

WHITE PAPER

12 2025

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ СКС ПРОТЯЖЕННОСТЬЮ СВЫШЕ 100 м

Возможность построения кабельных трактов СКС протяженностью свыше 100 м

Объекты недвижимости различного назначения, на которых по меньшей мере длительное время присутствуют люди, в соответствии с требованиями отраслевых строительных сводов правил оборудуются рядом инженерных систем. С 2023 года, после начала официального действия СП 134.13330.2022, в перечень этих систем официально включен комплекс сетей связи различного назначения, совокупность которых образует внутриобъектовую информационно-телекоммуникационную систему (ВИТС). Любая часть ВИТС реализуется с привлечением известной модели OSI взаимодействия открытых систем, а ее физический уровень в подавляющем большинстве случаев выполняется в виде структурированной кабельной системы (СКС).

Для СКС характерен явно выраженный технический консерватизм. Тем не менее информационные кабельные системы как хорошо востребованное в различных областях направление постоянно испытывают более или менее сильное внешнее давление. Источниками такового становятся как запросы, относящиеся к практике реализации проектов, так и техника более высоких уровней модели OSI. Реакцией на это давление становятся определенные изменения эволюционного характера. Внедрение новшеств позволяет оптимально адаптировать СКС к текущим требованиям, что увеличивает технико-экономическую эффективность конечного решения.

Один из таких параметров, нормы на который потребовали пересмотра на текущем этапе развития информационных технологий, – предельная протяженность кабельного тракта. Смягчение этой нормы:

- целесообразно в той или иной форме, если существует выраженная потребность массовой практики реализации ВИТС в трактах увеличенной протяженности;
- допустимо при наличии соответствующей технической возможности.

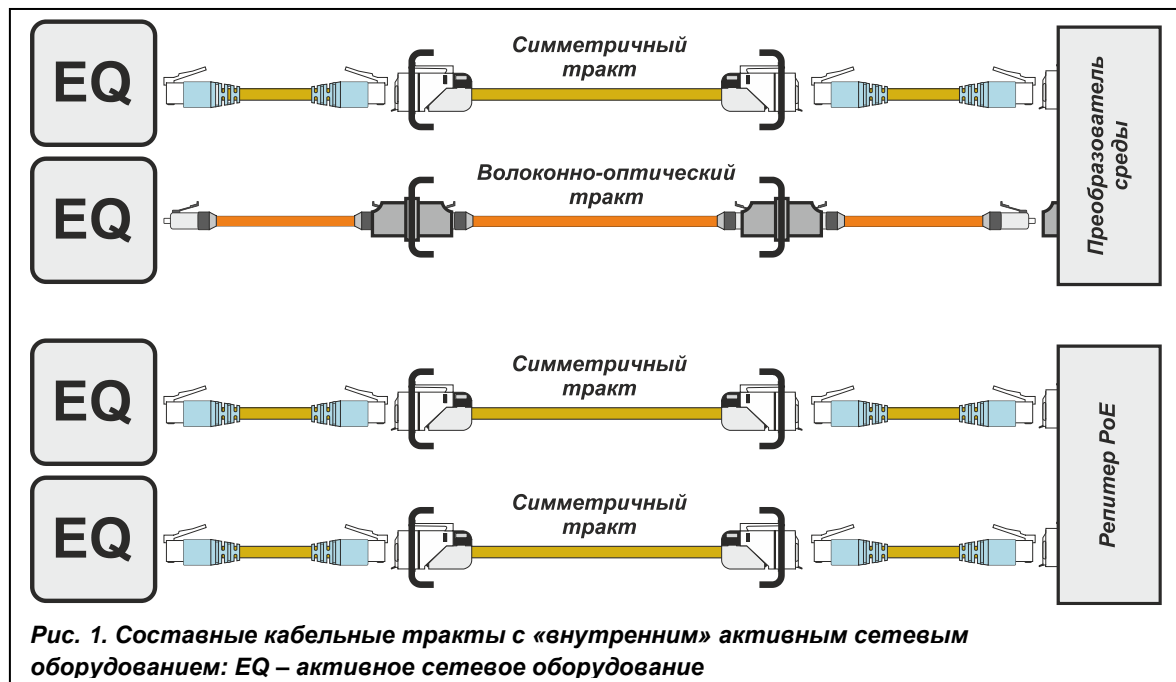
Проблемы, возникающие в процессе решения комплекса сопутствующих задач, а также подходы к их преодолению рассматриваются далее.

