

# Почему растет категория кабелей из витых пар

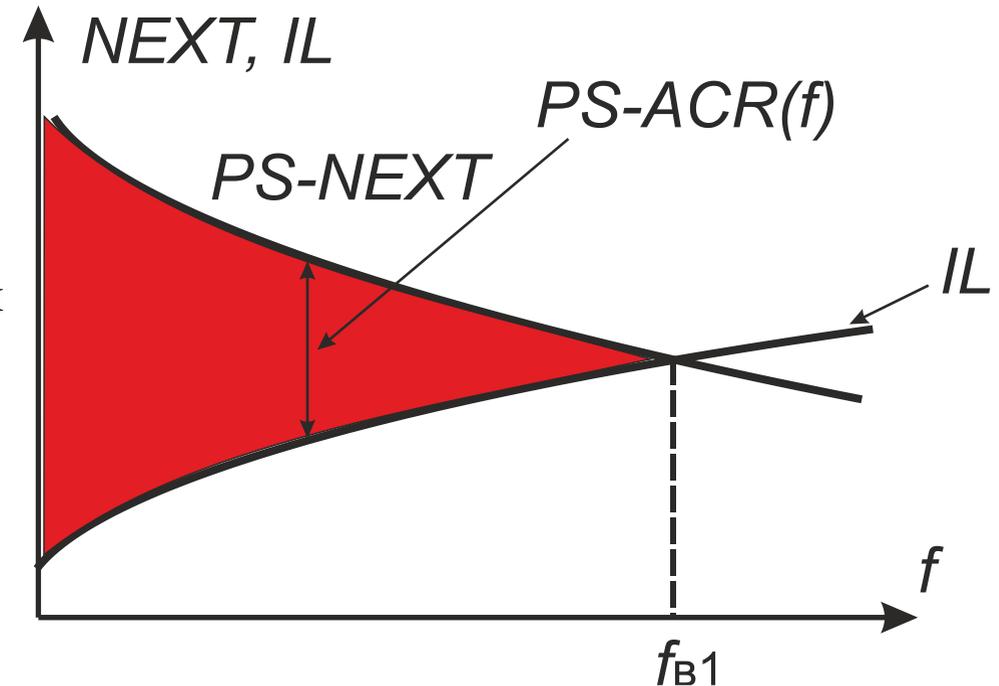
Семенов Андрей Борисович, д.т.н., директор по науке Компании СУПР  
профессор кафедры Автоматизации, механизации и роботизации в  
строительстве НИУ МГСУ и кафедры Многоканальных  
телекоммуникационных систем МТУСИ,

Саранск, 21 октября 2025 года

# Основные причины роста категории кабелей из витых пар

Одним из трендов эволюционного развития СКС является заметный рост необходимости поддержки централизованных структур вновь вводимых в состав ИТС систем, что связано с увеличением дальности действия за пределы классических 100 м. Полноценно решить эту задачу в рамках классической элементной базы не удастся: современные информационные системы за счет применения глубокой обработки сигналов как на приеме, так и на передаче, демонстрируют очень высокую степень утилизации имеющихся ресурсов кабельных трактов. Последняя согласно рекомендациям IEEE достигает 60-70% от потенциальной пропускной способности, задаваемой пределом Шеннона.

Стандарты СКС легко решают эту задачу применением волоконно-оптической техники, которая в случае обращения к одномодовому варианту обеспечивает дальность действия свыше 100 км. Однако, при этом возникает проблема дистанционного питания терминального устройства (построение системы по схеме с центральной батареей, которая широко применялась на сетях телефонной связи еще более 100 лет тому назад). Эффективно решить эту задачу можно только с помощью комбинированных (гибридных) кабелей. С учетом того, что вновь вводимые в состав ИТС системы с централизованной архитектурой расширяют ее объемы (по точкам подключения) на значимые массовой практики реализации проектов по крайней мере 10-15% эту разновидность кабелей необходимо вводить в состав элементной базы СКС.



# Многофункциональность кабеля из витых пар

Физический уровень внутриобъектовых информационных систем и сетей доступа операторов связи использует одноплатные технологии и во многом схожее пассивное и активное оборудование. В частности, применяется технология Ethernet (в различных вариантах ее реализации, например, в сетях PON) и кабели из витых пар.

Тем не менее, даже при наличии таких начальных условий в части физического уровня между ними категорически нельзя ставить знак равенства. Сказывается значимое различие в части задач, решаемых кабелями из витых пар. При реализации СКС как основного средства построения физического уровня внутриобъектовых информационных систем кабель из витых пар является многофункциональным компонентом и обеспечивает не только доставку информационного сигнала на терминальное устройство, но и, в ряде случаев, его дистанционное питание по технологии PoE.

При построении сетей доступа

- не требуются высокие скорости (по состоянию на сегодняшний день скорость даже 1 Гбит/с избыточна);
- не применяется дистанционное питание по технологии PoE.

Именно совокупностью этих факторов объясняется столь высокая популярность в провайдинге нестандартных для СКС кабелей с уменьшенным менее 0,5 мм диаметром ТПЖ и прямо запрещенной ГОСТ Р 54424 “омедненки”.



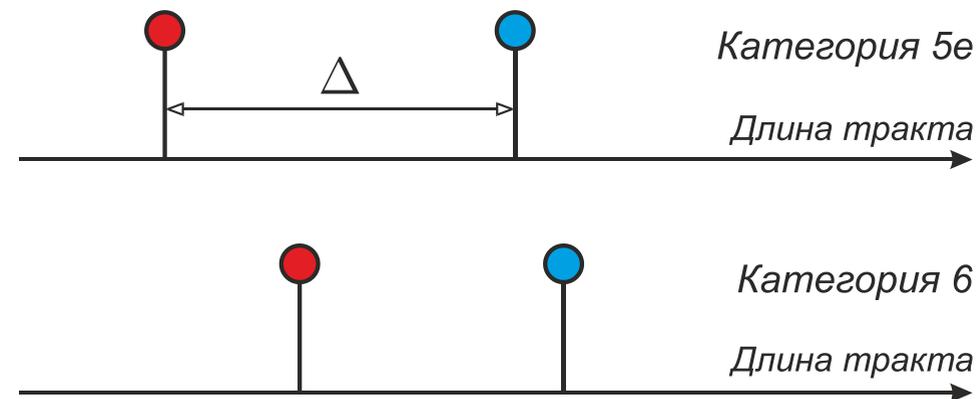
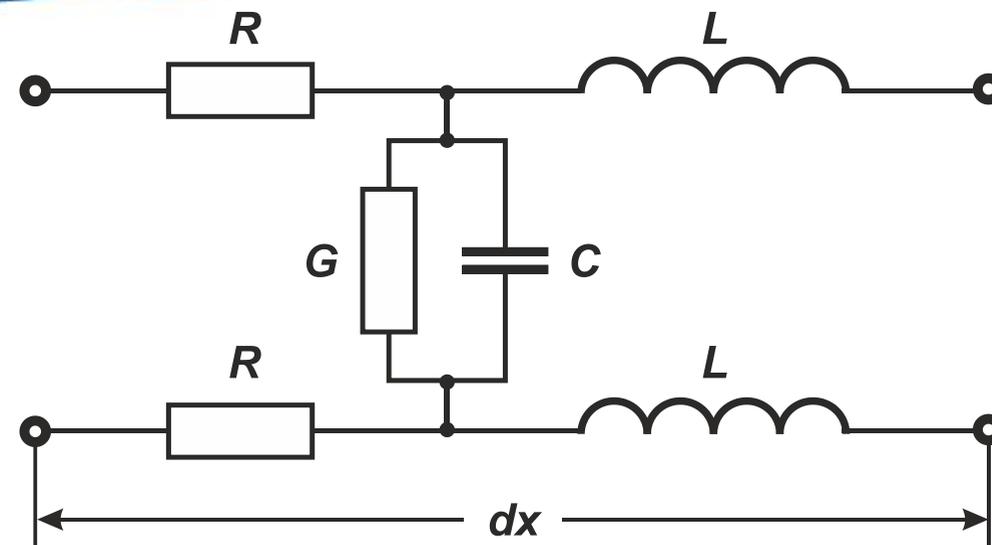
# Влияние диаметра ТПЖ на предельную протяженность тракта

