

WHITE PAPER

12 2020

БЛИЖАЙШИЕ И СРЕДНЕСРОЧНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ПОДСИСТЕМЫ СКС



Solution Eurolan Europe AB 2006—2020

Ближайшие и среднесрочные перспективы развития волоконно-оптической подсистемы СКС

Физический уровень информационно-телекоммуникационных систем (ИТС) может быть построен на различных принципах. Известно привлечение для этой цели беспроводных решений (оборудования WiFi, а также атмосферной оптики), силовой проводки и телевизионных коаксиальных кабелей. Однако в большинстве случаев для этого применяются кабельные каналы связи, пассивная часть которых формируется с использованием ресурсов структурированной кабельной системы (СКС).

Сложившееся положение дел определяется различными причинами. К таковым относятся, например, сильное влияние местных условий на качество связи (системы WiFi и беспроводной оптики), неудовлетворительная эксплуатационная гибкость решения (широкополосные сети на

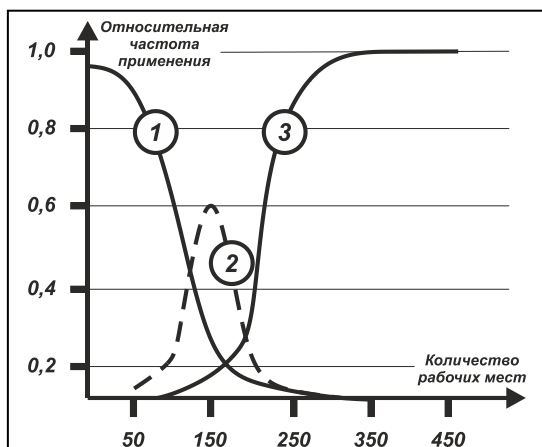


Рис. 1. Относительная частота применения различных вариантов построения офисных СКС в зависимости от количества обслуживаемых рабочих мест:

1 – централизованные структуры без выделенной магистральной подсистемы; 2 – подсистема внутренних магистралей только на кабелях из витых пар; 3 – магистральная подсистема с использованием оптики

основе коаксиальной и/или гибридной волоконно-коаксиальной сети кабельного телевидения) или недостаточные с практической точки зрения дальность и скорость передачи (системы PLC, использующие силовую проводку). В результате все перечисленные решения, несмотря на возможность реализации на серийном оборудовании, по существу, носят нишевый характер. В дальнейшем они не рассматриваются.

По признаку применяемой элементной базы СКС в общем случае делится на медножильную (электропроводную) и волоконно-оптическую подсистемы, причем последняя по умолчанию предполагает применение кварцевых волоконных световодов. Другие разновидности элементной базы (кварц-полимерные и полимерные волокна, а также коаксиальные кабели) допустимы для применения в некоторых специальных областях (домашние сети, промышленные СКС, соединительные линии к ЦОД) и ниже не принимаются во внимание.

Действующие нормативные документы СКС считают медножильную и волоконно-оптическую технику равноправными и, за исключением предельной протяженности канала связи, не выдвигают никаких специальных требований в отношении их использования. Ответственность за

выбор одной из них или обеих сразу в конкретном проекте возлагается на его автора.

Аналогично иным компонентам ИТС оптическая и электропроводная подсистемы информационной проводки постоянно совершенствуется как в части технических характеристик, так и на системном уровне. С учетом изначально заложенной в устройство СКС большой продолжительности эксплуатации в качестве основы ИТС целесообразно выбирать такую

кабельную систему, которая в состоянии полноценно, без морального устаревания выполнять свои функции на протяжении всего ожидаемого периода эксплуатации.

Производящие компании с целью стимуляции спроса на свою продукцию и в естественном стремлении к опережающему захвату максимально возможной доли перспективных сегментов рынка постоянно анонсируют различные новинки. В таких условиях понимание тенденций развития СКС помогает:

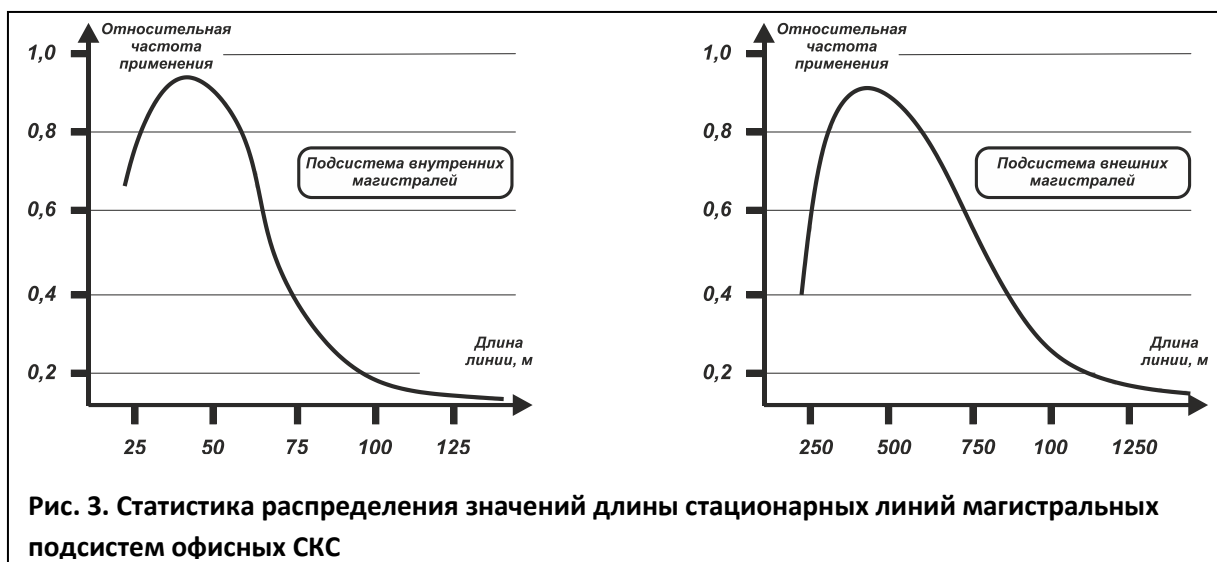


Рис. 2. Типичные относительные объемы ресурсов, необходимых для создания отдельных подсистем

- надежно выделить действительно полезные предложения на фоне обычной рекламной шумихи;
- сделать правильный выбор применяемого оборудования и системных решений, закладываемых в проект.