Варианты наращивания предельной протяженности кабельного тракта

Необходимость подключения различного удаленного от технического помещения терминального оборудования к корпоративной информационно-вычислительной сети (КИВС) в процессе автоматизации объектов недвижимости существовала постоянно, т. е. необходимость формирования кабельных трактов протяженностью свыше стандартных 100 м возникает на практике довольно часто. Соответственно, запросы, поступающие со стороны практики, в той или иной форме удовлетворялись промышленностью с привлечением для этого различных подходов. В ряде случаев они оформлялись в виде законченного решения системного уровня.

Приведем некоторые примеры таких решений, совокупность которых делится на более или менее многочисленные классы. В качестве классической можно рассматривать концепцию «волокно до рабочего места», часто обозначаемую аббревиатурой FTTD (fibre to the desk). Известны также иные предложения этой группы, частично исправляющие некоторые недостатки FTTD, например, концепция FTTR (волокно до комнаты), а также активные консолидационные точки.

Задача наращивания дальности связи решается также в рамках составных кабельных трактов, отдельные стационарные линии которых соединяются друг с другом специализированным активным оборудованием. В качестве такового выступают преобразователи среды и репитеры PoE, **Рис. 1**.



Следующая группа решений отличается от предыдущих отсутствием необходимости применения активного оборудования «внутри» стационарной части проводки. В первом случае нижний пользовательский уровень КИВС строится с привлечением технологии PoLAN. Такой подход популярен за океаном, но по крайней мере пока не получил распространения в нашей стране.

В основу второго решения этой группы положено применение волоконно-оптического кабеля, сердечник которого наряду с волоконными световодами содержит также медные жилы увеличенного вплоть до 12AWG калибра. За счет низкого шлейфового сопротивления таких жил появляется возможность подключать маломощное терминальное оборудование с питанием по PoE на удалении до 4 км. Единственный серьезный недостаток – необходимость применения нетипового для СКС кабеля в линейной части.

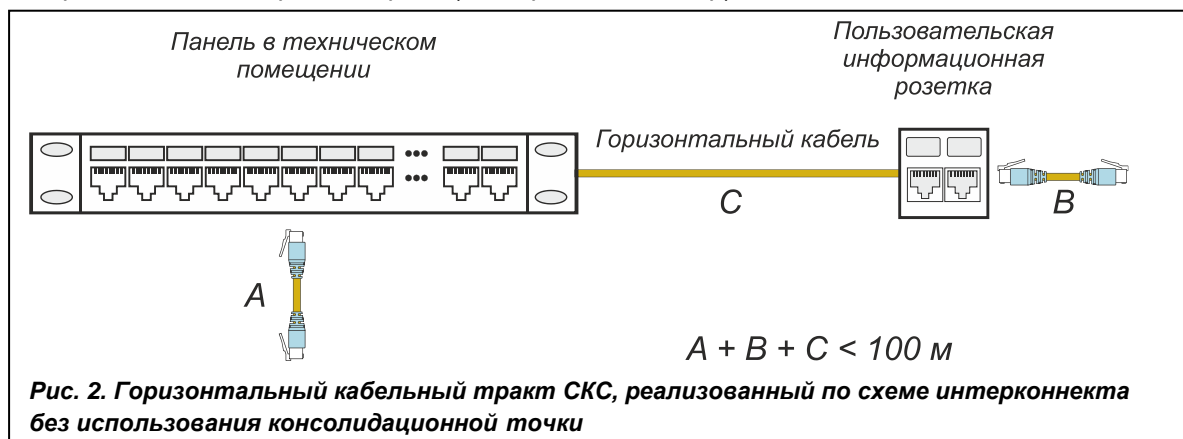
Данными возможностями вполне допустимо воспользоваться по местным условиям конкретного проекта, однако обращение к ним потребует отдельного обоснования с точки зрения эффективности применения. Кроме того, их построение требует применения активной и пассивной элементной базы, которая, будучи типовой, обычно по крайней мере частично является заказной и штатно не присутствует на складах дистрибьюторов. Поэтому по умолчанию в дальнейшем предполагается, что обсуждаемый технический объект:

- построен на стандартной электропроводной элементной базе СКС;
- не содержит в своем составе активного сетевого оборудования в любой форме его реализации.

Линии описанной разновидности в соответствии со сложившейся в нашей стране практикой часто называют «длинный Ethernet».