Кабель из витых пар, применяемый в составе СКС, является многофункциональным компонентом. Предельная протяженность тракта определяется минимальным значением, полученным как ограничение по

- качеству передачи через отношение сигнала к шуму (фактически параметр АСR) на входе приемника сетевого интерфейса;
- величине шлейфового сопротивления, при котором блокируется функционирование источника PoE.

С учетом того, что величина коэффициента затухания  $\alpha$  на основании эквивалентной схемы при уменьшении  $R$  из-за наличия потерь в диэлектрике падает несколько медленнее шлейфового сопротивления при увеличении диаметра ТПЖ, т.е. при переходе на технику категории 6 относительный разрыв между ограничениями по PoE и АСR уменьшается, что означает более рациональное использование техники.

С учетом стремления разработчиков стандартов предельно упростить инженерные расчеты принято решение о “принудительном” переходе на технику категории 6.



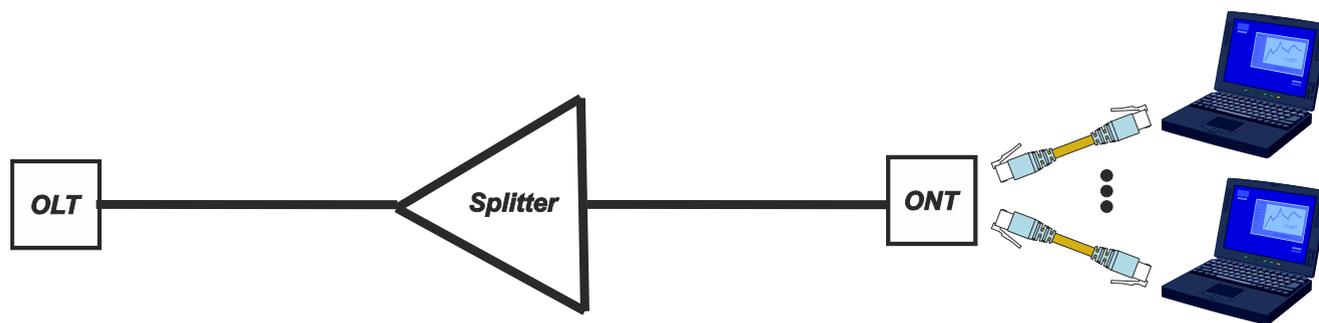
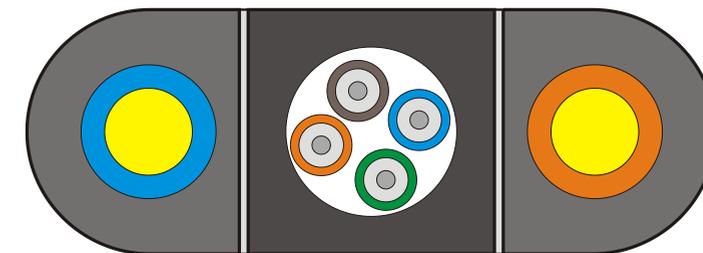
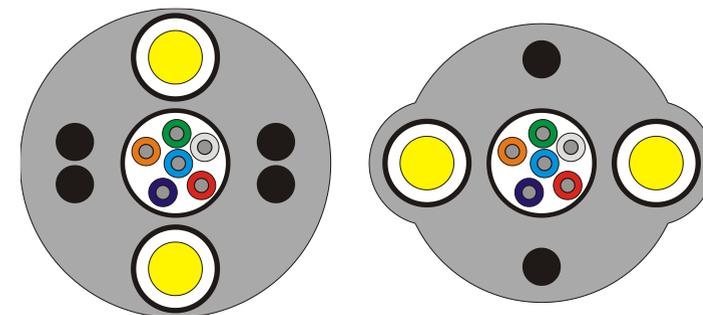
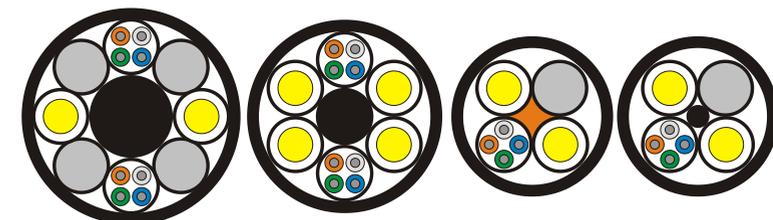
Легенда:
   
 Ограничение по PoE — 
  
 Ограничение по АСR — 

# Гибридные кабели с жилами дистанционного питания

Гибридные (иначе комбинированные) кабели отличаются тем, что содержат, наряду с волоконными световодами, также медные жилы для передачи тока дистанционного питания или сигналов классической телефонии. Применяются в тех ситуациях, когда в процессе реализации информационной системы приходится создавать комплекс из пассивного и активного сетевого оборудования. Отличаются тем, что наряду с волоконными световодами содержат медные жилы дистанционного питания с различным исполнением: в виде обычных жестких или многопроволочных проводников или как витые пары).

Определенное стимулирующее действие на объемы применения подобных кабелей оказывают

- системы видеонаблюдения;
- офисные информационные системы, реализованные по технологии PoLAN.