Области применения волоконно-оптической техники в проектах СКС

Оптическая подсистема присутствовала в СКС с самых первых лет существования этого технического направления. Главным фактором, способствовавшим ее введению в перечень разрешенных, стали такие сильные стороны элементной базы, положенной в ее основу, как



сочетание широкополосности с малым затуханием, нечувствительность к электромагнитным помехам и эффективная гальваническая развязка соединяемых пунктов. Как видно из **Рис. 1**, в настоящее время волоконно-оптическая техника применяется в большинстве офисных информационных кабельных систем даже среднего масштаба, обслуживающих пару сотен пользовательских рабочих мест. Заметно большей популярностью оптика пользуется в ЦОД, что объясняется отсутствием альтернативы на скоростях передачи 40 Гбит/с и выше.

Примерно до середины 90-х гг. прошлого столетия считалось, что в связи с ростом скоростей передачи данных электропроводная элементная база будет постепенно утрачивать значение и кабельная часть физического уровня ИТС объектов недвижимости со временем станет полностью волоконно-оптической. Однако разработка электропроводных системных решений и элементной базы сначала категории 6, а затем и 6А опровергла прогнозы и ожидаемого вытеснения витопарных линий из широкой инженерной практики построения нижнего уровня информационных систем не произошло. Областью применения линий волоконно-оптической связи оставались межэтажные и кампусные магистральные линии, позволяющие полноценно реализовать их преимущества.

Стандарты не запрещали использование волоконно-оптической техники также для построения горизонтальной подсистемы. Тем не менее дошедшие до практической реализации проекты носили единичный характер. Не слишком сильно изменили ситуацию созданные в середине 90-х гг. централизованная оптическая архитектура, а также получившие в последние годы незначительное распространение за океаном пассивные оптические сети PoLAN.

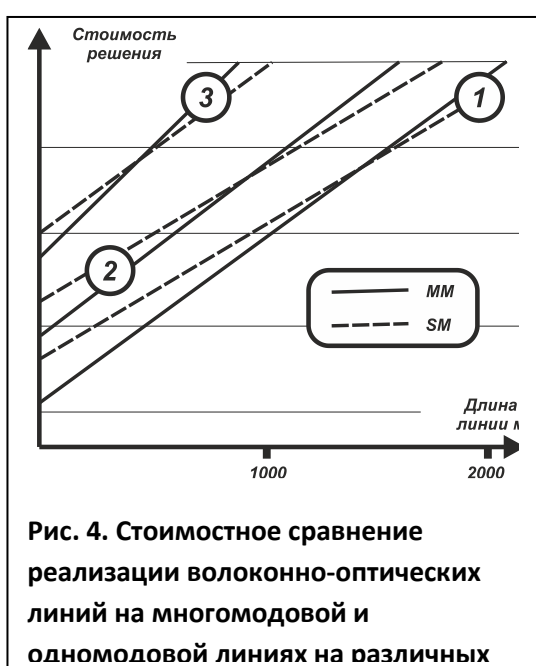
Причина относительно небольших объемов применения волоконно-оптической элементной базы в проектах ИТС носит комплексный характер и связана с тем, что:

- основная масса ресурсов, требуемых для реализации информационной проводки, должна выделяться на горизонтальную подсистему (**Рис. 2**), где господствуют витопарные решения; в результате объем ресурсов, выделяемых на реализацию волоконно-оптической подсистемы, не превышал 10–15 % от общего бюджета проекта;

- параметры широкополосности волоконно-оптических линий избыточны на уровне горизонтальной подсистемы – подавляющему большинству потребителей ее ресурсов не требуется высокая скорость передачи информации, т. к. для различных терминальных приборов вновь вводимых подсистем ИТС в этом нет необходимости, а «белковые» пользователи просто физически не в состоянии полноценно воспринимать объем данных, поступающий к ним со скоростью свыше 50 Мбит/с;
- волоконно-оптические линии не поддерживают технологию PoE, столь важную для широкой группы современных терминальных устройств, а существующие в этой области разработки не позволяют обеспечить мощности свыше 1 Вт.

Ситуация радикально меняется только в ЦОД, где указанные ограничения отсутствуют физически, а от СКС требуется в первую очередь высокая скорость передачи данных.

Главные направления наращивания технико-экономической эффективности волоконно-оптической подсистемы



СКС – сложный дорогостоящий технический объект, от которого в целом и от волоконно-оптической подсистемы как его составной части требуется высокая технико-экономическая эффективность. Она достигается различными способами.

