

WHITE PAPER

12 2019

КАК ВЫБРАТЬ СКС для ЦОД

АНДРЕЙ СЕМЁНОВ

ГОРДЕЙ БАБАЕВСКИЙ



Solution Eurolan Europe AB 2006–2019

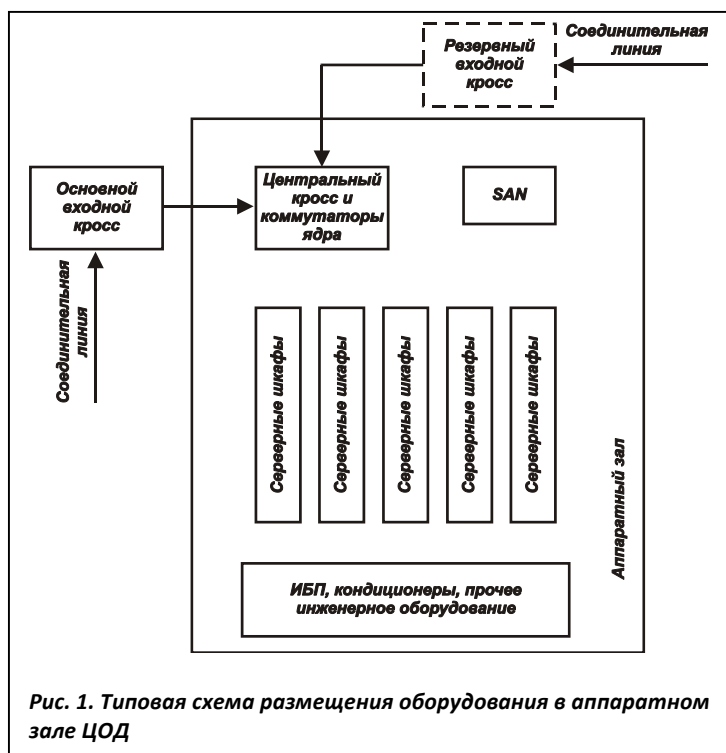
КАК ВЫБРАТЬ СКС для ЦОД

Одной из характерных особенностей современного этапа развития информационных технологий стал частичный возврат к централизованной модели организации вычислительных процессов в ходе обработки пользовательских запросов. Видимый результат этого тренда проявляется в существенных топологических изменениях информационной инфраструктуры, роль опорных элементов которой перешла к центрам обработки данных (ЦОД).

Для широкого круга пользователей внедрение новых принципов построения информационно-вычислительной системы (ИВС) дает ряд значимых преимуществ:

- изменение в лучшую сторону качества и наращивание объема оказываемых услуг, что достигается вовлечением в процесс обработки запроса большего количества информации;
- заметное сокращение времени реакции ИВС на пользовательский запрос, обеспечиваемое применением облачной модели организации вычислительного процесса;
- возможность значительной экономии финансовых ресурсов организации при передаче функций хранения и обработки данных на аутсорсинг операторам ЦОД;
- увеличение надежности хранения данных благодаря не только самому принципу построения ЦОД с нормируемым стандартами уровнем резервирования, размещению его на достаточном удалении от потенциально опасных объектов, повышенным требованиям к физической защите и т. д., но и используемой распределенной схеме хранения и обработки информации.

Ключевой компонент любого ЦОД – один или несколько аппаратных залов, в которых располагаются образующие систему горячих и холодных коридоров монтажные конструктивы для размещения в них серверов и оборудования массовой памяти, *Рис. 1*. Наличие коммутаторов ЛВС и директоров сети SAN массовой памяти, которые монтируются в таких же конструктивах, обеспечивает организацию информационного обмена между отдельными устройствами ЦОД и поддержание связи с внешним миром через соответствующие соединительные линии операторов связи.