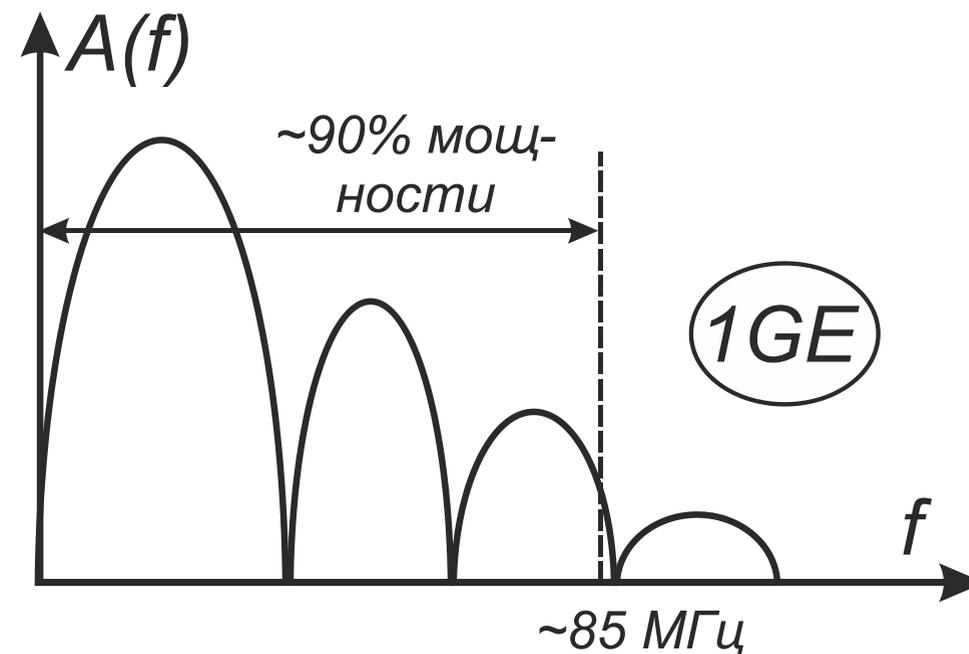
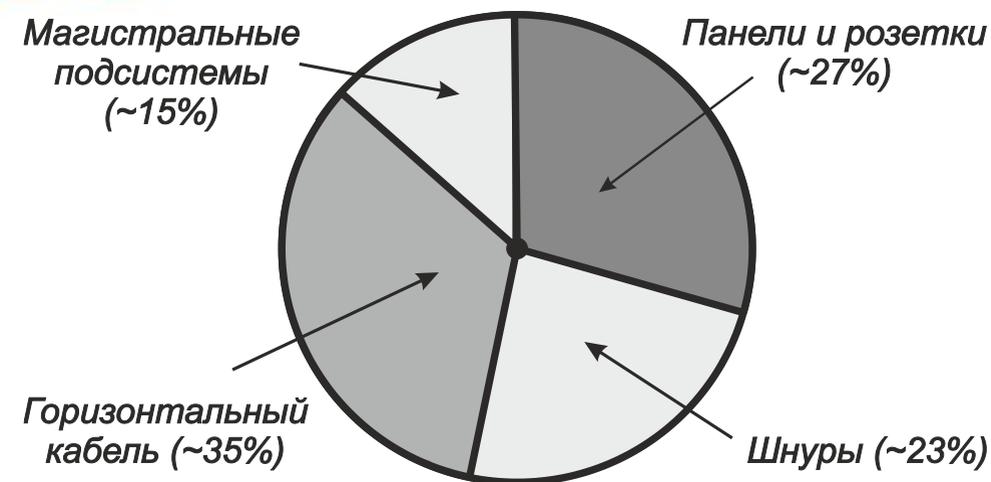


# Неизбежность роста категории “классических” СКС

Стандарт ISO/IEC 11801-2:2017 в явном виде требует применения для построения стационарных линий физического уровня офисных информационных систем дорогостоящей из-за большого объема меди техники как минимум категории 6 (класса E), хотя среднестатистический человек не в состоянии полноценно воспринимать информационный поток со скоростью свыше примерно 50 Мбит/с. Доля медицинских и издательских систем, которые объективно работают с объемными файлами, слишком мала для качественного изменения указанной картины.

Причина такого подхода – изначальная многофункциональность медножильного тракта: кроме доставки информации он потенциально предназначен для поддержки PoE, ограничение по которому наступают значительно раньше по сравнению с ACR (отношению С/Ш).

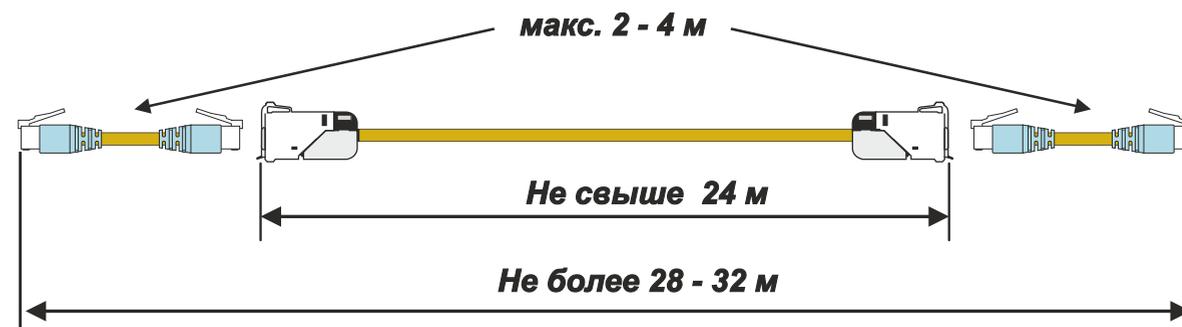
Частичное выравнивание разброса по максимальным длинам кабельного тракта достигается увеличением диаметра ТПЖ, что наиболее просто осуществить требованием применения категории как минимум 6.



# Техника категории 8 и ее перспективы

Линии категории 8 относятся к классу G, изначально были ориентированы на применение в ЦОД и имеют следующие особенности:

- возможность применения только 2-коннекторной модели трактов, т.е. только простые тракты со схемой коммутации интерконнекта;
- уменьшение максимальной протяженности тракта до 28 – 32 м в зависимости от калибра гибких проводников шнуров;
- применение только экранированной техники для эффективного подавления межкабельной переходной помехи.