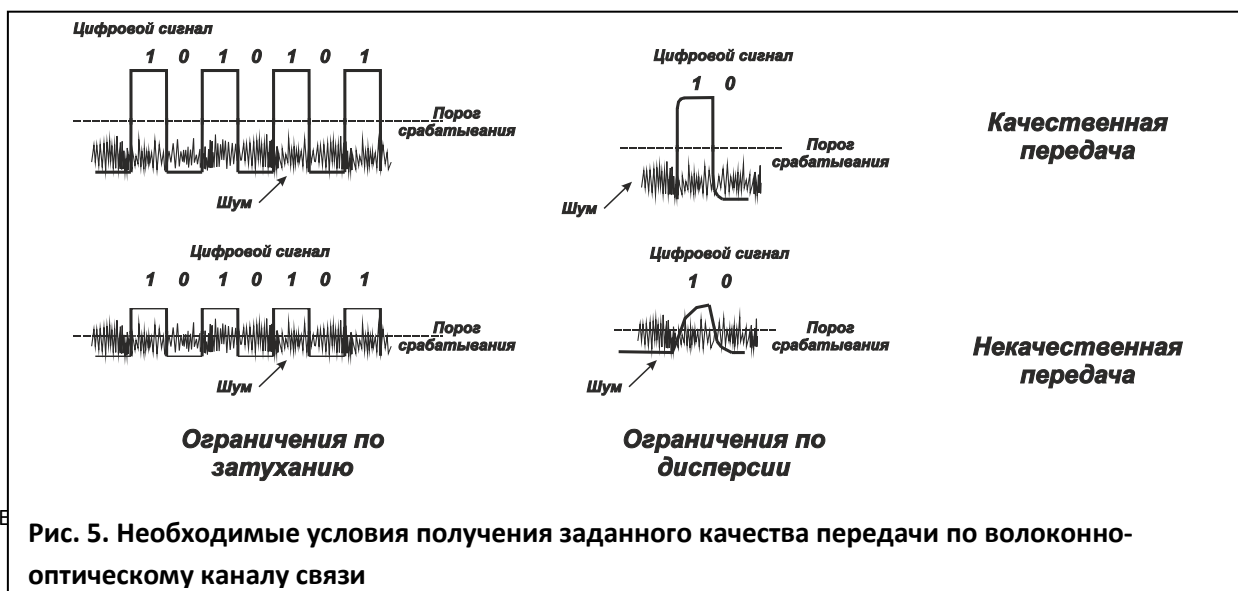
В основу методов организационного решения этой задачи положены максимально полная реализация рассматриваемого сегмента проводки на типовой для телекома одномодовой элементной базе, а также применение используемого на сетях связи общего пользования тестирующего и технологического оборудования.

Подобный подход выгоден с той точки зрения, что:

- обеспечивает столь важный для промышленности рост объемов выпуска однотипной элементной базы и уровень загрузки производственных мощностей;
- позволяет при выполнении некоторых

достаточно мягких дополнительных условий обеспечить «бесшовный» переход между ИТС и сетями связи общего пользования.

В процессе оптимизации следует обязательно учитывать, что рыночный сегмент локальных



ИТС, хотя и объективно обладает меньшей емкостью по сравнению с классическими телекоммуникациями, не может считаться исчезающе малым на их фоне. Отсюда прямо вытекает необходимость полноценного учета специфики таких ИТС на всех уровнях.

Главные средства минимизации затрат на компонентном уровне оптической подсистемы:

- применение многомодовой элементной базы,
- работа в первом окне прозрачности 850–950 нм.

Невозможность отказа от многомодовой элементной базы

Многомодовая оптика допускалась для применения в СКС уже первой редакцией стандартов 1991 года. Одномодовая техника, которая доминирует на сетях связи общего пользования, была введена в перечень разрешенных в 1995 году. С учетом меньших диаметра сердцевины и числовой апертуры одномодового волокна его прямое соединение с многомодовым принципиально невозможно без недопустимо больших потерь. В этой ситуации становится актуальным вопрос о переводе всей оптической подсистемы СКС на единую элементную базу, главным претендентом на которую естественным образом становится одномодовая техника.

Таблица 1. Средняя стоимость оптических приемопередатчиков (по данным BICSI за 2019 год)

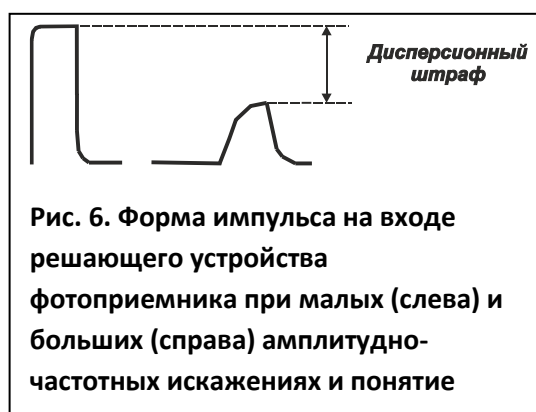
Тип модуля	1G SFP	10G SFP+	40G QSFP+	100G QSFP28
ММ, долл. США	6	16	59	99
SM, долл. США	7	34	279	799

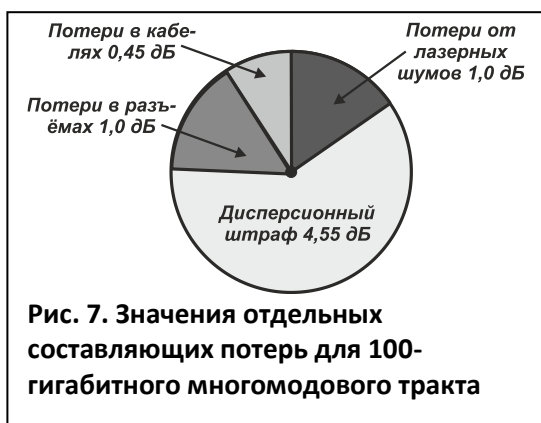
Магистральные тракты офисных АТС, в первую очередь подсистемы внутренних магистралей, отличаются сравнительно малой протяженностью. В качестве иллюстрации этого положения достаточно сослаться на статистику (Рис. 3).

