

Почему волоконная оптика не заменит кабели из витых пар в обозримой перспективе

Семенов Андрей Борисович, д.т.н., директор по науке ООО СУПР,
профессор кафедры Автоматизации, механизации и роботизации в
строительстве и кафедры Многоканальных телекоммуникационных систем
МТУСИ

Саранск, 21 октября 2025 года

Исполнение экранов кабелей из витых пар

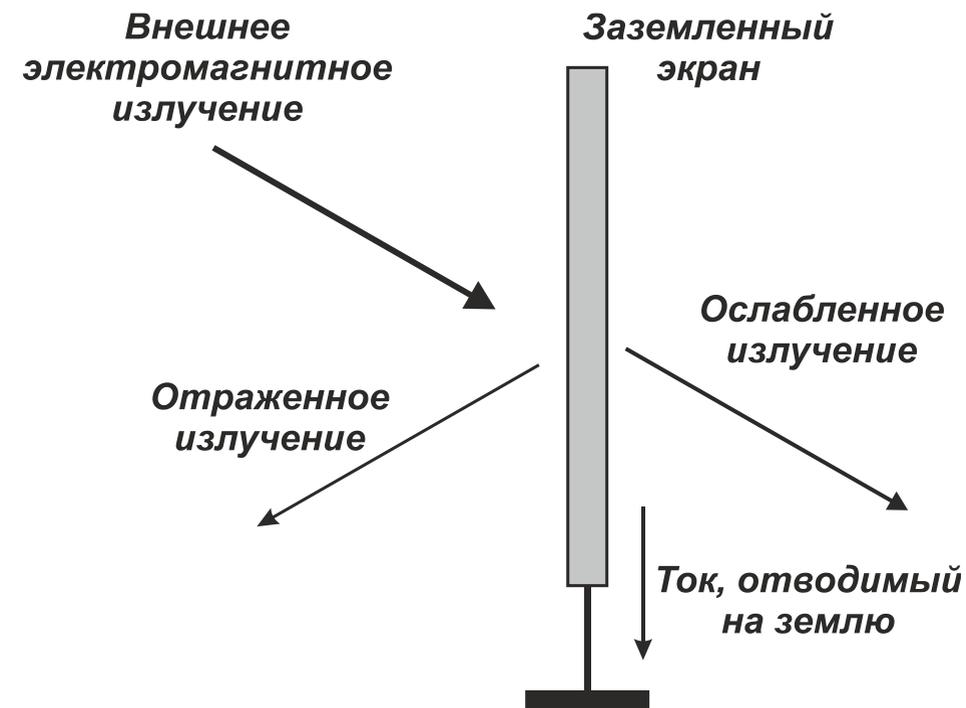
При конструировании кабелей из витых пар применяется экранирование как отдельных цепей передачи, так и их групп (попарно или кабельного сердечника целиком).

Экранирование кабелей из витых пар может быть выполнена в виде плотной проволочной оплетки или тонкой пленки с односторонней металлизацией.

Оплетка обеспечивает наибольшую эффективность подавления электромагнитного излучения в низкочастотной части спектра, т.е. на частотах до 10 МГц и де-факто работает по схеме “на отвод” помехи на землю. Пленка, напротив, хорошо работает на частотах свыше 15 – 20 МГц, т.е. в высокочастотной части рабочего спектрального диапазона и функционирует в режиме “на отражение”.