Калибр проводников кабеля шнура	Макс. длина шнуров	Макс. длина тракта
22-23AWG/0,573-0,644 мм	8	32
24AWG/0,511 мм	6	30
26AWG/0,405 мм	4	28

Техника в настоящее время не востребована, хотя имеет большие потенциальные возможности, которые пока не раскрыты. В качестве возможных областей применения можно указать

- увеличение протяженности тракта до 50 м на скорости 25 Гбит/с при построении классической части информационных систем офисов;
- соединительные линии точек Wi-Fi беспроводного доступа стандарта Wi-Fi7 (скорость передачи до 40 Гбит/с цифрового потолка, которые рекомендуется подключать как минимум двумя кабелями + рост плотности их размещения из-за неизбежного падения дальности связи).

# Тип элементной базы СКС машинного зала ЦОД – 1(2)

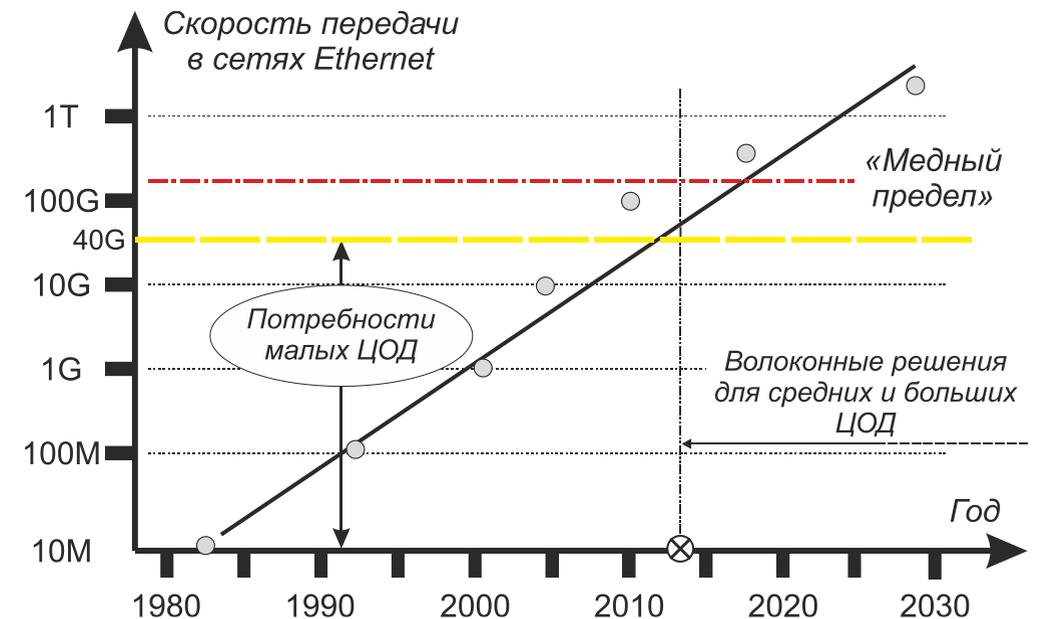
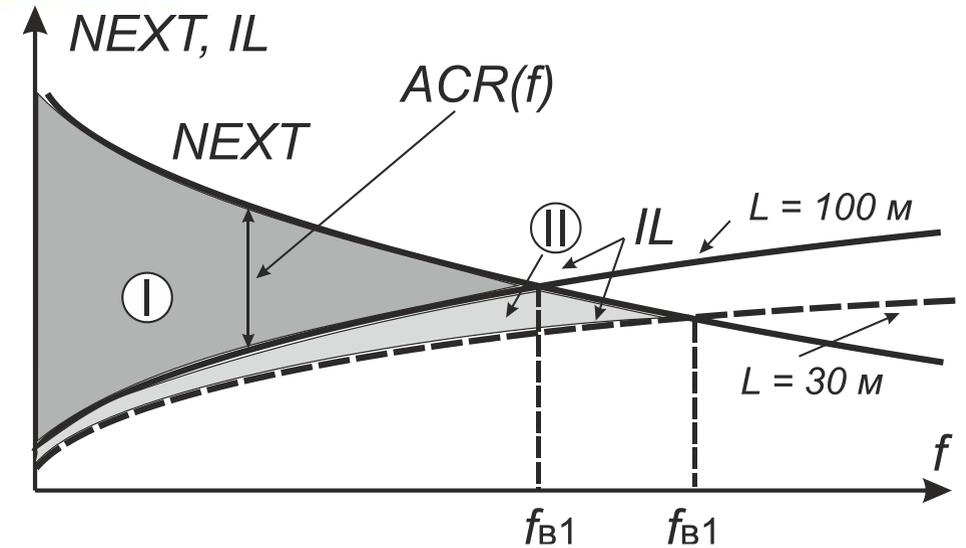
Формально стандарты разрешают строить СКС на базе волоконно-оптических и симметричных кабельных линий. Рост скоростей передачи происходит по линейному закону, сами скорости в настоящее время уже превышает 200 Гбит/с.

Предельная скорость по симметричному тракту определяется известной теорией Шеннона

$$W = 4 \cdot \int_0^{f_g} \log_2(1 + ACR(f)) df.$$

Возможности меди ограничены скоростями несколько выше 100 Гбит/с и исчерпаны даже в случае использования такого эффективного в условиях ЦОД технического приема как сокращение предельной протяженности тракта.

**Важно!** На симметричных линиях может строится информационная система только мини- и малых ЦОДов



# Тип элементной базы СКС машинного зала ЦОД - 2(2)



Указанное положение подтверждается статистикой, которая приведена в нижеследующей таблице.

Горизонтальная подсистема офисных СКС	Машинный зал ЦОД	Магистральные линии офисных СКС
2011: 98% Cu <--> 2% OF	2011: 49% Cu <--> 51% OF	2011: 99% Cu <--> 1% OF
2022: 96% Cu <--> 4% OF	2022: 20% Cu <--> 80% OF	2022: 0% Cu <--> 100% OF

Приведенные данные заимствованы из Borcic Z. Chancen für die Kupferverkabelung //LANLine, 2023, № 1-2, S. 21-23

Приведенные данные позволяют констатировать следующее

- формирование общих проектных решений СКС в машинном зале ЦОД во многом облегчается отсутствием проблемы выбора элементной базы и фактически определяется только количеством стоек, которые устанавливаются на объекте;
- ЦОД как перспективный строительный объект не оказывает значимого стимулирующего действия как на объемы применения кабелей из витых пар в проектах, так и на тренд роста категоричности меджножилых кабелей.