Внутренняя инфраструктура аппаратного зала, в т. ч. ее телекоммуникационная часть с уровнем детализации, достаточным для удовлетворения базовых запросов массовой практики реализации проектов, нормируется такими общепринятыми стандартами, как ANSI/TIA-942B и ANSI BICSI 002-2014. Согласно этим документам, а также требованиям международного стандарта ISO/IEC-11801-5 физический уровень информационной инфраструктуры аппаратного зала ЦОД должен создаваться на основе структурированной кабельной системы.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТА СКС В ЦОД

Любой ЦОД, несмотря на наличие общих черт с иными объектами автоматизации, это уникальный объект. Глубина его стандартизации обычно не выходит за пределы некоторых типовых решений, дополненных рядом обязательных мероприятий по обеспечению выполнения разнообразных положений нормативной части профильных стандартов. Последние фиксируют только базовый уровень, а степень их детализации далеко не всегда задает всю конкретику будущего объекта и не содержит информацию, непосредственно включаемую в отдельные пункты ТЗ. Соответственно, перед создателями проекта обязательно встает ряд ключевых вопросов, корректные ответы на которые могут быть даны только

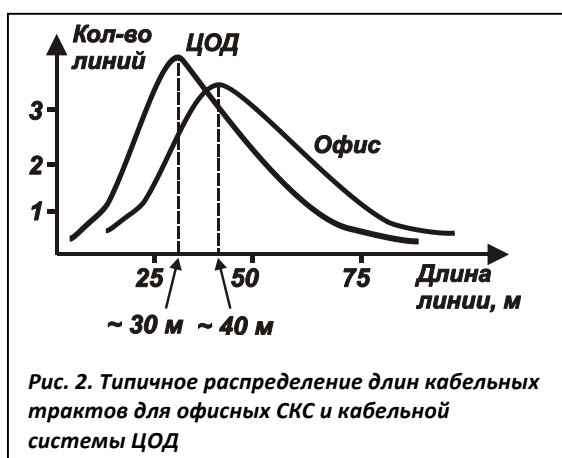
- с привлечением ранее накопленного опыта, в т. ч. формализованного в стандартах группы Best Practices (примеры таких документов – ANSI/BICSI 002-2019 Data Center Design and Implementation Best Practices и ANSI/BICSI 009-2019 Data Center Operations and Maintenance Best Practices);
- учетом перспектив совершенствования ИВС объекта автоматизации;
- пониманием господствующих трендов развития отрасли по состоянию на сегодняшний день и в обозримой перспективе.

Дополнительно все выработанные положения должны полностью отвечать действующим стандартам (исключения обязательно оговариваются в ТЗ) и по возможности учитывать известные обязательные требования вновь разрабатываемых нормативных документов.

При выборе проектных решений ЦОД необходимо решать ряд вопросов. Среди них – выбор концепции построения СКС и определения элементной базы, привлекаемой для ее реализации.

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЦОД, И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИНФОРМАЦИОННУЮ КАБЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ

СКС создается в интересах обеспечения высококачественного информационного обмена между отдельными вычислительными устройствами. В настоящее время на уровне ЛВС эта задача в абсолютном большинстве случаев решается сетевыми интерфейсами Ethernet. В крупных и отчасти средних ЦОД, в которых нередко встречаются системы массой памяти, их интеграция в состав информационной инфраструктуры организуется с привлечением технологии Fibre Channel. В этой части ИВС возможно привлечение иных технологий, например, известной Fibre Channel over Ethernet, хотя, справедливости ради, они в силу различных причин распространены существенно меньше.



С точки зрения кабельной системы можно не делать различия между Ethernet и Fibre Channel, поскольку эти интерфейсы используют одинаковые среды передачи и принципы организации информационного обмена. Одновременно Fibre Channel

- менее требователен к пропускной способности трактов кабельной системы, т.к. имеет в разы меньший темп передачи данных и тактовые частоты линейного сигнала;
- заметно уступает Ethernet по количеству точек подключения.

Пара этих обстоятельств существенно упрощает проектирование СКС аппаратного зала, которое

проводится исходя из потребностей классической локальной сети определенного уровня быстродействия и использования технологии Ethernet в части обеспечения транспорта данных. Из-за относительно малого количества кабельных линий системы массовой памяти

- их не выделяют в специальный класс и учитывают увеличением на нужный процент числа линий структурированной проводки, создаваемой в интересах поддержки функционирования ЛВС;
- линии для обеспечения функционирования оборудования Fibre Channel организационно выделяются только на коммутационном поле кабельной системы реализаций отдельных функциональных секций.