Стандартный горизонтальный кабельный тракт СКС

Действующие в настоящее время стандарты СКС нормируют параметры кабельного тракта по конкретной модельной структуре. Она образована линейным (инсталляционным) кабелем длиной не более 90 м, соединяющим розеточные модули пользовательской информационной розетки и панели в техническом помещении, и двумя (коммутация по схеме интерконнекта) или тремя (при коммутации по кросс-коннекту) концевыми шнурами максимальной суммарной длиной 10 м, **Рис. 2**. Возможно введение в состав тракта консолидационной точки, хорошо востребованной в открытом офисе (четвертый коннектор).



Требования к структуре, а также предельной протяженности как кабельного тракта в целом, так и отдельных его составляющих дополнены в нормативной части стандарта положениями о категории элементной базы, используемой для его формирования. Соблюдение совокупности комплекса этих ограничений гарантирует:

- полноценную работоспособность сетевой аппаратуры определенного и более низких классов;
- корректное функционирование оборудования дистанционного питания PoE в условиях, наиболее жестких с точки зрения обеспечения качества передачи сигнала. Таковыми становятся максимальная протяженность тракта с консолидационной точкой и применение в его составе трех шнуровых изделий.

Имеются единичные случаи нарушения указанных правил. Так, в частности, использование техники категории 6 при дополнительном ограничении протяженности тракта значением 37...55 м позволяет передавать сигнал со скоростью 10 Гбит/с, т. е. полноценно поддерживается работоспособность сетевых интерфейсов 10G Ethernet, которые относятся к более высокому классу EA. Фактически производится «размен» предельной дальности связи на скорость передачи информации.

Формально, 100-метровая максимальная протяженность горизонтального кабельного тракта СКС была установлена в процессе разработки еще первой редакции стандарта 1991 года. Выбор данной величины – прямое следствие двух ограничений фундаментального характера:

- уровня массовой техники сетевого оборудования ЛВС конца 80-х годов прошлого столетия;
- типовой плотности расположения технических помещений типичных офисных зданий как объекта недвижимости, на котором устанавливается СКС.

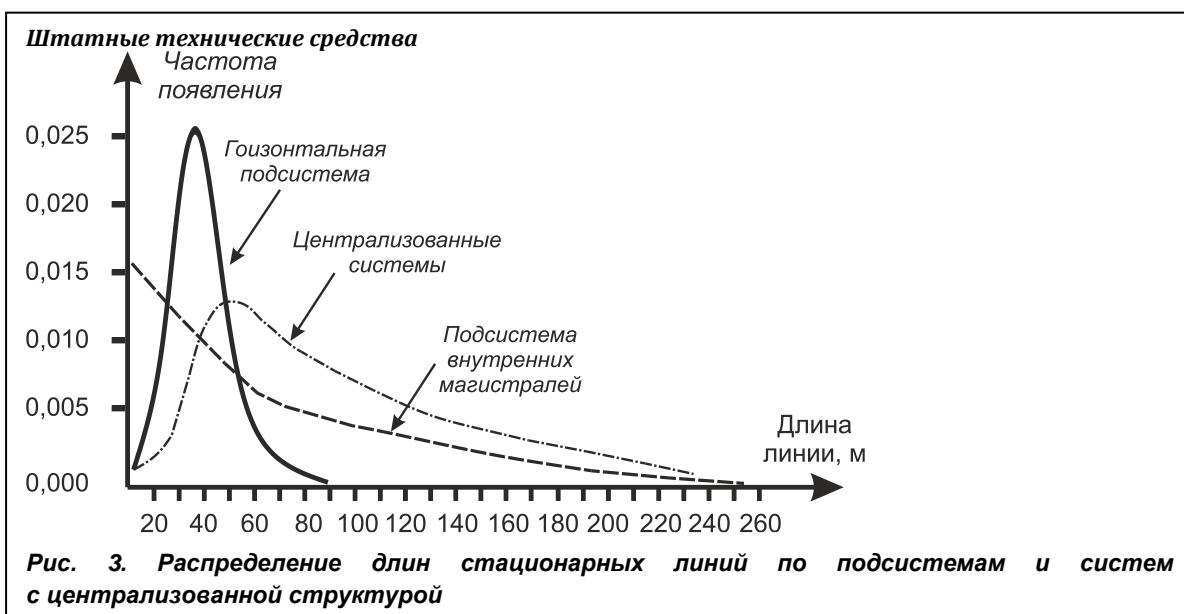
100-метровое ограничение формально распространяется также на волоконно-оптические линии горизонтальной подсистемы. В его основе лежат не технические причины, а стремление разработчиков стандартов к достижению единообразия структуры СКС при ее реализации на различных типах элементной базы.