# Использование трактов уменьшенной длины / нормирование предельной протяженности тракта "по приложению"

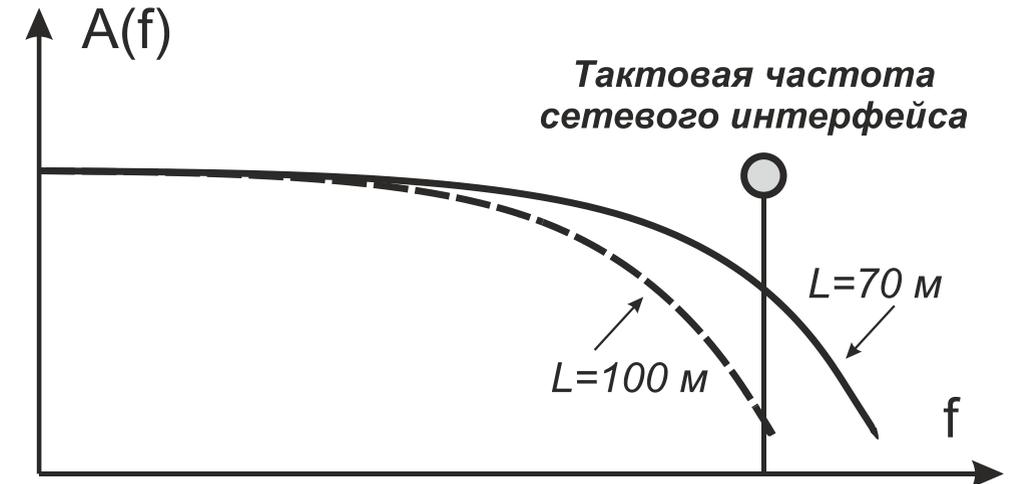
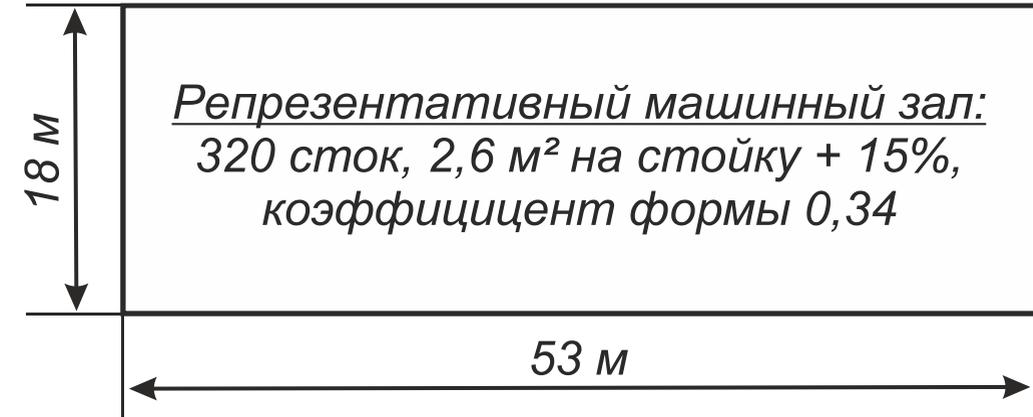
В качестве прототипа СКС для ЦОД были использованы офисные кабельные системы, у которых нормируются 100-метровая предельная протяженность симметричных трактов и 300-метровая для волоконно-оптических.

Столь большие протяженности трактов избыточны для типового ЦОД, который при существующей системе охлаждения ВСЕГДА будет отличаться геометрической компактностью.

Расчет по приведенной справа модели показывает, что ожидаемая максимальная протяженность тракта не превысит 71 м (получена как полупериметр машзала прямоугольной в плане формы в виде оценки сверху), т.е. при нормировании характеристик можно смело сокращать предельную протяженность волоконно-оптической линии с 300 м до 70 – 150 м.

Дополнительный выигрыш от такого сокращения – возможность наращивания тактовой частоты линейного сигнала и увеличение, за счет этого, скорости передачи данных.

При этом техника даже категории 8 не в состоянии обеспечить дальность свыше 30 м на скорости 40 Гбит/с.



# Суммирование помех

Общая мощность помехи, действующей на решающее устройство приемника, значимо зависит от закона суммирования отдельных помеховых составляющих. С учетом статистической независимости отдельных источников помехи (см. таблицу) можно принять их суммирование по мощности

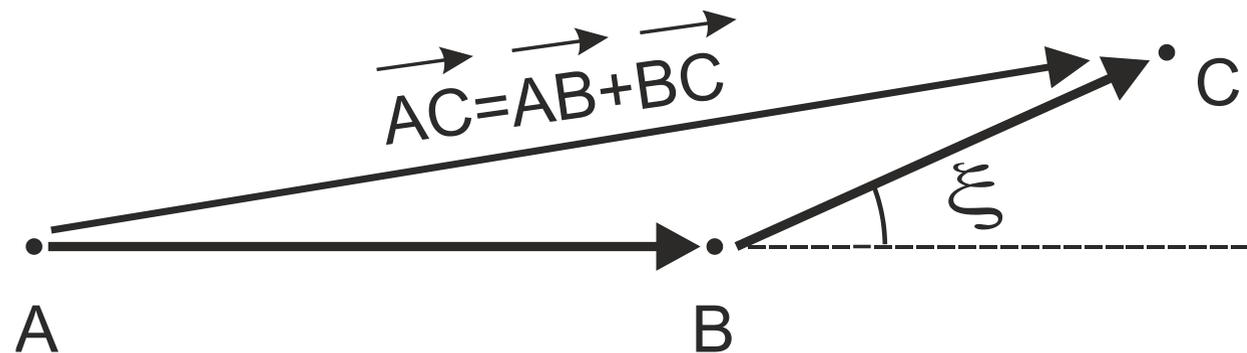
$$|\overline{[A,C]}| = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} [(a+b \cdot \cos \xi)^2 + (b \cdot \sin \xi)^2] d\xi} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Величина PSFEXT восстанавливается следующим образом

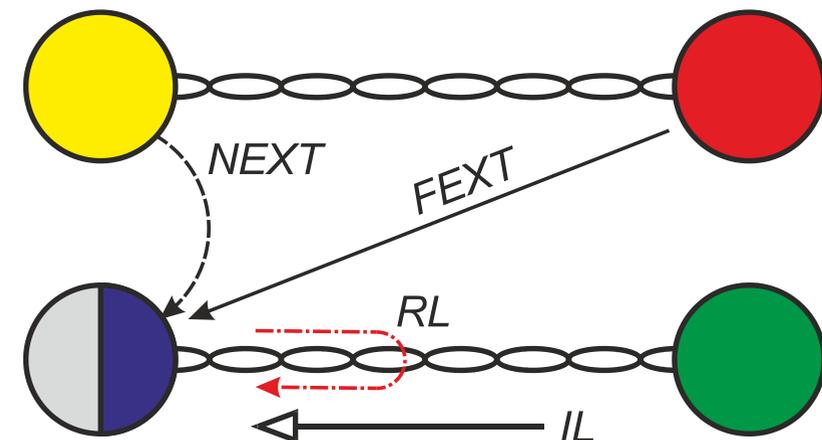
$$PSFEXT(L, F) = PSACRF(F, L) + IL(f, L)$$