ТРЕБОВАНИЯ К СКС

Необходимость отнесения СКС для ЦОД к отдельному самостоятельному классу информационных кабельных систем обусловлена такими факторами, как

- отсутствие «белкового» потребителя ее ресурсов, что сразу же означает реализацию физического интерфейса на коммутационных панелях вместо малопортовых информационных розеток (специфику объекта учитывают, как будет показано далее, применением панелей высокой плотности: 48 и более портов на 1U монтажной высоты);
- необходимость поддержки максимально высоких скоростей информационного обмена как одно из необходимых условий обеспечения малого времени реакции ЦОД в целом на поступающий пользовательский запрос;
- отсутствие требований в части обеспечения работоспособности оборудования PoE, для которого в аппаратном зале ЦОД элементарно нет потребителей;
- примерно на треть меньшая средняя протяженность линий (30 м по сравнению с примерно 40 м для офисных СКС), что позволяет в обоснованных случаях отказаться от безусловного соблюдения классического 100-метрового предела обеспечиваемой протяженности тракта.

Отсюда немедленно вытекают существенные различия СКС для офисов и ЦОД, наиболее значимые из которых заключаются в следующем

- намного большие объемы применения волоконно-оптической техники на нижних уровнях проводки (в больших ЦОД она доминирует);
- массовое использование при организации линейной части кабельной системы претерминированных сборок (инсталляционных кабелей с установленными на них в заводских условиях элементами разъемов), что позволяет эффективно решить проблему сложности обеспечения в полевых условиях необходимого качества монтажа и эксплуатационной надежности;
- ориентация на технологию параллельной передачи, которая дает возможность относительно простыми средствами устранить наиболее серьезные технические проблемы т. н. скоростного тупика современных сетевых интерфейсов.

Из соображений максимально полного использования имеющегося задела в части создаваемой элементной базы и системных решений, а также преимуществ серийного производства для кабельных систем ЦОД целесообразно

- возложить функции прототипа на офисные кабельные системы (рынок подобных систем и, соответственно, объем потребляемой на нем элементной базы по меньшей мере в разы превышает аналогичный рынок ЦОД);
- применять по возможности однотипную и максимально унифицированную (в идеале идентичную) технологию монтажа;
- использовать сходные принципы проектирования, тестирования и сертификации.

ТРЕБУЕМЫЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ЦОД И ДОПУСТИМЫЕ ТИПЫ СРЕД ПЕРЕДАЧИ

Отсутствие непосредственного «белкового» потребителя ресурсов СКС в ЦОД и выполнение

информационного обмена исключительно между активным сетевым оборудованием приводит к тому, что средняя на одну линию скорость передачи данных по кабельным трактам этого объекта на порядки превышает значения, характерные для офисных кабельных систем. Рост темпов информационного обмена в ЦОД определяется

