систем	124

6.3. Модульно-кассетные решения для развития архитектуры централизованных оптических систем	128
6.4. Оптимизация и стандартизация оптической среды МКС.....	133
6.5. Схемные решения для улучшения качества оптических коммуникаций.....	141
6.5.1. Прямое подключение серверов к магистральному коммутатору.....	141
6.5.2. Усовершенствование способа построения стационарной оптической линии	154
<i>Вопросы и задания</i>	162
Список используемой литературы	164

По вопросам приобретения книг обращайтесь:
Отдел продаж «ИНФРА-М» (оптовая продажа):
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел. (495) 280-15-96; факс (495) 280-36-29
E-mail: books@infra-m.ru

•
Отдел «Книга—почтой»:
тел. (495) 280-15-96 (доб. 246)

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 2 ст. 1
----------------	--

Учебное издание

**Артюшенко Владимир Михайлович,
Семенов Андрей Борисович,
Аббасова Татьяна Сергеевна,**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Оригинал-макет подготовлен в НИЦ ИНФРА-М
ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29
E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 25.00.2016. Формат 60×90/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Newton. Печать цифровая. Усл. печ. л. 0,0.
Тираж 500 экз. (I – 50). Заказ № 00000

ТК 84300-971560-000018

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29