С функциональной точки зрения одномодовые и многомодовые линии СКС идентичны. Некоторая объективная эксплуатационная прихотливость одномодовой техники после появления изгибостойких волокон и накопления системными администраторами опыта работы с ней уже не рассматривается как серьезный ограничивающий фактор. Прямое следствие этого – фокусная область применения оптических линий различных видов определяется преимущественно экономикой решения в целом. Последняя базируется на нахождении точки равновесия в части протяженности линии, определяемой сочетанием меньшей стоимости одномодового оптического кабеля и дороговизны одномодовых приемопередатчиков (Таблица 1). При этом по мере роста скоростей передачи происходит неизбежный сдвиг точки равновесия в сторону меньшей длины, определяемый ростом затрат на электронику интерфейса.

Сопоставление Рис. 3 и Рис. 4 показывает, что в современных СКС:

- потенциальные объемы применения одномодовой и многомодовой техники по крайней мере сопоставимы, т. е. стратегия перехода на единую элементную базу во всей оптической подсистеме СКС на текущем этапе развития техники невыгодна;
- оптическую часть подсистемы внутренних магистралей целесообразно строить на многомодовой технике, тогда как область применения одномодовых линий – подсистема внешних магистралей.



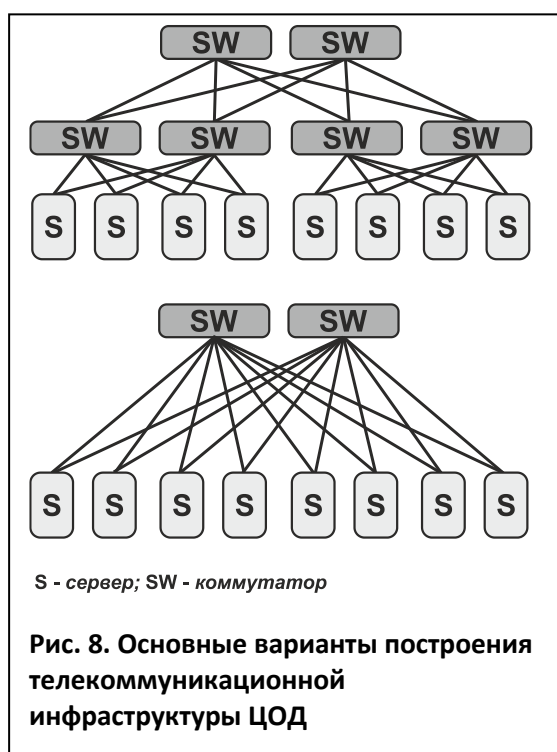


покрытий и покровов.

В ЦОД, средняя протяженность наиболее массовых линий которых почти в два раза меньше офисных, положение об экономической нецелесообразности перехода на одномодовую оптику действует еще жестче. Предполагаемый отказ от многомодовых решений вследствие больших проблем построения в первую очередь передатчиков на скорости 800 Гбит/с из-за ограниченного быстродействия VCSEL-лазера:

- ожидается, судя по темпам роста скоростей, не ранее конца текущего десятилетия (сейчас в массовой инженерной практике только начинается освоение скоростного диапазона 200 Гбит/с);
- может, так или иначе, не получить доминирующего характера из-за наличия альтернативных схем построения приемопередатчиков, использующих параллельную передачу по схеме пространственного мультиплексирования, для которых вполне достаточно возможностей современных дешевых лазеров VCSEL.

Направления совершенствования многомодовой оптики



С точки зрения экономики позиции одномодовой техники в офисных СКС не выглядят безальтернативными также по следующим причинам.

- Меньшая протяженность линий подсистемы внутренних магистралей, прямо определяющая величину затрат на их реализацию, компенсируется на порядок большей их количественной потребностью.
- Ценовой выигрыш от более дешевого одномодового волокна существенно компенсируется необходимостью использования в кабелях внешней прокладки полноценных довольно дорогих защитных

От волоконно-оптического канала связи вне зависимости от его назначения требуется в первую очередь заданное качество функционирования. Его достижение требует одновременного выполнения двух основных условий (**Рис. 5**):

- соответствия нормам затухания сигнала на участке от точки ввода излучения в волокно до окна фотоприемника;
- отсутствия сильных амплитудно-частотных искажений.

Последние начиная с определенной протяженности линии приводят к недостатку ширины полосы пропускания, что сопровождается уменьшением амплитуды передаваемого импульса просто в силу «расползания» его фронтов. В связи со сложностью измерения дисперсионных характеристик оптических каналов связи в полевых условиях считается, что необходимые частотные свойства отдельных компонентов тракта передачи гарантируются применяемой элементной базой, а в процессе выполнения инженерных расчетов определяемые ими искажения учитывают так

называемым дисперсионным штрафом (**Рис. 6**).

Значение отношения сигнала к шуму на входе решающего устройства приемника сетевого интерфейса зависит от следующих основных факторов:

- потерь в линейном и шнуровых кабелях;
- потерь в разъемных соединителях и неразъемных сростках;
- шумов, неизбежно возникающих при лазерной передаче (модовые шумы, RIN-шумы и аналогичные им);
- дисперсионного штрафа.

Типичные соотношения этих составляющих при 150-метровой протяженности линии, предназначенной для передачи со скоростью 100 Гбит/с и выше, приведены на **Рис. 7**. При этом темпы увеличения дисперсионного штрафа составляют примерно 5 дБ/км, что в полтора – два раза выше нормируемого стандартами коэффициента затухания волоконно-оптического кабеля в экономически выгодном спектральном диапазоне первого окна прозрачности 850–950 нм.

Необходимость наращивания коэффициента широкополосности многомодового волокна

ЦОД, в котором внутренняя телекоммуникационная инфраструктура в основной массе случаев физически не может быть реализована без обращения к оптической подсистеме СКС,

Таблица 2. Стандартизованные значения длины многомодовых трактов на различных скоростях передачи, м

Скорость, Гбит/с	10	40	100	200
Волокно OM3, м	300	100	100	70
Волокно OM4, м	550	150	150	100

всегда отличается геометрической компактностью на уровне отдельного аппаратного зала. Причина этого заключается в применяемой в нем системе воздушного охлаждения, которая выполняет утилизацию тепла, выделяемого при работе многочисленных серверов и сетевого оборудования. По мере наращивания

количества стоек эффективность системы падает, а при достижении некоторого предела возникает необходимость перехода на многоязальную структуру объекта.