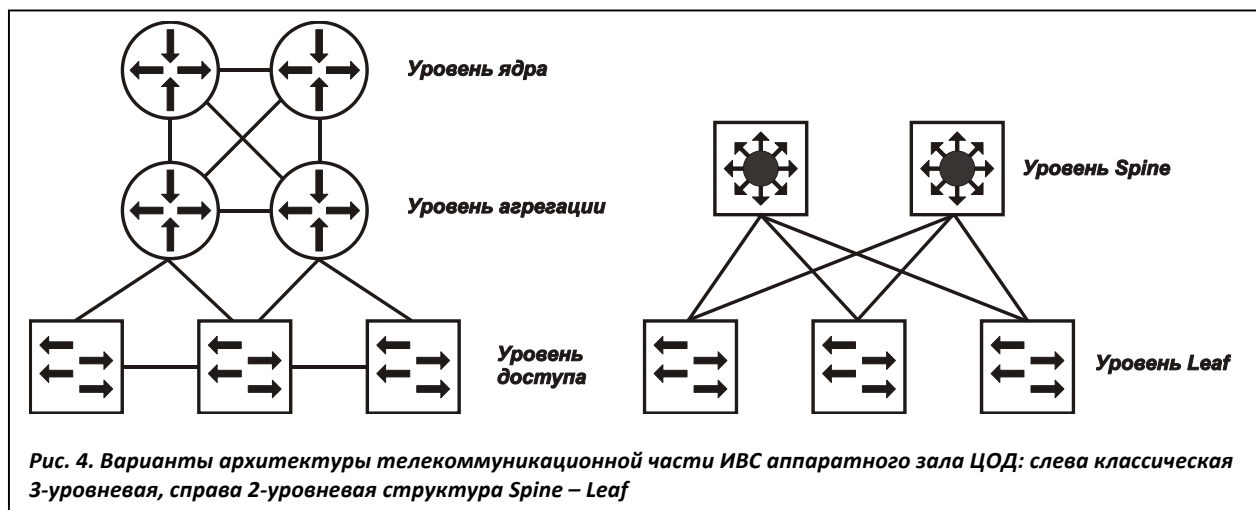
- стремлением к вовлечению в процесс формирования ответа на поступающий запрос максимально большого объема данных,

находящихся в различных местах;

- переводом процесса хранения и обработки информации на облачную модель.

Таблица 1. Зависимость относительной доли кабельных трактов аппаратного зала ЦОД от поддерживаемой скорости передачи

Скорость передачи, Гбит/с	Доля линий, %
1	5
10	40
40	45
100	10

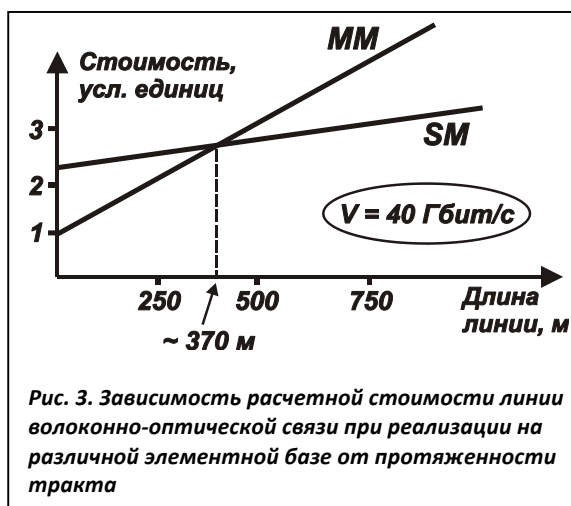


Типичное для современного этапа развития техники распределение скоростей передачи в крупных и средних ЦОД приведено в таблице 1. Из представленных в ней значений можно констатировать, что средняя скорость передачи на этих объектах составляет 40 Гбит/с. Увеличение

данного параметра до 100 Гбит/с ожидается в 2023–2025 гг., примерно с этого же времени начнется массовое внедрение в широкую инженерную практику 200- и 400-гигабитных сетевых интерфейсов.

В малых ЦОД необходимый уровень информационной поддержки пока ограничивается скоростями преимущественно 10 Гбит/с, 40-гигабитная техника встречается редко.

Стандарты на информационные кабельные системы ЦОД допускают использование в аппаратном зале волоконно-оптических и электропроводных линии без конкретизации основных областей применения. При этом



волоконно-оптическая техника дополнительно делится на многомодовую и одномодовую. Электропроводное направление представлено витопарными линиями. Базовая информация по поддерживаемым ими скоростям и дальностям передачи приведена в таблице 2.