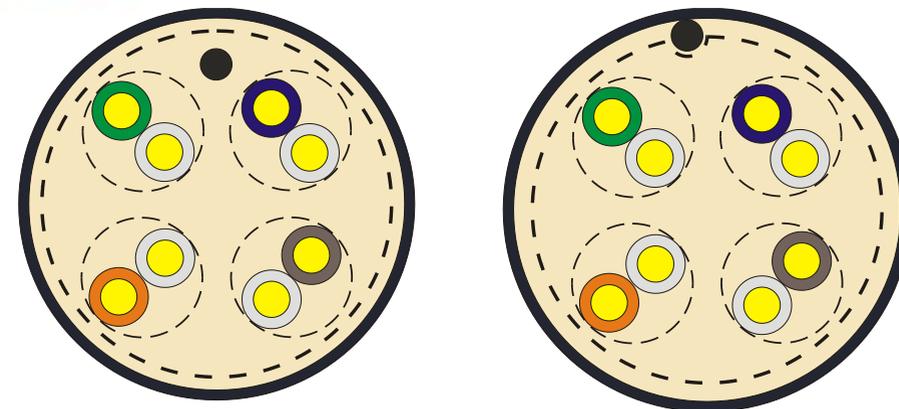
Совокупность данных обстоятельств означает, что широкополосное экранирование требует применение комбинированного экрана из проволочной оплетки и металлизированной пленки.

Пленочный экран может использоваться как для отдельной пары, так и выполняться общим для всего сердечника. Из-за значительного диаметра отдельных проволок оплетки использование оплеточного экрана, индивидуального для каждой витой пары, не целесообразно из-за значительного роста общего диаметра кабеля и снижения его гибкости.



Особенности исполнения пленочных экранов

Пленочный экран не отличается высокой механической прочностью и при внештатных режимах прокладки и/или эксплуатации кабеля пленка рвется, в результате чего эффективность экранирующего покрытия резко падает. Для сохранения приемлемых значений подавления помехи в состав конструкции экранированных кабелей может вводиться так называемый дренажный проводник. Он представляет собой луженый неизолированный провод, который находится в структуре сердечника и входит в прямой гальванический контакт с металлизацией экранирующей пленки. При разрыве пленки дренажный провод перемыкает место разрыва и сохраняет, тем самым, электрическую непрерывность экрана.



В том случае, если в конструкции кабеля предусматривается экран оплеточного типа, дренажный проводник можно не применять, т.к. его функции берет на себя оплетка. Иногда он сохраняется в таких конструкциях, но только из соображений обеспечения единообразия технологии изготовления кабелей различных разновидностей.

В случае недостаточной эффективности одиночного пленочного экрана применяется многослойный пленочный экран. Иногда данный факт в явном виде отражается в фирменной документации кабеля. Например, известно использование аббревиатур F1/UTP и F2/UTP для обозначения кабелей с общим одно- и двухслойным пленочным экраном, соответственно.