Предельная протяженность многомодовых трактов оптической подсистемы была в значительной мере обусловлена соображениями необходимости обслуживания потребностей аппаратного зала типичного ЦОД. В зависимости от категории применяемого волокна она задавалась нормативными документами в интервале от 70 до 150 м (**Таблица 2**). В последние годы, однако, четко обозначилась тенденция к увеличению средней протяженности тракта. Главная причина – отказ от трехуровневой схемы построения телекоммуникационной части

Таблица 3. Фактический и прогнозный годовые объемы глобального трафика облачных структур, зеттабайт (по данным BICSI)

Год	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Объем трафика	6,0	8,2	10,6	13,1	16,1	19,5

информационной системы с переходом на структуру «толстого дерева» (англ. Fat tree), которая схематически изображена в нижней части **Рис. 8**. Техническая выгода от ее применения состоит в том, что за счет исключения дополнительного

переприема появляется возможность существенно снизить задержку передачи сигнала. Это прямо и положительно влияет на такой ключевой для оценки качества функционирования ЦОД параметр, как время формирования отклика на поступающий запрос в условиях постоянно растущего с высокими темпами объема данных, обрабатываемых в облаке (**Таблица 3**).

Увеличение протяженности тракта невозможно без решения проблемы дисперсионного

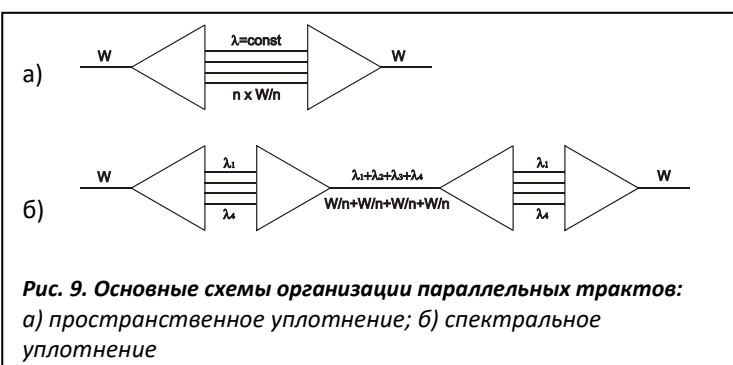


Рис. 9. Основные схемы организации параллельных трактов:

а) пространственное уплотнение; б) спектральное уплотнение

штрафа, который, согласно диаграмме **Рис. 7**, выступает основным источником потерь мощности передаваемого сигнала. Величина дисперсионного штрафа зависит от

тактовой частоты линейного сигнала. Поэтому для решения этой задачи могут привлекаться:

- переход на экономичные блочные коды вида 64B66B, тактовая частота которых всего на 3 % превышает информационную частоту передачи;
- применение линейных многоуровневых кодов типа PAM-4 (передача двух бит информационного сигнала за один такт линейного);
- использование различных видов мультиплексирования (подробно рассмотрено далее);
- реализация оптической подсистемы на волокне с большим коэффициентом широкополосности.

При этом резервы блочных кодов для снижения тактовой частоты уже практически исчерпаны, а техника многоуровневого кодирования в этой части довольно сложна для массового внедрения из-за высокой нестабильности энергетической характеристики (зависимости мощности излучения от прямого тока через лазерный диод).

Перечисленные выше механизмы независимы друг от друга. Поэтому при необходимости достижения максимального эффекта они без ограничения могут использоваться совместно.

Оценка скорости передачи по одному каналу для волокон категорий OM4 и OM5 дает следующее: $(4,7 \text{ ГГц} \times \text{км}/0,15 \text{ км}) \times 2 \text{ бита за счет кода PAM-4} = 62,7 \text{ Гбит/с}$.

Можно предположить, что применением волокон с большим коэффициентом широкополосности, а также линейных кодов класса PAM-8 и аналогичных им скорость передачи можно довести до 100 Гбит/с даже без использования более быстродействующей электроники. Полученные значения удовлетворяют не более чем потребности сегодняшнего дня, а дальнейшее значимое увеличение возможно только при использовании схемы параллельной передачи.

Варианты организации параллельной передачи

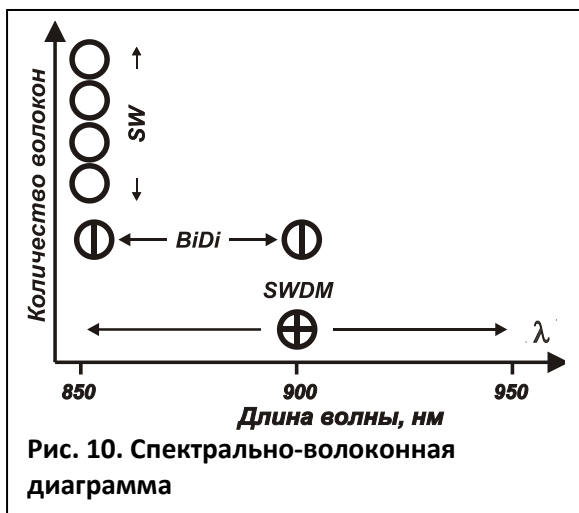
Идея параллельной передачи заключается в разбиении исходного информационного потока на несколько составляющих, каждая из которых передается с меньшей скоростью по

индивидуальному субканалу. Последний может быть реализован различными способами, в современных ИТС для этого используется пространственное или спектральное мультиплексирование (Рис. 9). В первом случае применен принцип «одно волокно на субканал в одном направлении с одинаковыми длинами волн», во втором – «одна длина волны на субканал с передачей в одном направлении в одном волокне».