В аппаратном зале ЦОД применяются преимущественно волоконно-оптические линии, которые обеспечивают скорости передачи до 400 Гбит/с с потенциальной возможностью последующей пересертификации на более высокое быстродействие при возникновении такой необходимости. Сильное стимулирующее воздействие на объемы применения волоконно-оптической техники оказывает рост популярности 2-уровневой архитектуры «плоской сети» Spine – Leaf. Она заменяет традиционную 3-уровневую архитектуру «ядро – агрегация – доступ», *Рис. 4* и использует те очень сходные принципы, которые ранее были отработаны на топологиях плоского дерева (fat tree) и централизованной коммутаторной фабрики (data center fabric centralized switch). Обращение к структурам Spine – Leaf дает значимые для эксплуатации преимущества:

- простоту масштабирования;
- уменьшение времени задержки за счет сокращения числа коммутаторов;
- заметный рост устойчивости к перегрузкам при интенсивных запросах;
- существенное упрощение процедур настройки сети.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Из данных таблицы 2 следует, что универсальное средство создания физического уровня информационной системы ЦОД – одномодовые линии. Имеется ряд факторов, которые значительно сдерживают переход на технику данной разновидности. Главный из них – существенно большая стоимость линии в целом (активное сетевое оборудование и кабельный тракт) для тех расстояний, которые характерны для аппаратного зала ЦОД. Из типичного на сегодняшний день распределения этого параметра (*Рис. 3*) вытекает, что при равных функциональных возможностях стоимость многомодовой линии начинает превышать стоимость одномодовой на расстояниях свыше примерно 400 м. Ценовая оценка осуществлялась для скорости 40 Гбит/с, наращивание быстродействия вплоть до 400 Гбит/с лишь незначительно смещает границу ценового превосходства одномодовой техники в сторону меньших длин, но не более чем на несколько десятков метров.

Одновременно, как следует из *Рис. 2*, на нижнем уровне типичная протяженность стационарной линии составляет примерно 30 м и не слишком сильно меняется за счет коммутационных шнуров при построении тракта. Протяженные магистральные линии мало смещают это значение в

Таблица 2. Поддерживаемые скорости и обеспечиваемая дальность связи линий различных типов

Тип линии	Электропроводная		Волоконно-оптическая		
			Многомодовая	Одномодовая	
Скорость, Гбит/с	10	40	100	400	400
Предельная длина тракта, м	100	28...32	100...150	70...150	500...2000

большую сторону из-за своей малочисленности.

Известно, что главным фактором ограничения максимально допустимой протяженности многомодового кабельного тракта является т. н. дисперсионный штраф. Для его минимизации в линиях следует применять кабели с максимальным коэффициентом широкополосности (не ниже OM4). Несколько лучшие перспективы с учетом наращивания быстродействия ЦОД демонстрирует техника категории OM5, которая

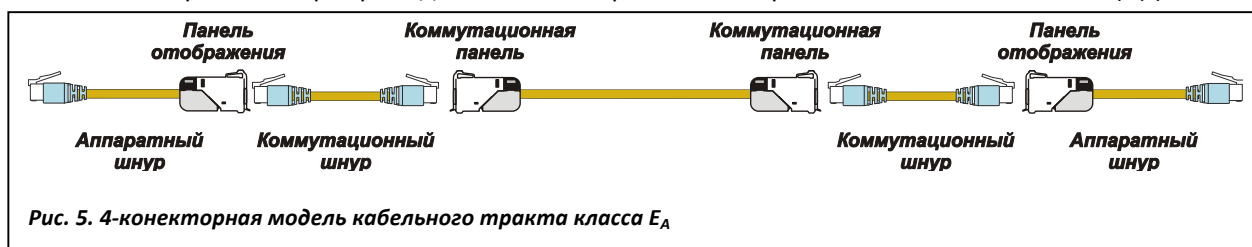
- на скоростях 100 Гбит/с и выше обеспечивает в 1,5 раза большую максимальную протяженность тракта;
- за счет полноценной поддержки технологии коротковолнового 4-канального спектрального уплотнения SWDM позволяет сохранить удобную в эксплуатации 2-волоконную структуру кабельного тракта на скоростях вплоть до 200 Гбит/с.