Необходимость в кабельных трактах увеличенной протяженности

Зафиксированный в действующих редакциях стандартов подход вполне соответствовал реалиям построения ВИТС на протяжении первых трех десятилетий существования СКС как самостоятельного технического направления. При этом в больших офисах порядка 10 % стационарных линий пользовательских информационных розеток превышали по протяженности 90 м в тех случаях, когда выполнялось их прямое подключение к штатным техническим помещениям. Для постановки кабельной системы на гарантию производителя в этом случае применялась установка дополнительного узла. Чаще всего его оборудование монтировалось в отдельно стоящем напольном или настенном шкафу.

В настоящее время постулат о 100-метровом ограничении протяженности кабельного тракта перестал уже в полной мере отвечать требованиям практики. Это стало прямым следствием:

- начала массовой организации ВИТС на таких масштабных объектах, как стадионы, склады, аэропорты, автобусные, железнодорожные и морские вокзалы, а также иных аналогичных им сооружениях;
- появления в составе ВИТС классических офисов в процессе их перевода в разряд интеллектуальных зданий ряда информационных систем, которые используют на физическом уровне кабельные тракты СКС для формирования сетевых структур и одновременно в силу разнообразных причин испытывают явно выраженное тяготение к централизованной модели построения.



Проиллюстрируем расчетом значимую для практики потребность в кабельных трактах увеличенной протяженности даже в традиционных больших офисах.

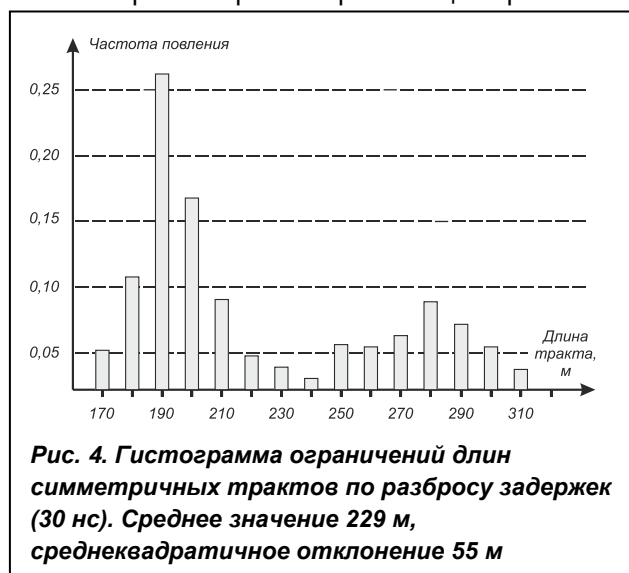
По данным компании Siemon, количество портов во вновь вводимых ВИТС, обслуживающих различные новые системы, достигает 20 % от традиционных. Если теперь исходить из того, что кабели, обслуживающие терминальные устройства систем с централизованной схемой построения, прокладываются по уже имеющимся кабельным трассам, то длины этих кабелей имеют распределение, которое в схематической форме показано на **Рис. 3**. Расчеты показывают, что четвертая часть таких линий имеет длину от 100 до 200 м, а их общее количество составляет 2...3 %.

Последнее означает, что:

- линии увеличенной протяженности или «длинного Ethernet» значительно востребованы в первую очередь масштабных проектах (несколько сот портов и более) СКС;
- производителю СКС целесообразно предлагать партнерам штатные технические средства для реализации линий увеличенной протяженности.

Варианты решения задачи увеличения предельной протяженности витопарного кабельного тракта

Стандарты допускают увеличение предельной протяженности витопарного кабельного тракта до 150 м, но только на скорости 10 Мбит/с. С учетом крайне ограниченных функциональных возможностей такого решения указанная в стандартах норма не играет сколь-нибудь заметной роли в практике реализации проектов.



При переходе на приложения класса D (скорость 1 Гбит/с) и выше максимальная длина тракта сокращается, но в пределах все равно может достигать даже 117 м. На это прямо указывает приведенное в восьмом разделе ISO/IEC 11801-1:2017 соотношение для вычисления предельной протяженности l_b стационарной линии СКС класса D при условии ее реализации на технике категории 8, которое задается в виде:

$$l_b = 117 - l_a \times X, \text{ м,}$$

где l_a – суммарная длина шнуров; X – коэффициент электрического удлинения гибкого шнурового кабеля (обычно $X = 1,5$).