Незаземленные пленочные разрывные экраны

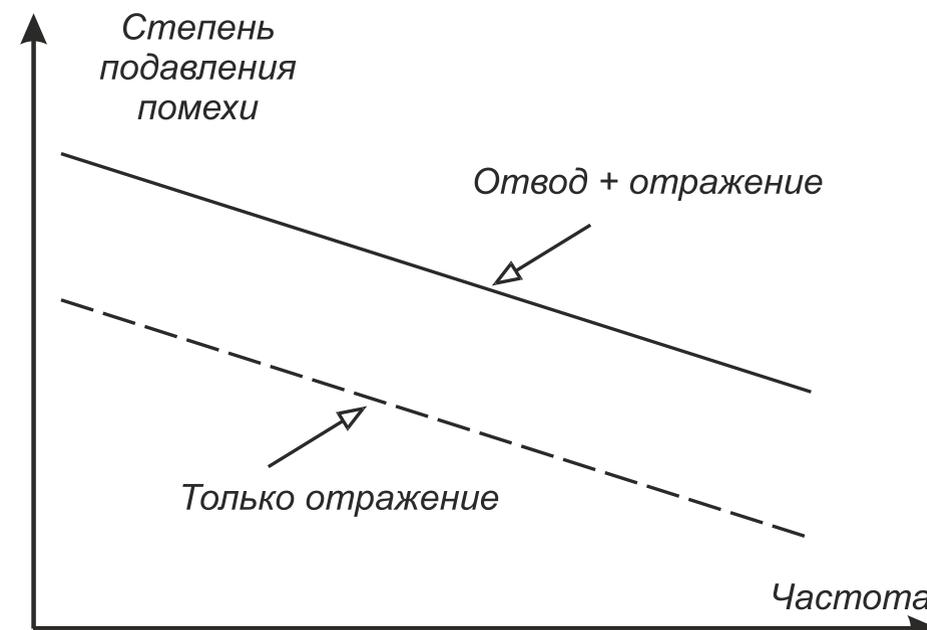
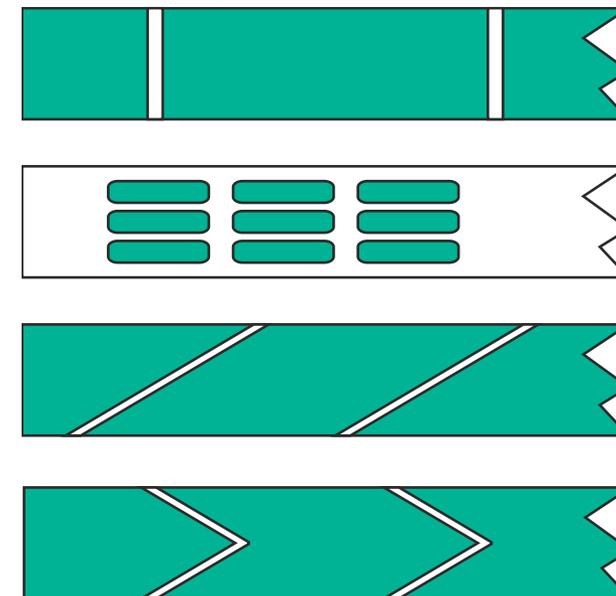
Внедряется ряд более сложных конструкций кабеля, направленных на увеличение эффективного внешнего диаметра (верхняя группа решений – примеры) и уменьшение внешнего диаметра как естественная реакция на увеличения количества горизонтальных и шнуровых кабелей (нижняя группа решений). Для снижения межкабельной переходной помехи широко применяются незаземленные экраны в различном исполнении (так называемые полуэкранированные конструкции).

В основу применения незаземленного разрывного экрана положена пара следующих простых соображений:

- эффективность механизмов подавления помехи примерно одинакова;
- обеспечиваемая заземленным экраном степень подавления помехи в 40 дБ избыточна для основной массы областей применения.

Переход на полуэкранированные конструкции выгоден

- снижением массы и внешнего диаметра кабелей высоких категорий;
- сохранением простоты монтажа неэкранированных кабелей.



Система обозначений кабелей из витых пар – 1(2)

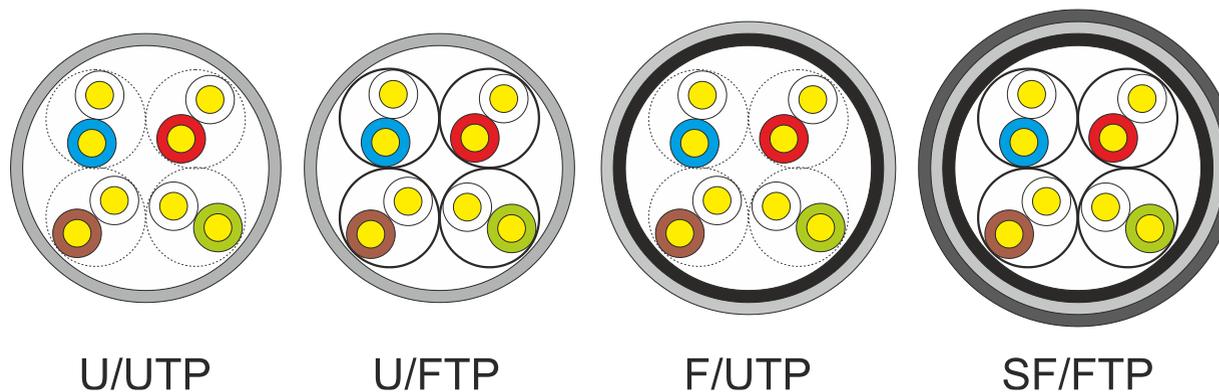
При описании общих характерных признаков кабелей из витых пар СКС удобно использовать буквенный код, принципы формирования которого были впервые определены в международном стандарте ISO/IEC 11801 еще в 2001 году. Согласно подходу этого нормативного документа любой кабель СКС из витых пар описывается кодом вида

$$X_1X_2 / Y_1Y_2P$$

Левая часть этого кода до косой черты определяет исполнение общих покрытий, вторая правая часть – описывает конструкцию элементов сердечника в предположении того, что они имеют идентичное исполнение. Возможные значения отдельных позиций кодирующего индекса приведены в таблице на следующем слайде.