В результате приходим к следующему выражению

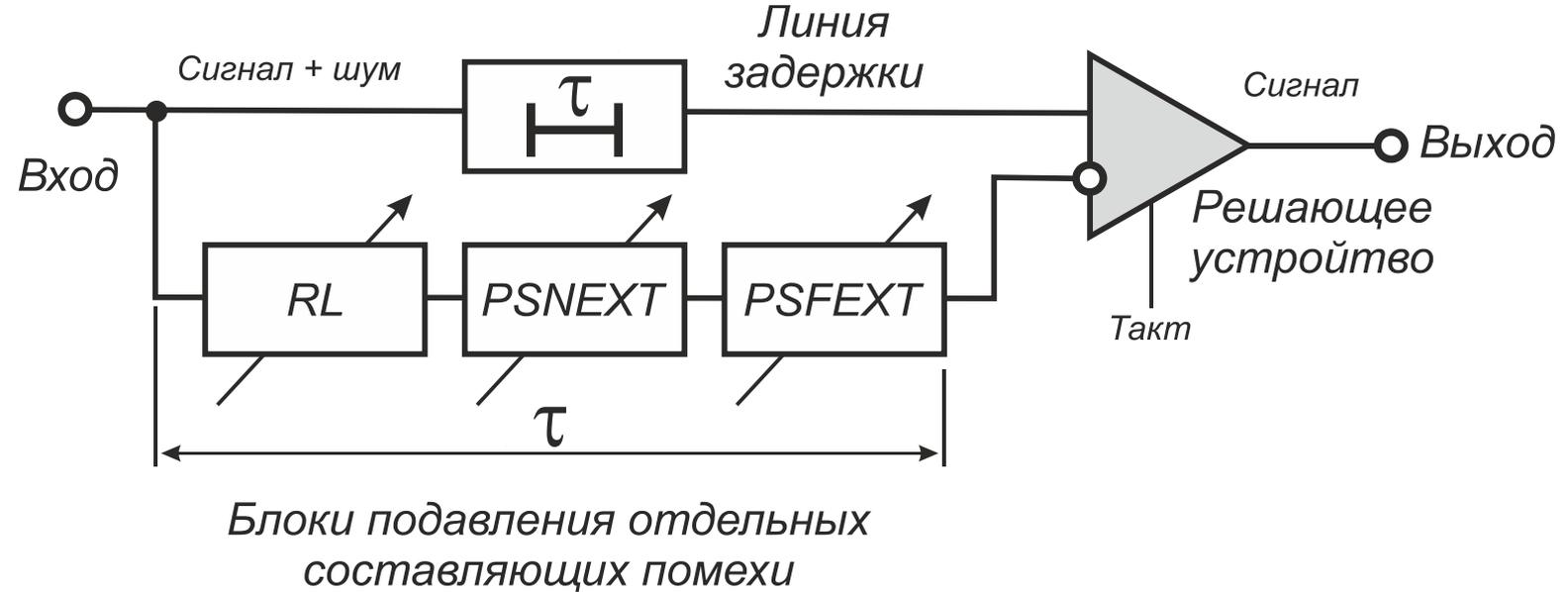
$$GNX(f, L) = -20 \lg \left( \sqrt{\left( 10^{\frac{PSNEXT(f, L)}{-20}} \right)^2 + \left( 10^{\frac{PSFEXT(f, L)}{-20}} \right)^2 + \left( 10^{\frac{RL(f, L)}{-20}} \right)^2} \right) \text{ dB.}$$



Разновидность помехи	RL	PSNEXT	PSFEXT
Источник помехи	Собственный передатчик	Передатчики ближнего конца	Передатчики дальнего конца



В процессе приема многоуровневого сигнала перед до решающего устройства сетевой интерфейс выполняет его обработку для подавления отдельных помеховых составляющих. Для этого в момент настройки приемника в линию подается тестовый сигнал и фиксируется создаваемая им переходная помеха на ближний и дальний концы, а также сигнал обратного отражения. При



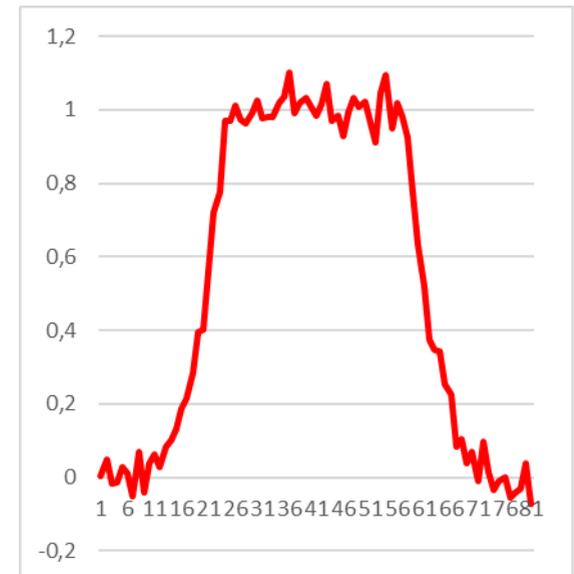
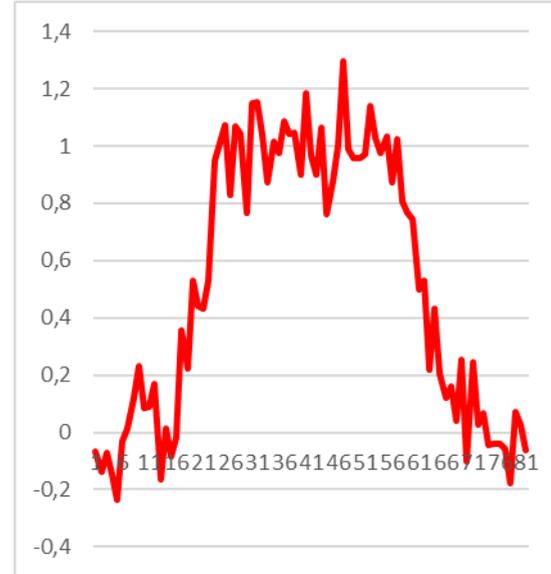
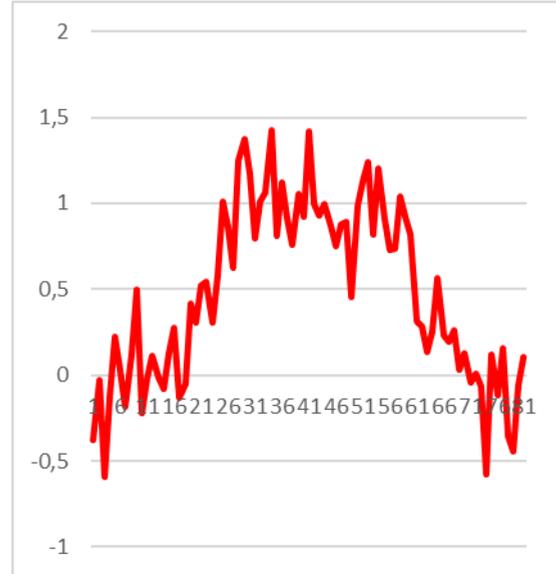
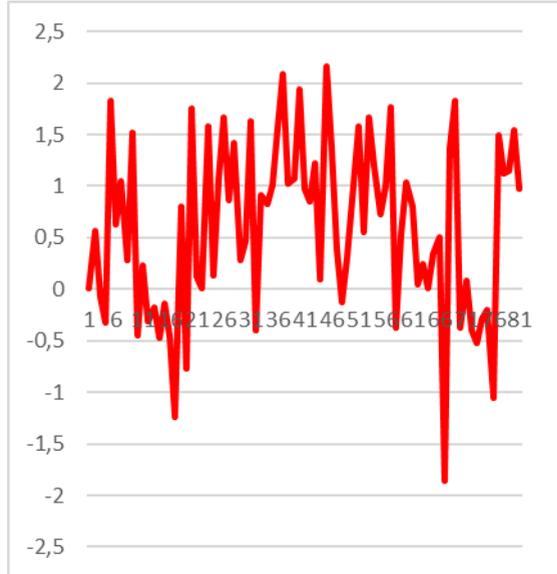
поступлении сигнала приемник формирует модель этой помехи, которая вычитается из суммы сигнала с шумом, в результате чего резко улучшается отношение сигнала к шуму и происходит соответствующее уменьшение вероятности ошибки как основного из ключевых параметров, определяющих качество передачи информации.