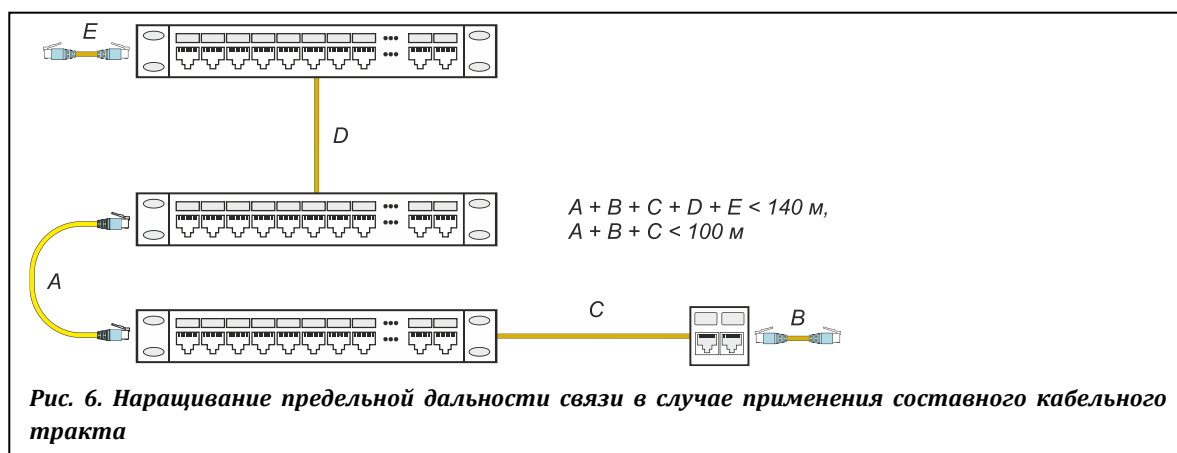
Формально реализация такой возможности блокируется дополнительным ограничением



$l_b < 90$ м, которое вводится исключительно как гарантия выполнения нормы по параметру skew. Тем не менее техническая возможность значимого превышения 100-метровой границы существует. Во-первых, в отношении параметра skew реальные горизонтальные тракты демонстрируют существенные запасы, **Рис. 4**. Во-вторых, на это указывает сам отмеченный выше принцип формирования норм стандартов. Данную возможность можно использовать двояко, **Рис. 5**. Специалисты инсталляционных компаний, которые непосредственно реализуют проекты построения информационной кабельной системы на объектах недвижимости, применяли для этого проектный подход и решали задачу наращивания предельной дальности связи каждый раз индивидуально. Например, выполнение норм по параметру skew подтверждалось успешным прохождением приемо-

сдаточных измерений, а заданная достоверность передачи – прохождением тестов канального уровня на количество сбойных пакетов или вероятность битовой ошибки. При реализации этой части такой СКС формальное соответствие нормативным требованиям как необходимое условие выдачи системной гарантии обеспечивалось тем, что нестандартные по меркам горизонтальной подсистемы удлиненные кабельные тракты организационно выводились на уровень магистральных подсистем. В данной части проводки, как известно, допустимая протяженность тракта может достигать даже 2000 м, а перечень контролируемых параметров по сравнению с горизонтальной подсистемой иногда сокращается в разы за счет контроля только на соответствие требованиям конкретного приложения. Обращение к такому приему означает, что фактически заказчику предлагалась так называемая исключительная кабельная система.

Промышленность первоначально не проявляла большой активности в вопросе наращивания дальности связи из-за относительно небольшого количества запросов. До последнего времени компании, занимающиеся производством СКС, не предлагали партнерам технику, которая целенаправленно рассчитана на построение трактов увеличенной протяженности. Известны немногочисленные примеры активности в этом направлении, реализованные на уровне фирменных норм. Причем это было полноценное расширение с точки зрения поддержки, т. е. на кабельную систему производителем СКС выдавалась обычная системная гарантия.



Впервые данный прием был использован в массовой практике реализации проектов еще в середине 90-х годов прошлого столетия. Первым таким примером стало создание СКС типа LAN Connect английской компанией ITT Network Systems & Services (позднее вошла в состав концерна Nexans). В этой системе разрешалось построение 140-метровых трактов при скорости передачи не выше 100 Мбит/с. При этом производитель СКС предусмотрел определенную проектную гибкость за счет обеспечения обратной совместимости со стандартными конфигурациями в случае поддержки функционирования перспективных на тот момент сетевых интерфейсов 1G Ethernet. Данное полезное свойство обеспечивалось возможностью возврата к стандартной топологии. Для этого тракт увеличенной протяженности формировался по составной схеме с обязательным выделением в нем стационарной линии протяженностью не более 90 м, **Рис. 6.**

Два десятилетия спустя похожим приемом, но в рамках полномасштабных простых структур, воспользовались компании Reichle & De-Massari и Corning Cable Systems, продукция которых допускает 130-метровые 4-коннекторные экранированные тракты класса EA (категории 6A) за счет использования имеющихся запасов.