Схема описания стандарта ISO/IEC 11801 в трактовке этого нормативного документа относится к горизонтальным 4-парным кабелям. На практике она по умолчанию распространяется также на многопарные конструкции.

Схема кодирования стандарта ISO/IEC 11801 носит открытый характер и при необходимости легко расширяется в нужном направлении. Так, например, в случае применения т.н. экрана разрывного типа, получившего определенное распространение в конструкциях категории 6А, таковые могут описываться как BF/UTP (в данном случае В трактуется как break – разрыв).



Система обозначений кабелей из витых пар – 2(2)

Позиция	Буквенный индекс	Расшифровка	Примечание
Оболочка			
X ₁	U	Unshilded (неэкранированный)	Полное отсутствие экранов
	F	Foil (пленка)	Экран из металлизированной пленки
	S	Screen (оплетка)	Экран оплеточного типа
X ₁ X ₂	SF	S + F	Комбинированный экран
Отдельные витые пары кабельного сердечника			
Y ₁	U	Unshilded (неэкранированный)	Полное отсутствие экранов отдельных пар
	F	Foil (пленка)	Экран отдельных пар из металлизированной пленки
Y ₂	T	Twisted (витая пара)	Парная скрутка
	Q	Quad (четверка)	Четверочная скрутка
P		Pair	Симметричный кабель

Экранирование и затухание

Экранированные конструкции имеют несколько меньшее затухание по сравнению с неэкранированными.

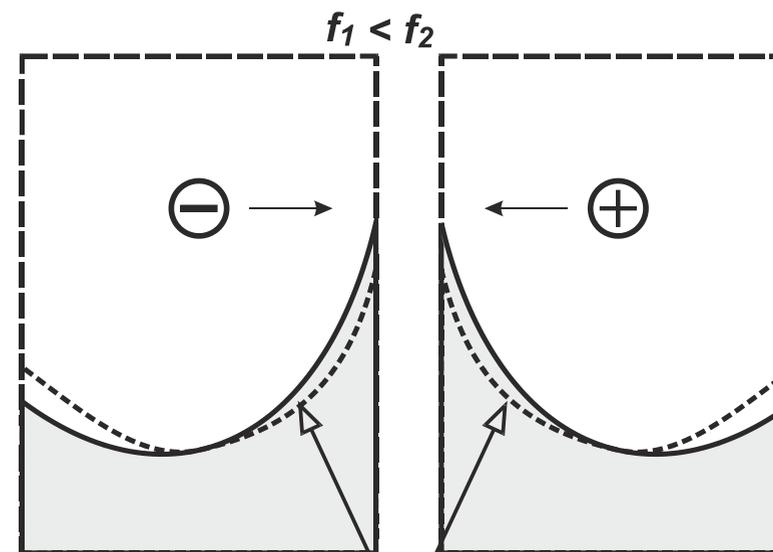
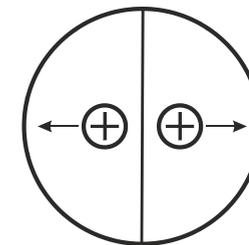
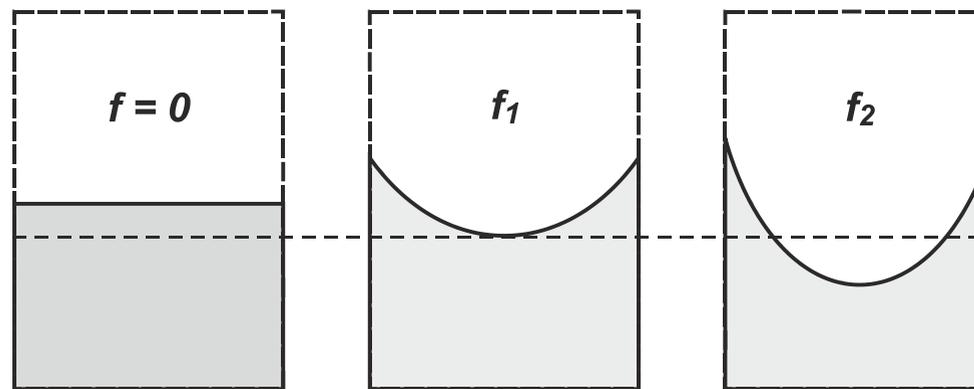
Затухание кабелей их витых пар определяется четырьмя основными процессами