При выборе типа волоконно-оптической элементной базы немаловажное значение приобретает эксплуатационная «капризность» одномодовой техники. Она выражается в чувствительности к изгибам линейного и шнурового кабеля с недопустимо малым радиусом. Кроме того, для линий данной разновидности характерно сильное влияние на качество передачи неизбежных в процессе эксплуатации даже незначительных загрязнений оптически активных поверхностей волокон в разъёмных соединителях. Известные решения этих проблем:

- применение изгибостойких волокон;
- переход на оптические разъемы с расширением луча (например, технология Expanded Beam американской компании US Cones и Highdura японской компании Senko);
- использование соединителей со специальной обработкой торцевой поверхности световодов (например, технология Lotus немецкой компании Rosenberger OSI) – не получили массового распространения из-за заметного удорожания элементной базы.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫЕ ЛИНИИ

Кабельный тракт электропроводных линий в практике построения кабельных систем ЦОД

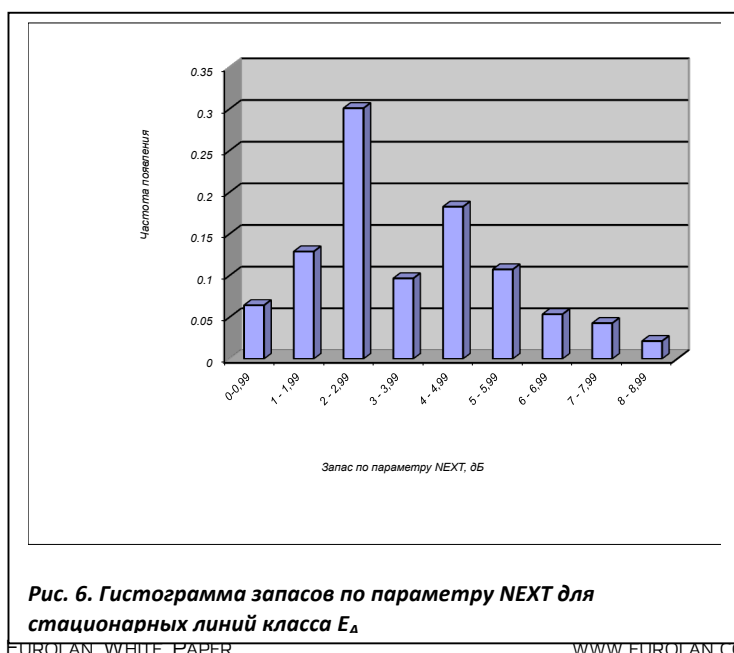


в подавляющем большинстве случаев реализуется на основе классической стационарной линии без консолидационной точки, которая дополнена аппаратными шнурами для подключения активного сетевого оборудования. В тракте отсутствуют адаптеры, а при подключении оборудования не применяется кросс-коннект.

Согласно требованиям стандарта IOS/IEC 11801-5 электропроводные тракты должны обеспечивать поддержку нормального функционирования сетевого оборудования класса не ниже E_A при его максимальной 100-метровой протяженности и наиболее сложной 4-коннекторной конфигурации (Рис. 5). Фактически это означает, что для формирования таких трактов должна использоваться техника СКС категории не ниже B_A . Линии и тракты класса E_A (категории B_A) оказываются наиболее функциональными, так как

- поддерживают скорость передачи 10 Гбит/с, хорошо востребованную в малых и отчасти в средних ЦОД;
- обеспечивают предельную протяженность тракта в 100 м;
- по сложности монтажа практически идентичны технике меньших категорий;
- имеют традиционный интерфейс на основе модульного разъема.

При прочих равных условиях в аппаратном зале ЦОД целесообразно устанавливать экранированную СКС, поскольку современная экранированная техника



- по сложности монтажа мало отличается от U/UTP-решений;
- радикально решает проблему межкабельной переходной помехи, с которой обязательно приходится считаться на скоростях свыше 1 Гбит/с и которая, в отличие от внутрикабельных наводок, принципиально не устранима средствами электронной обработки в цифровом сигнальном процессоре DSP-приемника;
- не испытывает обычных для офисных СКС сложностей с телекоммуникационным заземлением, т. к. в аппаратном зале ЦОД оно изначально предусматривается проектом его инженерной части;
- обеспечивает равную с неэкранированными панелями плотность коммутационного поля (48 портов на 1U монтажной высоты);
- из-за меньшего внешнего диаметра (по меньшей мере на 1 мм по сравнению со своими аналогами типа U/UTP) позволяет более полно использовать доступное поперечное сечение лотков и иных кабельных каналов.