Техническая возможность построения кабельных трактов увеличенной протяженности

Кабельный тракт СКС должен обеспечить заданное качество функционирования сетевого интерфейса, определенного или более низкого по отношению к основному класса.

Обязательным условием достижения этого становится, в первую очередь, выполнение норм:

- по соотношению сигнал/шум, которое отображается параметрами ACR в различных формах его задания и позволяет гарантировать определенную вероятность битовой ошибки передаваемого сигнала;
- параметру skew, который обеспечивает поддержание заданного качества синхронизации отдельных субканалов при использовании механизмов параллельной передачи на скоростях 1 Гбит/с и выше.

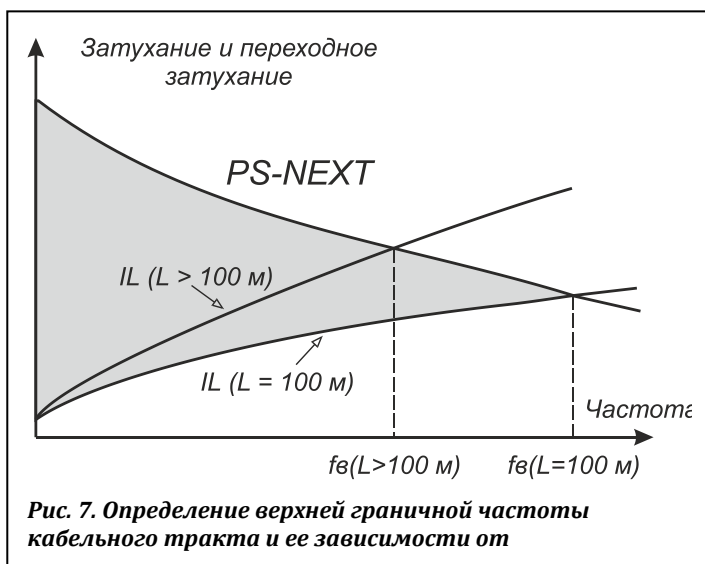
Нарастить дальность связи можно только при наличии у классических стандартных кабельных трактов СКС запасов по этим параметрам.

Нормирование характеристик стационарных линий и трактов осуществляется в стандартах на наиболее сложный случай стационарных линий и трактов в варианте их исполнения U/UTP.

Таким образом, создать необходимые запасы по ACR можно простым переходом на технику с экранированием витых пар. Сказывается то, что применение пленочных индивидуальных экранов в конструкциях типа X/FTP позволяет получить выигрыш по переходному затуханию как минимум в 20 дБ с соответствующим улучшением параметра ACR.

Свою роль играет также:

- увеличение шага скрутки витых пар, что приводит к уменьшению прямо влияющего на затухание коэффициента укрутки;
- заметно меньший рост шлейфового сопротивления при повышенной температуре эксплуатации, что наиболее ярко проявляется для экранированных кабелей SF/FTP.



Важность последнего определяется повышенными температурами, при которых зачастую эксплуатируется линейная часть структурированной проводки при использовании кабельных трасс в пространстве за фальшпотолком.

Что же касается параметра skew, то, как отмечалось выше, типовые конструкции горизонтальных кабелей СКС демонстрируют в этом плане достаточно большие запасы. Их величина наглядно отображена на Рис. 4.

Определенного, хотя и довольно незначительного выигрыша в снижении вероятности битовой

ошибки можно добиться чисто проектными приемами. Для этого тем или иным образом ослабляется затухание линейной части тракта, а также минимизируется количество коннекторов в его составе, которые, как известно, отличаются большой «шумностью» из-за неизбежного нарушения фабричной скрутки витых пар при их подключении к оконцевателям. Соответствующие мероприятия рассматриваются далее.

