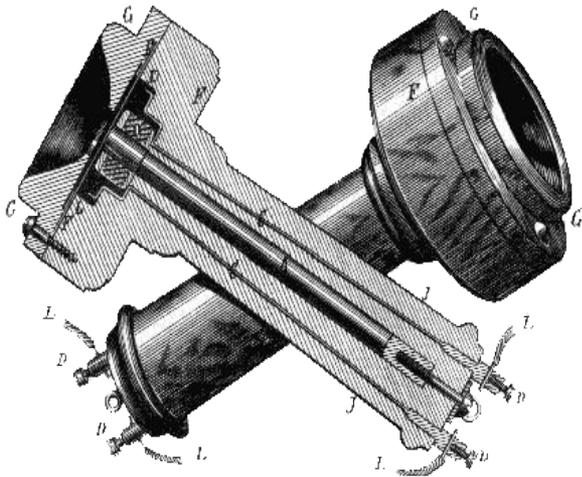


СОВРЕМЕННЫЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ

История развития НСЭ

НАЧАЛО

Наряду с совершенствованием проволочного телеграфа в последней четверти XIX века появился телефон. В начале 60 - х годов XIX века И.Ф. Рейс сконструировал телефонный аппарат, который однако не получил практического применения. Дальнейшая разработка телефона связана с именами американских изобретателей И. Грея (1835 - 1901) и А.Г. Белла (1847 - 1922). 14 февраля 1876 г. оба американца сделали заявку на практически применимые телефонные аппараты. Поскольку заявка Грея была сделана на 2 часа позже, патент был выдан Беллу. Несколькими месяцами позже Белл продемонстрировал разработанный им электромагнитный телефон, который выполнял роль передатчика и приемника.



Телефон Белла. Внешний вид и продольный разрез. 1876 г.



В 1878 г. Д.Э. Юз доложил Лондонскому королевскому обществу об открытии им микрофонного эффекта. В 1877 сконструировал телефонный передатчик, названный им микрофоном. “Компания Белла” использовала новое изобретение Юза, так как эта деталь, отсутствовавшая в первых аппаратах Белла, устраняла основной их недостаток - ограниченность радиуса действия.



П.М. Голубицкий

Первая телефонная станция была построена в 1877 г. в США по проекту венгерского инженера Т. Пушкаша (1845 - 1893), в 1879 г. телефонная станция была сооружена в Париже, а в 1881 г. - в Берлине, Петербурге, Москве, Одессе, Риге и Варшаве. Для последующего развития телефонных сетей имела большое значение предложенная П. М. Голубицким (1845 - 1911) в 1885 г. схема телефонной станции с электропитанием от центральной батареи, расположенной на самой станции. Эта система питания телефонных аппаратов позволяла создать центральные телефонные станции с десятками тысяч абонентских точек. В 1882 г.

П. М. Голубицкий изобрел высокочувствительный телефон и сконструировал настольный телефонный аппарат с рычагом для автоматического переключения схемы с помощью изменения положения телефонной трубки. Этот принцип сохранился во всех современных аппаратах. В 1883 г. им же был сконструирован микрофон с угольным порошком.



1913 г.



2008 г.