Степень подавления отдельных помеховых составляющих приведена в таблице.



Разновидность помехи	RL	PSNEXT	PSFEXT
Степень подавления, дБ	70	50	30

# Моделирование работы блоков подавления помех



Эпюры в качественной форме показывают последовательное улучшение отношения сигнала к шуму на входе решающего устройства приемника одного из каналов сетевого интерфейса по мере последовательной обработки входного сигнала блоками подавления помех.

# Частотные характеристики помехи

Расчет в среде MathCad дает частотные параметры отдельных помеховых составляющих и затухания, которые представлены на эскизе.

Полученные результаты позволяют определить шенноновскую пропускную способность симметричного канального тракта как

$$W(L) = 4 \cdot 0,6 \cdot \int_0^{f_w} \log_2 [1 + ACRG(f, L)] df,$$

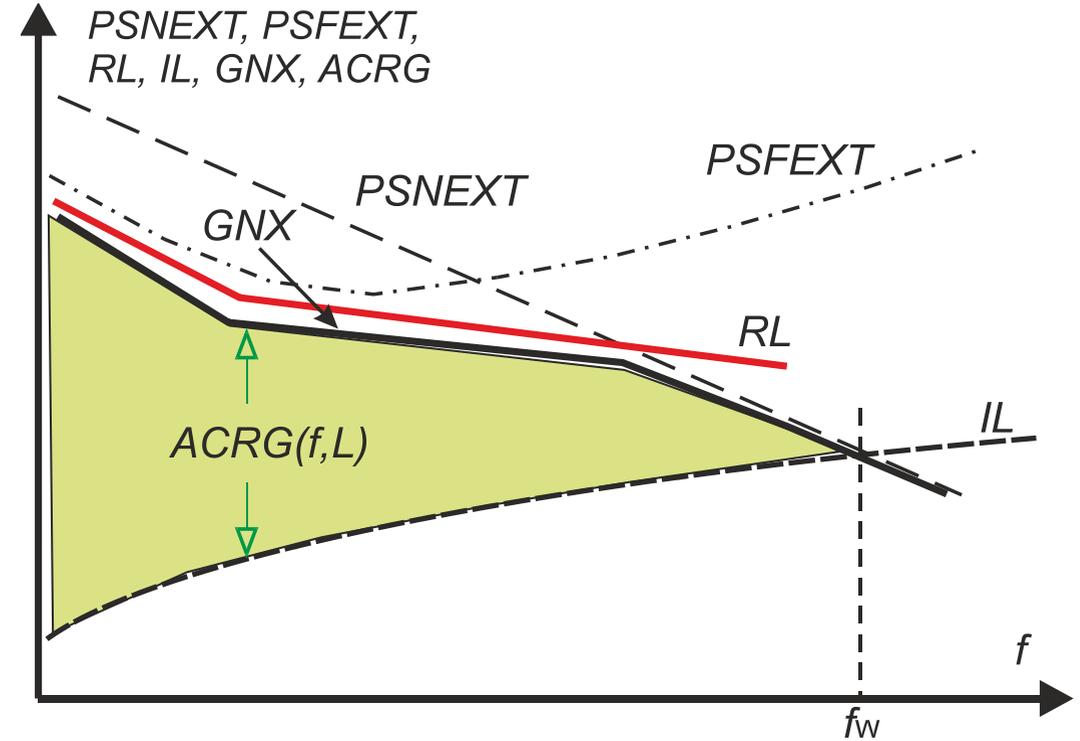
где

$$ACRG(f, L) = GNX(f, L) - IL(f, L)$$

Уравнение для определения верхней граничной частоты кабельного тракта



$$GNX(f, L) - IL(f, L) = 0 \text{ dB.}$$



# Особенности отдельных помеховых составляющих

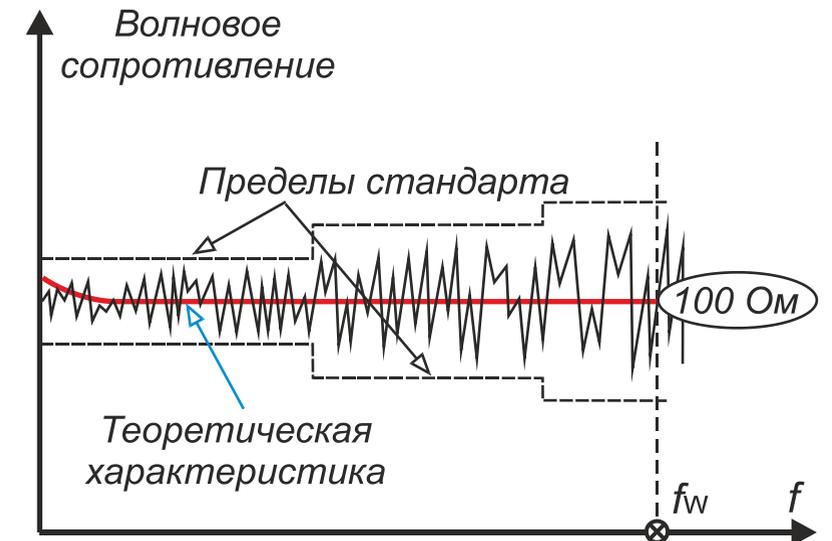
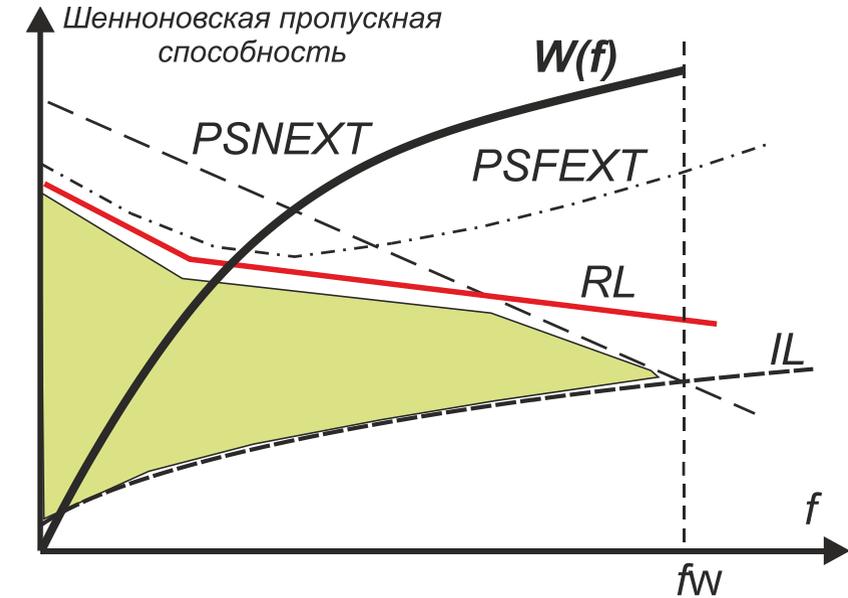
Анализ полученных соотношений показывает, что,

- верхнюю граничную частоту  $f_w$  симметричного тракта определяет переходная помеха ближнего конца;
- тем не менее, главным фактором, ограничивающим предельную скорость передачи, являются обратные отражения.

В качественной форме этот эффект демонстрирует график в правой части слайда.

Значимо уменьшить величину обратных отражений при уровне техники, достигнутом на существующем этапе развития, не представляется возможным. В качестве эталона в данном вопросе можно принять коаксиальные кабели, для которых RL обычно не превышает 40 дБ.

Сам процесс изготовления витой пары предполагает скрутку отдельных изолированных проводников. Из-за несовершенства технологии процесс скрутки обязательно сопровождается вполне определенными деформациями симметричной электропроводной среды передачи и связанными с этим вариациями волнового сопротивления. Последние приводят к структурным возвратным потерям SRL, которые, в свою очередь, определяют возвратные потери всего кабельного тракта.



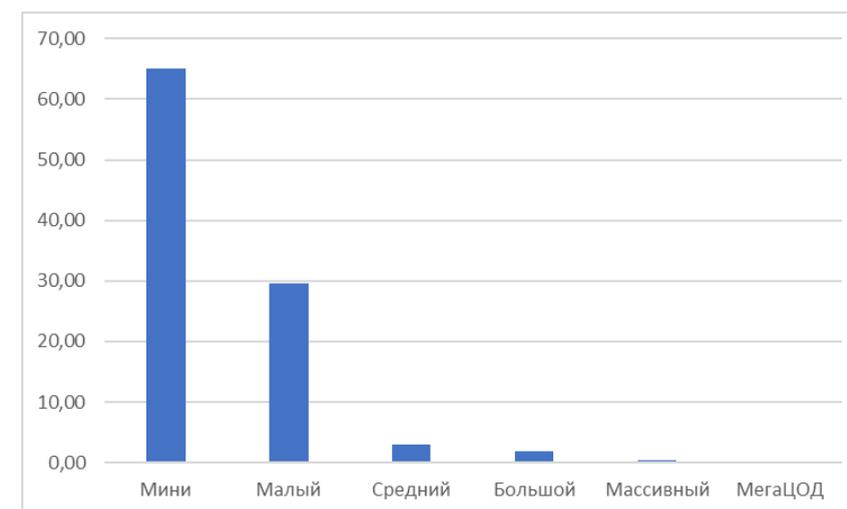