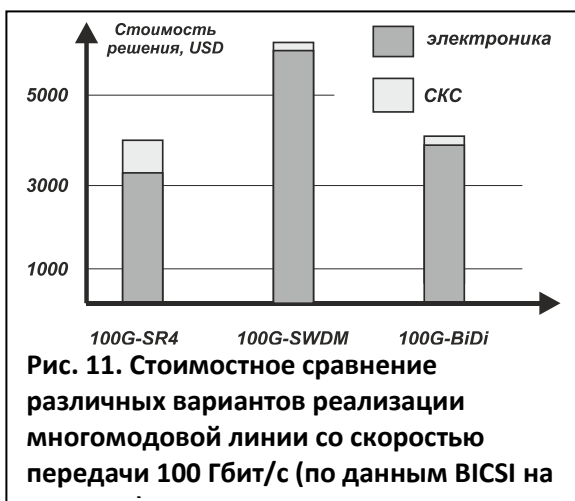
Из соображений упрощения электроники приемопередатчиков количество субканалов выбирается равным 2^n , где $n > 1$ – натуральное число. С учетом этой особенности для получения традиционных для ИТС объектов недвижимости «круглых» значений скорости в качестве базовой тактовой частоты гигабитного диапазона скоростей принята близкая к предельной по электронике $f = 25 \text{ ГГц}$. Это означает появление ряда нормированных скоростей: 25, 50, 100, 200, 400 и 800 Гбит/с – вместо изначально принятой для нижней части этого диапазона «двойки» 40 и 100 Гбит/с.

Для параллельной передачи могут быть использованы три основные схемы (Рис. 10):

- классическое пространственное мультиплексирование;



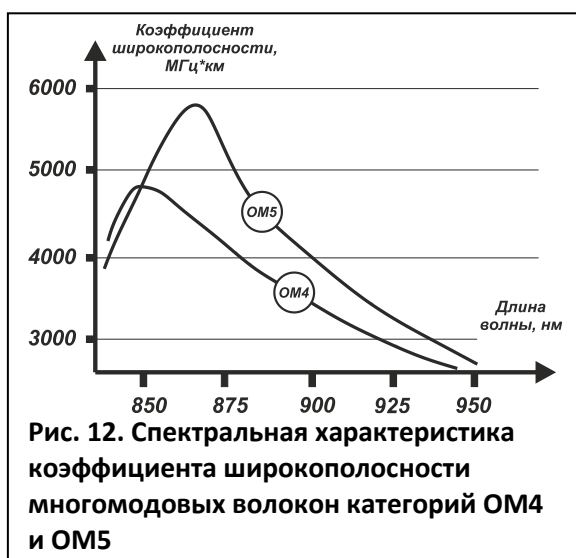
тактовой частоты гигабитного диапазона скоростей принята близкая к предельной по электронике



- BiDi (сочетание пространственного и спектрального мультиплексирования);
- классическое спектральное мультиплексирование.

Из-за высокой стоимости элементов разделения отдельных спектральных субканалов и связанной с этим высокой стоимости сетевых трансиверов (**Рис. 11**) схема спектрального уплотнения при прочих равных условиях как средство увеличения скорости передачи по каналу связи применяется в последнюю очередь.

С учетом возможности применения стандартизированной 4-канальной схемы SWDM на скоростях вплоть до 800 Гбит/с при максимальной скорости по одному спектральному каналу 50 Гбит/с СКС в горизонте планирования приблизительно до 2030 года должна оптимизироваться для применения 8-волоконных трактов (схема Base8).



Для этого привлекаются типовые технологические приемы, дополненные некоторым ужесточением производственных допусков в части геометрии профиля показателя преломления.

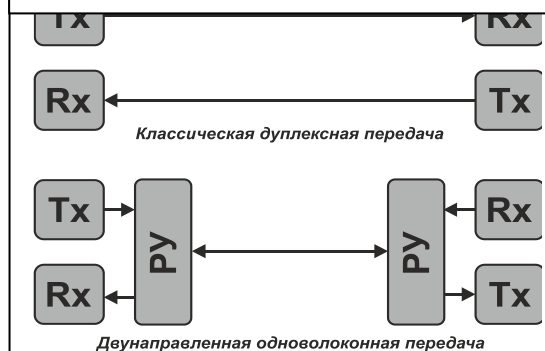
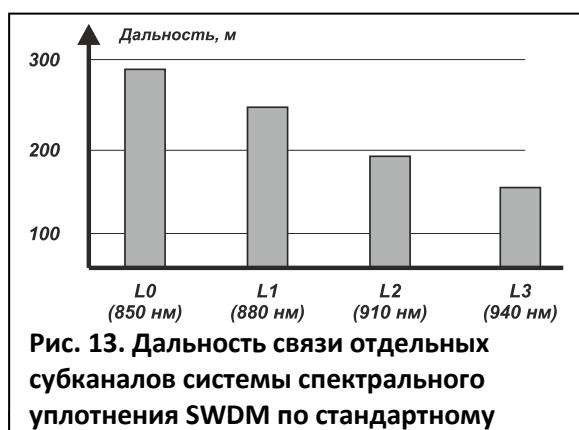


Рис. 14. Основные варианты построения линий волоконно-оптической связи:
 Rx – передатчик; Tx – приемник; PУ – (оптическое) развязывающее устройство

Широкополосное многомодовое волокно категории OM5 и его перспективы

Многомодовое волокно категории OM5 разработано специально для применения в системах коротковолнового спектрального уплотнения SWDM. Обратно совместимо с волокном OM4 по ключевым характеристикам, отличаясь от него главным образом нормированием параметров в спектральном диапазоне 850–953 нм и ощутимо превосходя своего предшественника по коэффициенту широкополосности на длинах волн свыше 850 нм. Последнее достигнуто смещением максимума ширины полосы пропускания в сторону больших длин волн, что схематически показано на **Рис. 12**.