Хорошим внешним признаком возможности наращивания предельной протяженности тракта становится нормирование параметров линейного кабеля на частотах, превышающих предельную «по категории». С учетом определения границы как частоты с единичным

соотношением сигнал/шум ($ACR = 0$) это автоматически означает наличие у такого изделия запаса по пропускной способности, который может быть израсходован на увеличение предельной протяженности тракта. В графической форме данный эффект демонстрирует **Рис.7.**

Разновидности гарантийной поддержки СКС

На окончательно построенную информационную кабельную систему производитель должен официально выдать системную гарантию. Только после этого смонтированная на объекте недвижимости высокоскоростная кабельная проводка согласно положениям стандартов, формально становится СКС.

Возможность построения кабельных трактов увеличенной протяженности не должна оказывать по меньшей мере значимого влияния на типовой для отрасли уровень этого документа, выдаваемого производителем СКС. Полноценное решение данного вопроса не представляет больших сложностей с учетом следующих соображений.

Стандарты исходят из постулата универсальности СКС на уровне горизонтальной подсистемы. Положение о полной универсальности СКС не носит абсолютного характера. Необходимость отказа от его строгого выполнения с целью наращивания экономической эффективности отмечалась уже в середине второго десятилетия официального существования техники СКС.



Рис. 8. Разновидности гарантий системного уровня

Производитель вправе формировать условия фирменной гарантийной поддержки по своему усмотрению, но значимость таковой в глазах заказчика значительно возрастает при опоре на общепризнанный нормативный документ. В случае классической системной гарантии, которую допустимо охарактеризовать как структурную, функции такого документа возлагаются на стандарт международного, регионального или национального уровня. В случае отказа от одного из ключевых требований классической гарантии, а именно 100-метрового ограничения протяженности горизонтального кабельного тракта возможность сослаться на стандарт сразу же исчезает. Данная юридическая коллизия может без каких-либо проблем немедленно устранена

соответствующей коррекцией условий поддержки. В результате она трансформируется в гарантию по приложению, **Рис. 8.** Иначе говоря, гарантируется работоспособность конкретного приложения или их группы из закрытого перечня, а также, возможно, приложений низших классов. Официальной основой такой гарантии могут служить положения Технического системного бюллетеня TSB-5073, который разрабатывает в настоящее время Ассоциация телекоммуникационной промышленности США.

Целесообразность такого подхода дополнительно усиливается тем, что:

- достигнутый к настоящему времени уровень проработки положений содержательной части бюллетеня указывает на близость его разработки к завершению, т.е. вероятность значимой коррекции его краеугольных положений близка к нулю;
- с учетом практики, сложившейся в отрасли, весьма вероятно, что положения TSB будут полностью или же с незначительными изменениями включены в следующую редакцию стандартов ANSI/TIA-568.

Особенности TSB-5073 как основы системной гарантии

TSB-5073 представляет собой технический системный бюллетень. Из этого прямо следует, что включенные в него положения, касающиеся качественных параметров передачи по электропроводным кабельным трактам СКС, следует рассматривать как рекомендации, а не как обязательные требования. Основная цель документа – предоставить специалистам информативное руководство по обеспечению целостности сигнала и надежной работы кабельных систем длиной более 100 м. Соответственно, TSB-5073 включает информацию по параметрам кабельной проводки и лежащих в ее основе компонентов, предназначенных:

- для поддержания функционирования сетевых интерфейсов Ethernet, работающих на скоростях от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с;
- аппаратуры PoE типов 1...4.

В основу построения кабельных трактов протяженностью свыше 100 м могут быть положены два принципиально различных подхода.



Первый подход, который можно назвать проектным, основан на отработке решения в целом с привлечением классических способов анализа условий функционирования приемника сетевого интерфейса при воспроизведении данных, поступающих на него с кабельного тракта. Численной мерой корректности его функционирования становится поддержание заданной вероятности битовой ошибки интерфейсов определенного класса или их группы. Такой подход учитывает ряд реалий фактически достигнутого уровня техники. К таковым относятся типовые запасы, которые закладывают в продукцию, выпущенную конкретным производителем СКС, поведение элементной базы при повышенной температуре окружающей среды и аналогичные им, **Рис. 9.**

Эмпирический подход предполагает тестирование построенной линии на втором уровне модели OSI. Критериями соответствия в данном случае могут служить фактически достигаемая вероятность битовой ошибки, статус линка коммутатора и иные аналогичные параметры. В качестве эффективного вспомогательного инструмента для решения данного вопроса можно привлекать перечни рекомендованного активного оборудования, указания по предпочтительной конфигурации кабельного тракта и их аналоги.