- поверхностный эффект;
- эффект близости;
- потери в диэлектрике;
- потери на НЧ-рассогласование.

В экранированных конструкциях за счет влияния экрана происходит перераспределение тока, что сопровождается увеличением эффективной площади сечения проводника, т.е. определенным подавлением эффекта близости, что влечет за собой некоторое снижение затухания.

В качественной форме происходящие процессы демонстрируют эскизы в правой части слайда.

Распределение плотности тока по сечению провода на разных частотах



Перераспределение тока за счет влияния экрана

Экранирование и гибкость шнуровых кабелей

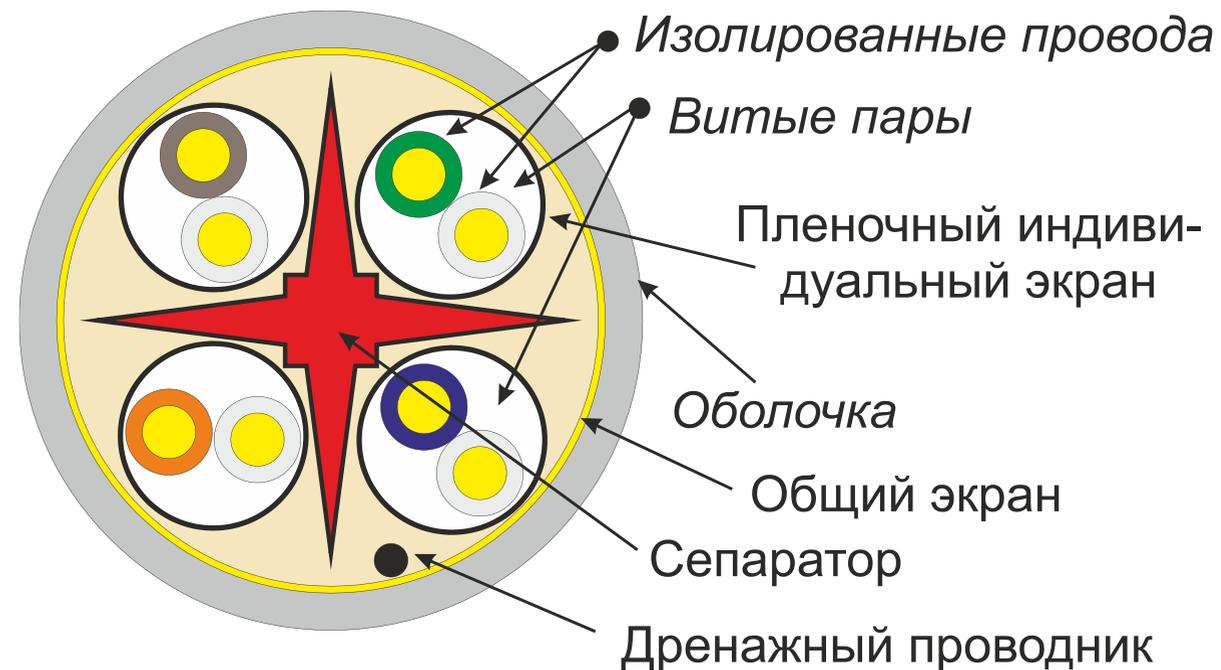
Для U/UTP-конструкций высоких категорий характерно применение сепараторов, которые не позволяют уменьшить расстояние между отдельными витыми парами меньше некоторого порогового значения.