Как быстро все изменилось

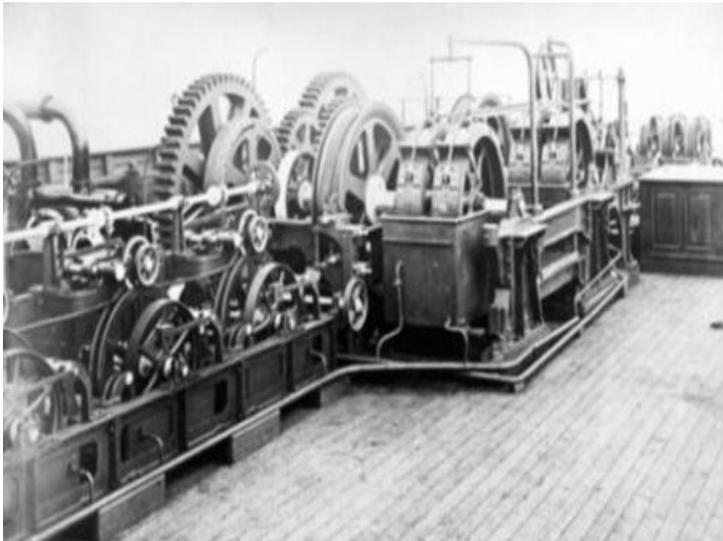
СОЗДАНИЕ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Первые конструкции кабелей связи, относящиеся к началу XX века, позволили осуществлять телефонную передачу на небольшие расстояния. Это были так называемые городские телефонные кабели с воздушно-бумажной изоляцией жил и парной скруткой. В 1900–1902 гг. была сделана успешная попытка повысить дальность передачи методами искусственного увеличения индуктивности кабелей путем включения в цепь катушек индуктивности (предложение Пупина), а также применения токопроводящих жил с ферромагнитной обмоткой (предложение Крауфа). Такие способы на том этапе позволили увеличить дальность телеграфной и телефонной связи в несколько раз.

Важным этапом в развитии техники связи явилось изобретение, а начиная с 1912–1913 гг. освоение производства электронных ламп. В 1917 г. В. И. Коваленковым был разработан и испытан на линии телефонный усилитель на электронных лампах. В 1923 г. была осуществлена телефонная связь с усилителями на линии Харьков–Москва–Петроград.



Прокладка индо-европейского телеграфного кабеля в 1864 году



Прокладка первого трансатлантического кабеля

В 30-х годах началось развитие многоканальных систем передачи. В последующем стремление расширить спектр передаваемых частот и увеличить пропускную способность линий привело к созданию новых типов кабелей, так называемых коаксиальных.

Но массовое изготовление их относится лишь к 1935 г., к моменту появления новых высококачественных диэлектриков типа эскапона, высокочастотной керамики, полистирола, стирофлекса и т. д. Эти кабели допускают передачу энергии при частоте токов до нескольких миллионов герц и позволяют производить по ним передачу телевизионных программ на большие расстояния.

Первая коаксиальная линия на 240 каналов ВЧ телефонирования была проложена в 1936 г.

В 1956 г., была сооружена подводная коаксиальная магистраль между Европой и Америкой для многоканальной телефонной связи.

В 1965—1967 гг. появились опытные волноводные линии связи для передачи широкополосной информации, а также криогенные сверхпроводящие кабельные линии с весьма малым затуханием. С 1970 г. активно развернулись работы по созданию световодов и оптических кабелей, использующих видимое и инфракрасное излучения оптического диапазона волн.

Создание волоконного световода и получение непрерывной генерации полупроводникового лазера сыграли решающую роль в быстром развитии волоконно-оптической связи. К началу 80-х годов были разработаны и испытаны в реальных условиях волоконно-оптические системы связи. Основные сферы применения таких систем — телефонная сеть, кабельное телевидение, внутриобъектовая связь, вычислительная техника, система контроля и управления технологическими процессами и т. д.

Построение вторичных сетей

Вторичная сеть состоит из каналов одного назначения (телефонных, телеграфных, вещания, видеотелефонных, передачи данных, телевидения и др.), образуемых на базе первичной сети. Вторичная сеть включает коммутационные узлы, оконечные пункты и каналы, выделенные на первичной сети.