# Распределение ЦОД по количеству стоек и его влияние на СКС

Существует ряд вариантов классификации ЦОД (по площади машинного зала, по потребляемой мощности и т.д.). В данном случае можно воспользоваться подходом ИКС-холдинга, который делит все ЦОД на шесть основных категорий по количеству обслуживаемых стоек. Результаты показаны в правом нижнем углу слайда и свидетельствуют о том, что свыше 90% всех объектов относятся к мини и малым ЦОД, оборудование которых размещается в одном машинном зале, а обслуживающая их СКС не требует масштабного центрального кросса.

Последнее означает, что, аналогично офисным СКС, линии для объединения в единую систему отдельных машинных залов (аналог подсистемы внешних магистралей) носят подчиненное значение, редко встречаются в проектах и не должны “навязывать” свои правила остальной проводке.

**Важно!** Кабельная система вспомогательной части ЦОДа строится по правилам офисной СКС.

Тип ЦОДа	Количество шкафов (стоек)	Суммарная площадь аппаратных залов, м2
Мега	> 9000	22 500
Массивный	3000 - 9000	7500 – 22 500
Крупный	800 - 3000	2000 - 7500
Средний	200 - 800	500 - 2000
Малый	11 - 200	26 - 500
Мини	1 - 10	1 - 25



# Заключение

1. Рост категории кабелей из витых пар носит объективный характер и становится закономерным результатом ряда факторов, следующих из логики текущей трансформации внутриобъектовых информационных систем и сетей доступа к сети Интернет.
2. Применение высококатегорийных кабелей в проектах определяется не техническими потребностями информационных систем, а исключительно удобством проектирования, а решение об их стандартизации может рассматриваться как средство уменьшения исходной проектной неопределенности и упрощение решения задачи выбора среды передачи и варианта ее исполнения.
3. ЦОД как перспективный строительный объект оказывает исчезающе малое влияние на объемы потребления кабелей из витых пар.
4. Практическая востребованность техники категории 8 вне зависимости от варианта структуры отдельных витых пар и сердечника в целом (F/UTP или F/FTP) по состоянию на сегодняшний день и даже с учетом среднесрочных перспектив предельно мала.
5. Тренд на рост категории кабелей из витых пар даже в перспективе ограничен значением ба этого параметра.