Обозначенный подход не является чем-то новым в отрасли. Ранее он был использован применительно к тем проводным интерфейсам скоростных диапазонов 2,5 и 5 Гбит/с, которыми оборудуются точки доступа Wi-Fi стандарта IEEE 802.11ac и IEEE 802.11ax (Wi-Fi 5 и Wi-Fi 6 соответственно). Для их эффективного использования в проектах предложены рекомендации, которые позволяют строить работоспособные кабельные тракты различной протяженности на элементной базе категорий 5е и 6, которая изначально не была предназначена для решения таких задач. Разработчики рекомендаций воспользовались эволюционным совершенствованием этой техники, которая изначально не рассчитывалась на расширенный частотный диапазон. Единственным дополнительным условием является проведение верификационного тестирования.

В основу TSB 5073 положен проектный подход. При его разработке предполагается учет наилучшего сочетания:

- параметров применяемой элементной базы;
- структуры создаваемого кабельного тракта;
- внешних условий области инсталляции, в первую очередь температуры.

Эта особенность позволяет гарантировать обеспечение такого отношения сигнала к шуму на входе решающего устройства проводного интерфейса точки доступа, которое гарантирует обеспечение заданной вероятности битовой ошибки. Дополнительно в последнюю версию бюллетеня включены рекомендации по подбору кабелей и разъемов, а также описаны соображения по поводу организации полевого тестирования смонтированных линий.

Последнее не составляет больших проблем, так как ведущие производители кабельных сканеров (Fluke Networks, AEM) предусматривают в своей технике штатную возможность выполнения измерений на соответствие требованиям аппаратуры конкретных приложений.

Ограничения по TSB-5073

Единственным серьезным ограничением, касающимся построения линий в соответствии с положениями TSB-5073, становится потеря в общем случае кабельными трактами свойства универсальности. Иначе говоря, они проектируются для поддержки конкретных приложений, скоростей и сетевого оборудования.

При переходе на новую разновидность техники, даже такой, которая формально относится к тому же классу, возможность ее работы по ранее построенному тракту обязательно должна подтверждаться соответствующими измерениями. При отрицательном результате тестирования потребуется построение новых стационарных линий. Соответственно, возможность выполнения этой процедуры должна быть предусмотрена на архитектурной стадии выполнения проекта СКС.

Потенциально повышенная вероятность необходимости вмешательства в линейную часть кабельной системы должна быть учтена соответствующей маркировкой. Последнюю целесообразно выполнять в соответствии с требованиями профильного стандарта ANSI/TIA-606C. В связи с этим важность документирования и маркировки кабелей стационарных линий увеличенной протяженности переходит в разряд критически важных. TSB-5073 фиксирует эту проблему и отдельно рекомендует обратить внимание на маркировку с отражением в эксплуатационной документации.

Рекомендации по построению линий увеличенной протяженности

В процессе проектирования линий увеличенной протяженности необходимо придерживаться следующих базовых рекомендаций.

1. Максимальная протяженность витопарного кабельного тракта может достигать 200 м, а конкретное значение этого параметра зависит от ряда факторов.
2. При построении кабельных трактов увеличенной протяженности целесообразно минимизировать количество коннекторов и применять структуры интерконнекта для настольной терминальной техники и MPTL для подключения устройств цифрового потолка.
3. Наличие консолидационных точек исключается.
4. В линейную часть трактов увеличенной протяженности целесообразно закладывать кабель категории 6А и выше или же строить ее на основе кабелей PoE с токопроводящей жилой витых пар диаметром 0,64 мм.
5. Стационарные линии увеличенной протяженности при наличии технической

возможности целесообразно выполнять на экранированной элементной базе благодаря ее лучшей устойчивости к действию повышенной температуры и увеличенному шагу скрутки.

Заключение

1. Кабельные тракты СКС увеличенной протяженности весьма востребованы в массовой практике реализации проектов и представляют собой ценный ресурс при построении современных внутриобъектовых информационно-телекоммуникационных систем.
2. Кабельные линии увеличенной протяженности могут полноценно включаться в область действия системной гарантии производителя СКС.
3. Кабельные тракты увеличенной протяженности следует рассматривать как решение особого класса задач, а не как замену стандартной инфраструктуре.
4. Задаваемый TSB-5073 проектный подход к нормированию характеристик заметно расширяет проектную и эксплуатационную гибкость кабельных трактов увеличенной протяженности.
5. Компания Евролан предлагает решение для создания линий свыше 100 м на базе кабелей V-LINK <https://eurolan.ru/products/72/>. Решение широко применяется в проектах, где требуются линии более 100 м, например, в системах видеонаблюдения. Также нами разработана программа тестирования таких линий для постановки на системную гарантию.