Наибольшее распространение на практике получили 4-камерные сепараторы звездообразного типа, которые представлен в качестве примера на эскизе.

Обоснованный отказ от этого конструктивного элемента в случае перехода, например, на U/FTP-конструкцию позволяет увеличить гибкость кабеля за счет

- снижения его диаметра;
- устранения жесткого элемента конструкции,

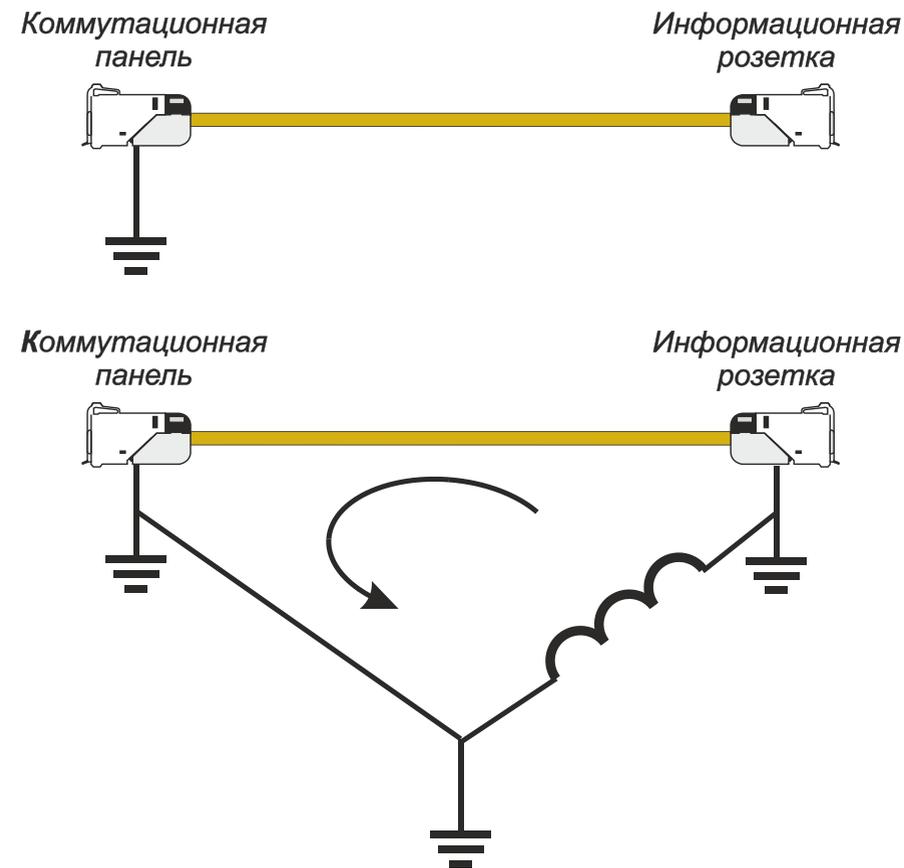
что имеет важное значение именно для шнуровых кабелей. Данной возможностью пользуются некоторые производители СКС применительно к продуктам категории 6 и выше, в которых вместо U/UTP-шнуров используются именно U/FTP-варианты.