В местностях с высоким удельным сопротивлением грунта (горы, районы вечной мерзлоты), т. е. там, где организация качественного телекоммуникационного заземления затруднена, в линейной части электропроводной СКС допустимо применение кабелей с общим разрывным экраном типа Zebra. Обращение к ним эффективно решает проблемы межкабельной переходной помехи, а сложность их армирования розетками разъемов не отличается от U/UTP-конструкций.

Техника более высоких категорий по ряду причин практически не востребована в ЦОД.

Так, применять элементную базу категории свыше 6_A для создания дополнительных запасов по защищенности от помехи нет смысла: современная техника категории 6_A сама демонстрирует заметное превышение ключевых характеристик над требованиями стандартов. В качестве примера на *Рис. 6* представлена гистограмма запасов по параметру NEXT.

Причина малой популярности категории 7 и ее более совершенного варианта 7_A заключается в более высокой стоимости и отсутствии поддержки передачи 40-гигабитных сигналов.

От последнего недостатка свободны линии категории 8, которые в зависимости от исполнения разрабатывались на базе 6_A (категория 8.1) и 7_A (категория 8.2). Они отличаются улучшенными характеристиками переходного затухания и расширенным частотным диапазоном нормирования параметров и ориентированы на применение в составе внутрирядных линий шкафов аппаратного зала ЦОД. Однако в настоящее время они практически не используются в проектах

- из-за ограниченной дальности действия (предельная протяженность тракта 32 м);
- отсутствия серийных сетевых интерфейсов;
- реализации на интерфейсном разъеме ARJ45, который, несмотря на внешнее сходство, полностью несовместим с традиционным модульным разъемом RJ45.

КОММУТАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Коммутационное оборудование СКС предназначено для формирования пользовательского интерфейса информационной проводки и представлено различными панелями и полками, которые монтируются в 19-дюймовых конструктивах. В качестве прототипа этой техники задействованы отдельные компоненты офисных СКС. При этом отработанные в них технические решения подвергнуты определенной модернизации для учета значимых особенностей новой области эксплуатации. К этим основным особенностям относятся:

- крайне редкое изменение конфигурации, что определяется отсутствием «белкового» потребителя ее ресурсов;
- необходимость предельной минимизации габаритов панелей, которые непосредственно влияют на эффективность функционирования системы воздушного охлаждения как доминирующего технического средства утилизации тепла, выделяемого при работе активным сетевым оборудованием.

С учетом этих особенностей

- электропроводная подсистема строится на 48-портовых панелях с корпусом высотой 1U, розеточные модули на лицевой пластине которых располагаются в два ряда;

- основным средством реализации оптической подсистемы становится 96-волоконная (48-портовая) в дуплексном варианте трактов полка.

Недостаток неудобства администрирования 48-портовой техники, определяемого отсутствием

Таблица 3. Сравнительные размеры моноблочных малогабаритных разъемов с наконечниками диаметром 1,25 мм

Тип разъема	LC-D	URM	CS	CN	MDC
Разработчик	AT&T, США	Euromicron, Германия	Senko, Япония		US Conec, США
Год создания	1993	2001	2017	2019	2019
Международный стандарт	IEC 61754-20	IEC 61754-34	-	-	-
Размеры вилки, мм	10,7 × 12,3	6,0 × 8,6	6,65 × 7,85	3,85 × 9,46	3,29 × 9,15
Расстояние между осями волокон, мм	6,25	2,8	3,8	3,1	3,1
Площадь миделя, мм ²	131,0	51,6	52,2	34,1	30,1

хорошо видимой крупной маркировки, в ЦОД второстепенен. Это связано с малой частотой изменения конфигурации кабельной системы.