Сильная сторона SWDM – возможность работы реализующего его оборудования по световодам категории OM4. Это свойство определяется тем, что они изготавливаются по идентичной с OM5 технологии, а все отличия сосредоточены только в области концентрации легирующих добавок, с помощью которых производят формирование профиля показателя преломления.

Улучшенные дисперсионные параметры волокна OM5 в широкой спектральной полосе позволяют по меньшей мере в 1,5 раза нарастить техническую эффективность многомодовых трактов OM5 по сравнению с их аналогами на волокне OM4, что делает их более перспективными в новых инсталляциях.

Одним из потенциальных направлений решения задачи увеличения предельной протяженности оптического тракта может стать

дальнейшее усовершенствование волокна OM5 с сохранением его обратной совместимости с предшественниками. В основе модернизации лежит факт, согласно которому предельную дальность стандартной системы SWDM лимитирует верхний по спектру канал (**Рис. 13**). Это достигается дополнительным увеличением длины волны максимума коэффициента ΔF широкополосности таким образом, чтобы на длинах волн 850 и 953 нм он имел равное значение. При этом для поддержания обратной совместимости с волокном OM4 на указанных длинах волн ΔF должен составлять не менее 4700 МГц × км.

Требуемое для модернизации наращивание ΔF при современном уровне техники не составляет больших проблем: серийные образцы волокон OM зачастую имеют коэффициент широкополосности свыше 10 ГГц × км.

Перспективы применения одноволоконных трактов

Линия волоконно-оптической связи может быть построена по одному из двух основных вариантов, структуры которых в обобщенном виде изображены на **Рис. 14**. В основной массе

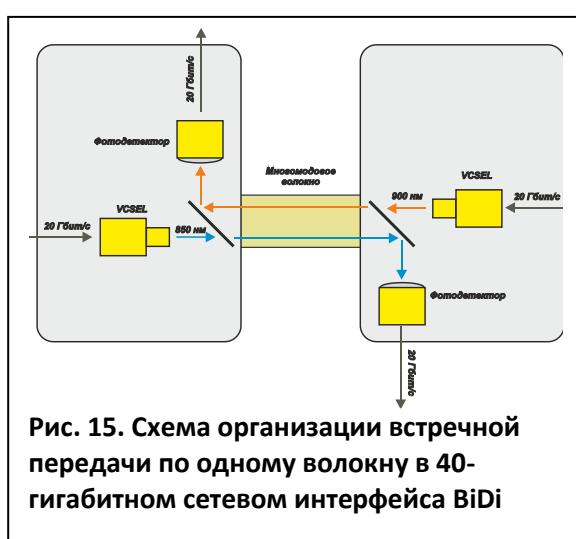


Рис. 15. Схема организации встречной передачи по одному волокну в 40-гигабитном сетевом интерфейсе BiDi

случаев используется верхняя по схеме классическая дуплексная схема с двумя световодами: одно волокно для передачи, второе – для приема. Двухнаправленная передача по одному волокну массово задействуется на сетях доступа при использовании технологии xPON. В локальных ИТС данная конфигурация применяется при создании сетей PoLAN. Здесь ее перспективы ограничены из-за неудовлетворительных стоимостных показателей решения в целом, которые определяются сочетанием высокой стоимости устройств развязки РУ направлений приема и передачи и небольшой протяженностью формируемых линий связи. Повышенные затраты на РУ объясняются тем, что его реализация требует спектрального уплотнения

(полупрозрачные зеркала) или применения таких прецизионных устройств, как оптические разветвители или циркуляторы.

Дополнительно укажем, что вследствие явно выраженной спектральной селективности упомянутых компонентов одноволоконные тракты не вполне пригодны для применения спектрального мультиплексирования.

Схема встречной передачи по одному волокну используется в сетевых интерфейсах BiDi с реализацией развязывающего устройства на полупрозрачном зеркале (**Рис. 15**). Основной побудительный мотив разработчика в данном случае – не столько снижение стоимости линии, сколько обеспечение удобства эксплуатации кабельной системы благодаря сохранению дуплексной схемы организации тракта.

Направления развития разъемных соединителей

Разъемный соединитель является вторым основным компонентом волоконно-оптического тракта. В настоящее время согласно действующим нормативным документам его функции выполняют:

- LC для дуплексных трактов,
- MTP/MPO для многоволоконных трактов.

Эти изделия были созданы в 90-х гг. прошлого столетия. По своим характеристикам они не в полной мере удовлетворяют требованиям даже современной техники, не говоря уже о

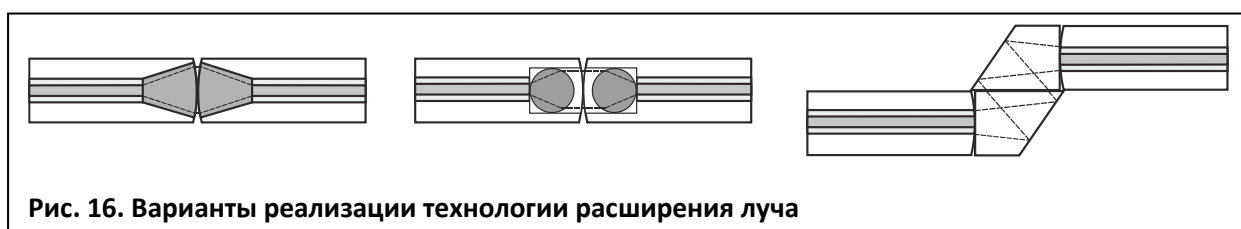


Рис. 16. Варианты реализации технологии расширения луча

перспективной. Для поддержания нужного технического уровня применяется как доработка существующих конструкций, так и внедрение новых.