Экранированные СКС и заземление

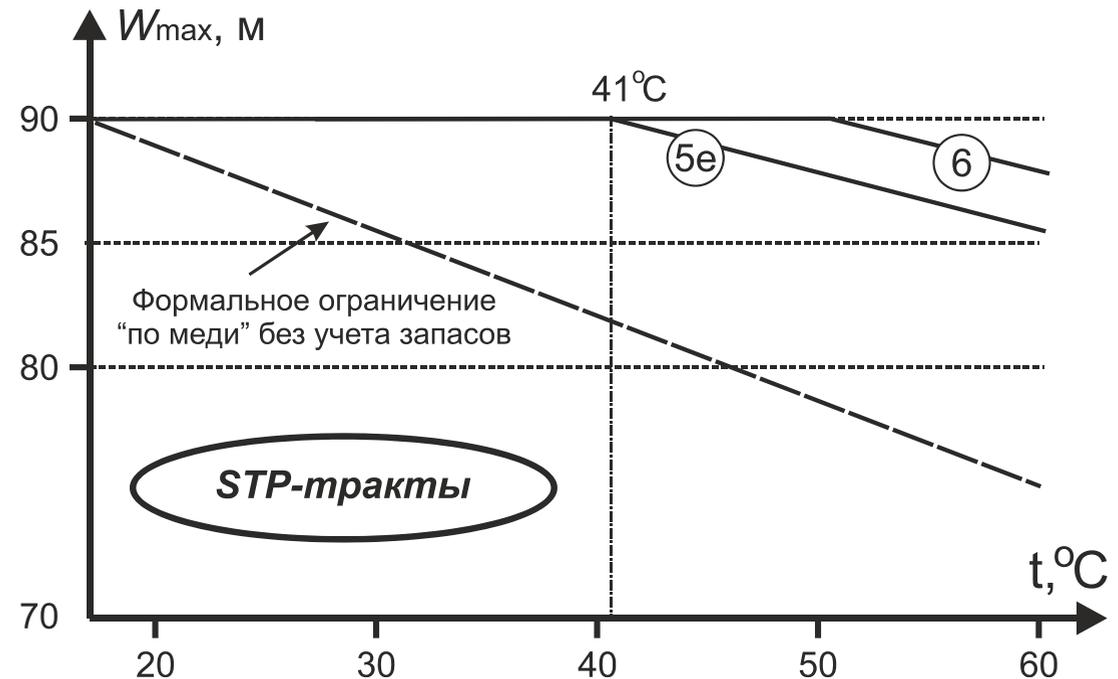
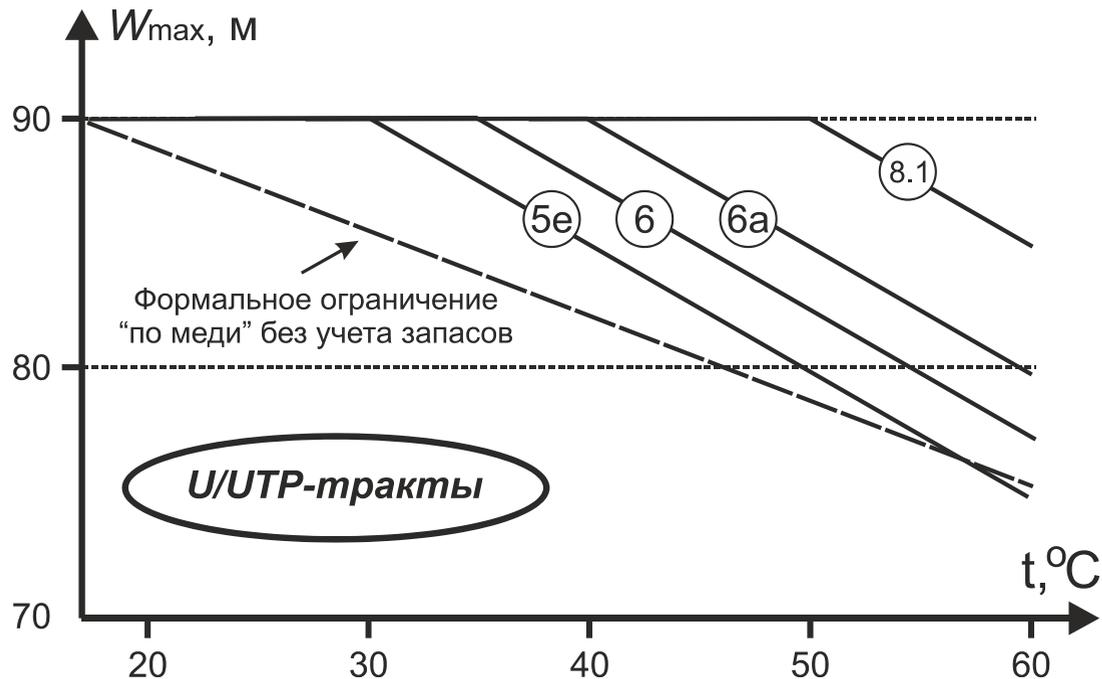
Необходимым условием нормального функционирования экранированной СКС является наличие на объекте ее установки качественного телекоммуникационного заземления. Наличие только защитного заземления недостаточно из-за того, что его параметры не гарантируются на частотах формально свыше 50 Гц. Согласно ПУЭ в 7 редакции Измерения могут проводиться на постоянном токе, переменном токе промышленной частоты (для нашей страны это частота 50 Гц), а также переменном токе высокой частоты (частота порядка сотен Гц и выше). Опыт показывает, что на частотах свыше 1 МГц такое заземление начинает вести себя непредсказуемо.