Оптическое коммутационное оборудование в принципе позволяет увеличить плотность конструкции даже на стандартном разъеме LC. Известен простой способ решения этой задачи – добавление третьего ряда розеточных модулей, что легко реализуется в полках слотового типа. В результате одна полка может обслуживать 72 порта (обеспечивает подключение 144 волокон). При определении конструктивной плотности оптических полок учитываются следующие положения. В общем случае каждый сервер с корпусом высотой 1U (форм-фактор pizza-box) имеет 4 порта: по два на подключение к ЛВС и сети массовой памяти SAN. При таких условиях количество M полок в одном монтажном конструктиве высотой H юнитов может быть найдено как $M = H - n$, где n – целочисленное решение уравнения:

$$n + 4n / 72 = H.$$

При $H = 42$ или 47U (наиболее популярные в ЦОД конструктивы) получаем $M = 2$, т. е. серверы практически полностью занимают шкаф.

Из этих простых выкладок следует, что дальнейшее наращивание плотности конструкции в основной массе случаев лишено смысла. Решения с плотностью свыше 144 волокон на 1U высоты корпуса потенциально востребованы только в центральном кроссе. Для достижения такой плотности

- привлекаются телекомовские конструктивы на основе откидных кассет;
- применяются полки высотой более 1U, в которых удастся увеличить количество рядов розеток LC за счет отсутствия разделительных стенок;
- осуществляется переход на суперкомпактные разъемы нового поколения, Таблица 3, у лучших образцов которых площадь миделя составляет всего 30–35 мм², т. е. в четыре раза меньше, чем в классических LC;
- используются групповые соединители типа MTP/MPO и разветвительные шнуры.

По исполнению как для волоконно-оптической, так и электропроводной подсистем наиболее предпочтительно коммутационное оборудование слотового типа, которое

- не уступает по плотности конструкции моноблочным и наборным аналогам;
- изначально рассчитано на подключение к претерминированным сборкам линейных кабелей;
- позволяет быстро наращивать количество линий в случае возникновения необходимости без внесения серьезных помех в работу системы кондиционирования аппаратного зала;
- при постепенном наращивании производительности ЦОД позволяет распределить во времени выделение основной массы финансовых ресурсов, требуемых для создания информационной проводки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный материал дает возможность сформулировать основные рекомендации по выбору технических решений для построения информационной кабельной системы аппаратного зала ЦОД. Они сводятся к следующим положениям.

1. Для организации информационного обмена между отдельными активными устройствами, которые эксплуатируются в аппаратном зале ЦОД, наиболее предпочтительны волоконно-оптические линии связи. Электропроводные кабельные тракты могут быть задействованы преимущественно в малых и отчасти в средних ЦОД. В крупных ЦОД они играют вспомогательную роль при реализации внутрирядных связей.
2. Волоконно-оптические линии следует реализовывать на экономичной и удобной в эксплуатации многомодовой элементной базе категории не ниже OM4 (предпочтительно сразу же закладывать в проект технику категории OM5).
3. Одномодовая техника целесообразна только в масштабных ЦОД для организации магистральных линий с протяженностью свыше 150 м. Для связи с внешним миром волоконно-оптическая техника безальтернативна.
4. Электропроводные линии должны собираться на технике категории 6A. Системы категории 8 следующего скоростного диапазона пока не востребованы из-за отсутствия соответствующей аппаратуры и невозможности в общем случае применения в таких линиях модульных разъемов.
5. При прочих равных условиях из-за лучших массогабаритных характеристик и нечувствительности к межкабельным помехам электропроводные линии целесообразно реализовывать на экранированной элементной базе.
6. Основным видом коммутационного оборудования в электропроводной подсистеме является 48-портовая панель высокой плотности, а в оптической подсистеме – 96-волоконная или 144-волоконная (48- и 72-портовая соответственно) оптическая полка. Оптические панели и иные решения с более высокой плотностью конструкции целесообразны для применения только в центральных кроссах.
7. При прочих равных условиях в качестве коммутационного оборудования следует использовать слотовые конструкции.