Кабельные тракты ЦОД отличаются крайне жесткими требованиями в отношении допустимого затухания. Эта особенность делает разъемы очень чувствительными к чистоте оптически активных поверхностей волокон соединяемых вилок. Обеспечение чистоты обеспечивается одним или несколькими уже опробованными на практике мероприятиями. Наряду с очисткой для этого привлекается:

- обращение к технологии расширения луча с помощью линзовых элементов различной конструкции (**Рис. 16**);
- нанесение на торцевую поверхность волокон прозрачных покрытий с низкой адгезией к загрязнениям различных видов (технология Lotus немецкой компании OSI Rosenberger);
- реализация принципа механической контактной шины, которая обеспечивает самоочистку оптически активных поверхностей в момент соединения вилок (до уровня серийного производства эта схема доведена в разъеме Expanded Beam Optical Interconnect компании 3M, схема приведена в правой части **Рис. 16**).

В качестве средства достижения требуемого уровня возвратных потерь (параметр RL) хорошие перспективы имеют такие решения, как:

- отказ от моноблочных разъемов MPO/MTP в пользу новых конструкций на основе индивидуального для каждого волокна центрирующего наконечника диаметром 1,25 мм;
- применение в многомодовых групповых разъемах APC-наконечника по образцу одномодовых изделий.

Наличие в ЦОД разъемов двух типов недостаточно удобно с эксплуатационной точки



Рис. 17. MDC-коннектор в счетверенном варианте

зрения. Наиболее эффективным способом устранения этого недостатка является переход на единый тип конструкции в виде сборки из нескольких дуплексных соединителей, каждый из которых в случае необходимости может эксплуатироваться самостоятельно. Примером разработки такой конструкции являются вилки Very Small Form Factor (VSFF) MDC компании US Cones.

Меньший размер вилок позволит приемопередатчику подключать несколько шнуров MDC одним массивом, в котором они будут индивидуально доступны. Новый формат

будет поддерживать четыре отдельных шнура MDC в корпусе QSFP и два отдельных шнура MDC в корпусе SFP. Средство формирования сборки под систему Base8 – оправка, в которую отдельные малогабаритные вилки включаются с фиксацией под штатную фиксирующую защелку (**Рис. 17**).

Групповое коммутационное оборудование

В качестве центрального кросса СКС современных ЦОД обычно используют серийные конструкции, которые были разработаны по запросам операторов связи. Они обеспечивают требуемое количество портов, но недостаточно удобны с точки зрения выполнения коммутации из-за применения откидных кассет.

Решение этой проблемы возможно в случае перехода на новый тип оптического разъема за счет выноса фиксирующей защелки на узкую боковую сторону, что хорошо видно на **Рис. 17**. Вилка такого дизайна позволяет заметно плотнее смонтировать отдельные розетки и добиться соответствия 6-волоконной сборки по посадочным местам стандартному дуплексному LC. Это дает возможность увеличить количество волокон на 1U монтажной высоты в три раза до $72 \times 2 \times 3$

= 432/1U. Полярность соединителей MDC легко изменяется в полевых условиях без использования инструментов и без обнажения и перекручивания тонких волокон.

Проблема радиуса изгиба отдельных световодов, возникающая при высокой плотности конструкции, решается применением для внутренней разводки изгибостойких волоконных световодов. Последние известны как в одномодовом, так и в многомодовом исполнении.

Заключение

Как следует из сказанного, волоконно-оптическая подсистема современных СКС развивается весьма высокими темпами и по всем направлениям.

1. Основным драйвером развития и основным потребителем техники волоконно-оптических подсистем в настоящее время и в обозримой перспективе являются центры обработки данных.
2. Полного вытеснение многомодовой техники из проектов построения СКС не произойдет даже в обозримой перспективе ближайшего десятилетия, а ее фокусная область массового применения – подсистемы внутренних магистралей офисных СКС и ЦОД при скоростях передачи по меньшей мере до 400 Гбит/с включительно.
3. В процессе выбора между одномодовыми и многомодовыми решениями можно применять подход: «многомодовые – для экономии, одномодовые – для дальности связи».
4. Кабельные тракты для создания каналов связи со скоростями 100 Гбит/с и выше обязательно используют режим параллельной передачи, причем схему построения параллельных трактов Base8 следует рассматривать как основную на горизонте планирования минимум до 2030 года.
5. В качестве основного средства наращивания предельной протяженности многомодовых линий следует рассматривать снижение дисперсионного штрафа, т. е. многомодовые линии перспективных СКС необходимо строить на оптических кабелях категории не ниже OM4 (предпочтительно OM5).
6. Одним из необходимых условий «бесшовного» наращивания быстродействия телекоммуникационной инфраструктуры ЦОД становится переход от популярных в настоящее время 40-гигабитных сетевых волоконно-оптических интерфейсов на 50-гигабитные.
7. Из-за высокой стоимости элементов разделения спектральных субканалов принцип спектрального мультиплексирования должен использоваться в последнюю очередь.
8. Встречная передача по одному волокну не сулит больших перспектив, однако имеет определенные области применения и привлекается для решения определенного класса задач.
9. В перспективных СКС не исключен отказ от отдельных дуплексного и многоволоконного оптических соединителей в пользу единой универсальной конструкции, которая при необходимости адаптируется к требуемому варианту построения тракта непосредственно в полевых условиях.
10. Конструкции 19-дюймовых оптических полок нового поколения на основе малогабаритных разъемов обеспечивают возможность коммутации до 432 волокон на 1U монтажной высоты, полностью решают проблему построения удобных для текущей эксплуатации центральных кроссов аппаратных залов больших ЦОД.