В тяжелых случаях наличие заземления может привести даже к противоположному эффекту и за счет образования токовой петли экранированная СКС начинает функционировать даже хуже неэкранированной. Сказывается то, что из-за увеличенного реактивного сопротивления образуется токовая петля, которая начинает функционировать как рамочная антенна и перехватывает электромагнитные поля соседних источников, передавая затем на отдельные витые пары. В графической форме риски возникновения такого эффекта при двухстороннем заземлении демонстрирует эскиз.



На значительной части протяженности трассы прокладки кабелей из витых пар находятся за фальшпотолком. Образованное им пространство не кондиционируется по двум основным причинам:

- эксплуатационная дороговизна этой процедуры (затраты на снижение температуры в помещении на 1°C более чем в три раза превышают таковые на нагрев);
- соображения пожарной безопасности: пространство за фальшпотолком относится к т.н. пленум-областям и принудительная подача в них дополнительного объема кислорода вместе с потоком воздуха значительно затрудняет выполнение противопожарных норм.



Из-за прокладки за фальшпотолком линейные горизонтальные кабели оказываются в среде с температурой заметно выше тех

Категория кабелей	Калибр провода	Исполнение	Рост температуры, °C
5e	AWG24	U/UTP	10
5e	AWG24	STP	8
6	AWG23	U/UTP	8
6a	AWG23	U/UTP	6
6a	AWG23	STP	5
7, 7a	AWG23	STP	4

20°C, на которых нормируются их параметры. Дополнительно эти кабели, особенно центральные кабели в пакете, могут нагреваться под действием токов дистанционного питания, которое поступает на терминальное оборудование в случае использования технологии PoE. Величина повышения температуры весьма значительна с точки зрения влияния на параметры, в первую очередь затухания, ее ожидаемые максимальные значения на основании статистических данных IEEE приведены в таблице.

Из данных таблицы предыдущего слайда прямо вытекает, что экранированная техника намного лучше противостоит повышенной температуре.

Однако, полноценно использовать это преимущество затруднительно, т.к. модель IEEE рассчитана на худший случай, т.е. де-факто оказывается слишком грубой и значимого нагрева кабелей на всем протяжении трассы прокладки не происходит.

Заключение

1. Экранированные тракты на основе кабелей из витых пар потенциально обеспечивают лучшие качественные показатели передачи информации по сравнению с неэкранированными.
2. Экранированные тракты на основе кабелей из витых пар существенно лучше поддерживают функционирование системы дистанционного питания по технологии PoE при высоких уровнях нагрузки по сравнению с неэкранированными.
3. Потенциальные возможности экранированных кабельных трактов не могут быть полноценно реализованы на практике из-за отсутствия нормального телекоммуникационного заземления на объектах недвижимости различного назначения.
4. Безусловная необходимость в применении экранированных кабельных трактов при построении физического уровня внутриобъектовых информационных систем в настоящее время отсутствует. Иначе говоря, экранированные СКС являются функционально избыточными для офисных условий применения.
5. Экранированная техника из витых пар должна использоваться в промышленных областях с тяжелыми электромагнитными условиями, а также, в варианте SF/FTP, при выдвигении особых требований к технической безопасности.