Радиально-узловая схема построения ГТС

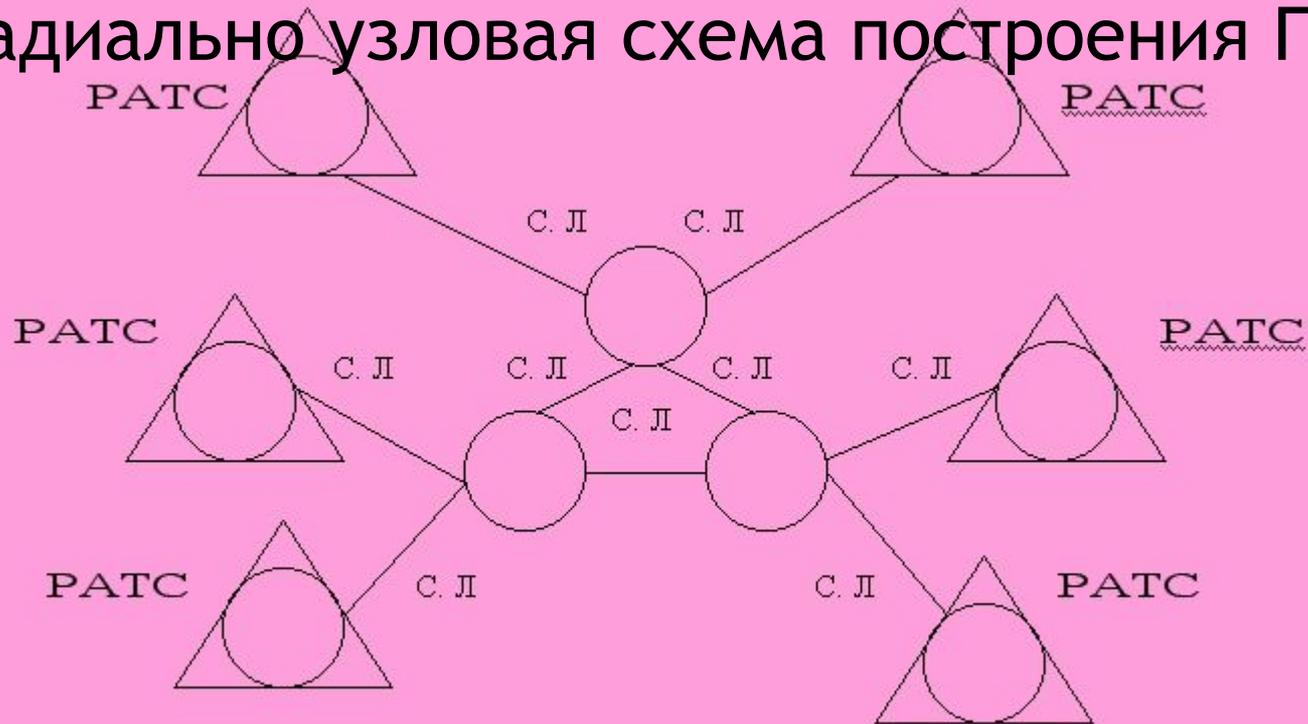
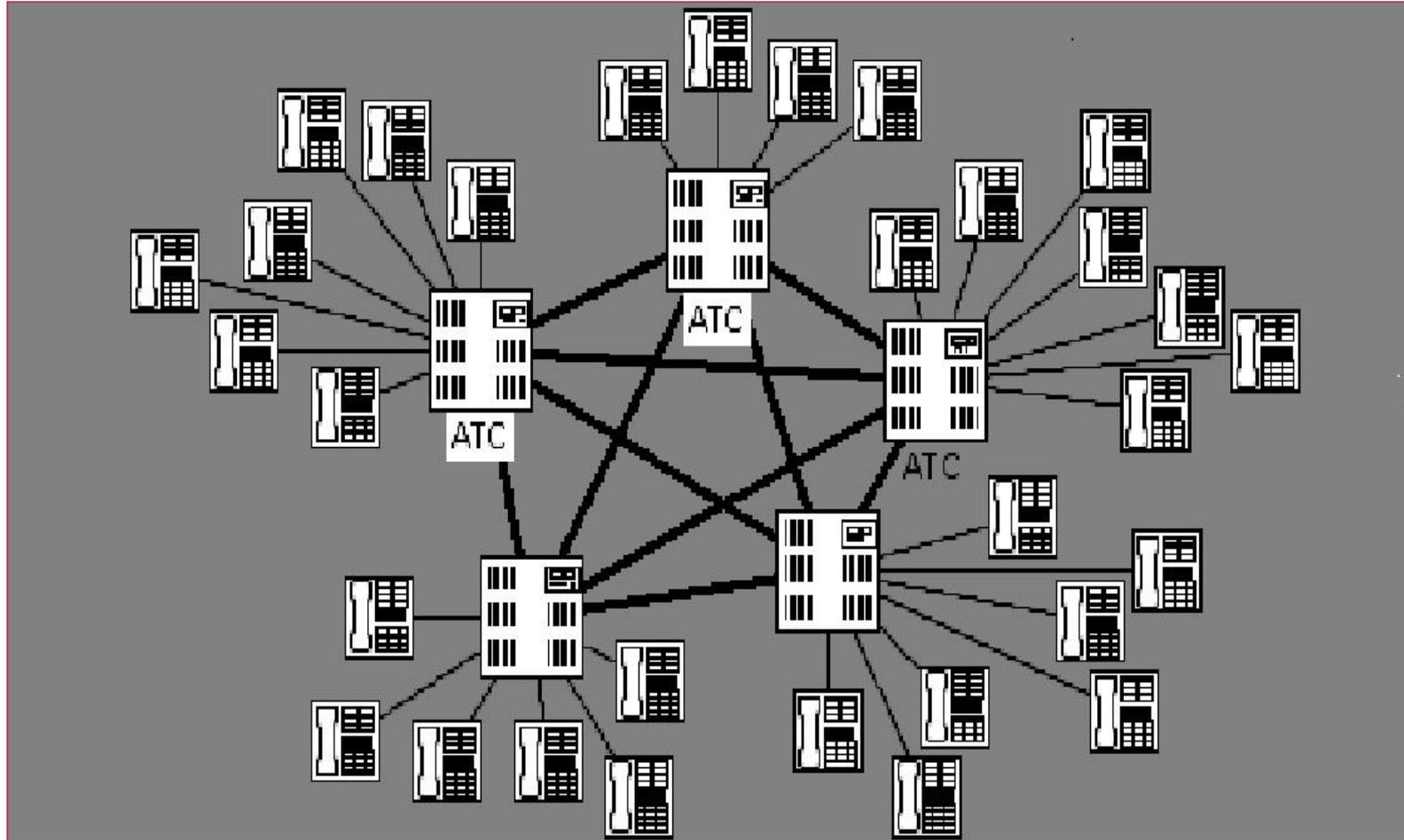
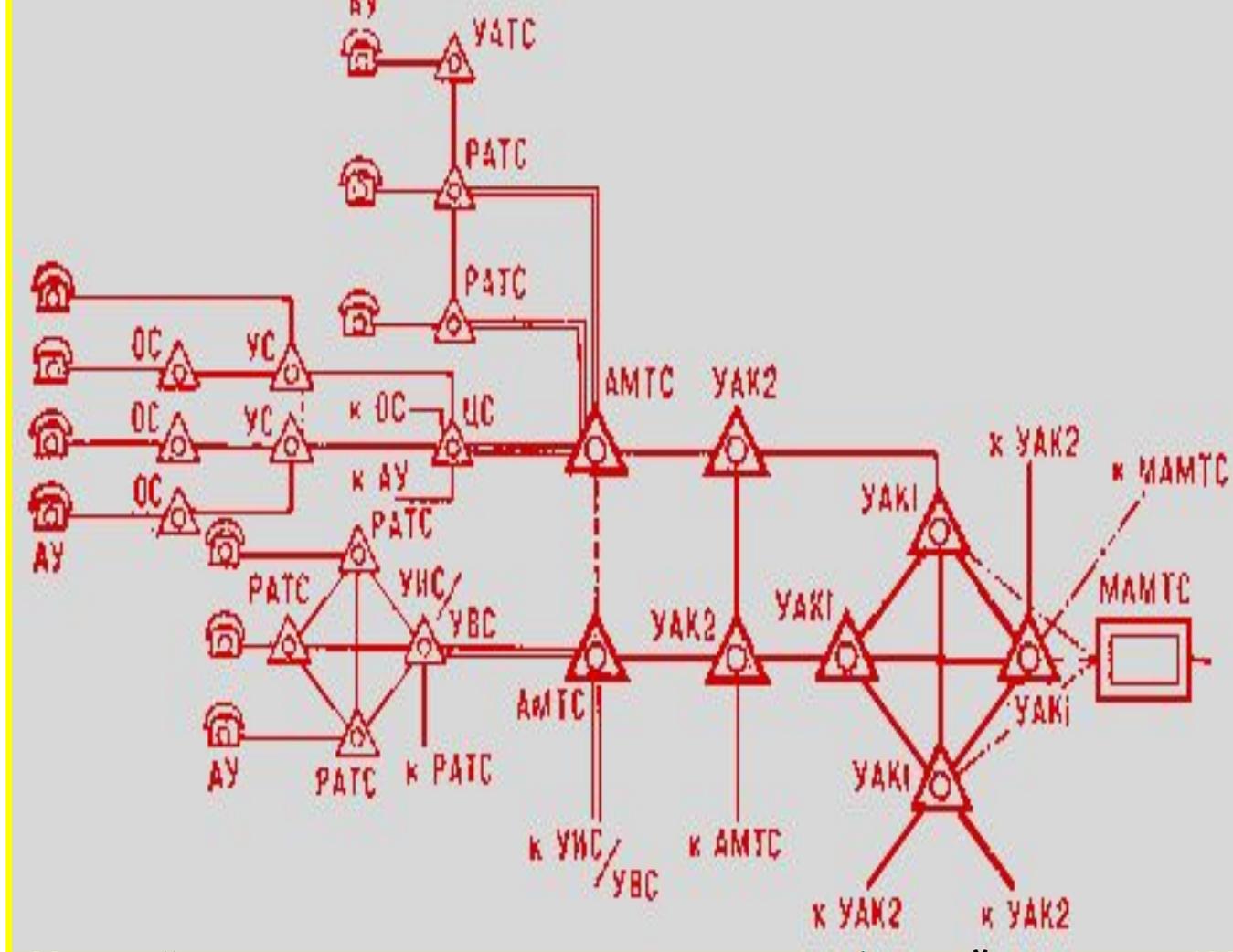


Рисунок 1.1 – Структура городской телефонной сети

Соединение по принципу «каждая с каждой»





Упрощённая структурная схема телефонной сети: АУ – абонентские установки; ОС, УС и ЦС – оконечная, узловая и центральная станции сельской сети; УАТС – учрежденческая автоматическая телефонная станция; РАТС – районная автоматическая телефонная станция городской сети; УВС и УИС – узлы входящих и исходящих сообщений; УАК 1 и УАК 2 – узлы автоматической коммутации 1-го и 2-го классов;

Первичная сеть

Первичная сеть — это совокупность всех каналов без подразделения их по назначению и видам связи. В состав ее входят линии и каналообразующая аппаратура. Первичная сеть является единой для всех потребителей каналов и представляет собой базу для вторичных.

Магистральная первичная сеть ОАО «Ростелеком»



МАГИСТРАЛЬНЫЕ И ЗОНОВЫЕ СЕТИ СВЯЗИ

Сеть связи страны состоит из магистральной (уровень транзитных станций - ТС) и зональных сетей (уровень местных станций МС).

Зональная сеть организуется в пределах одной-двух областей (или республик, краев).

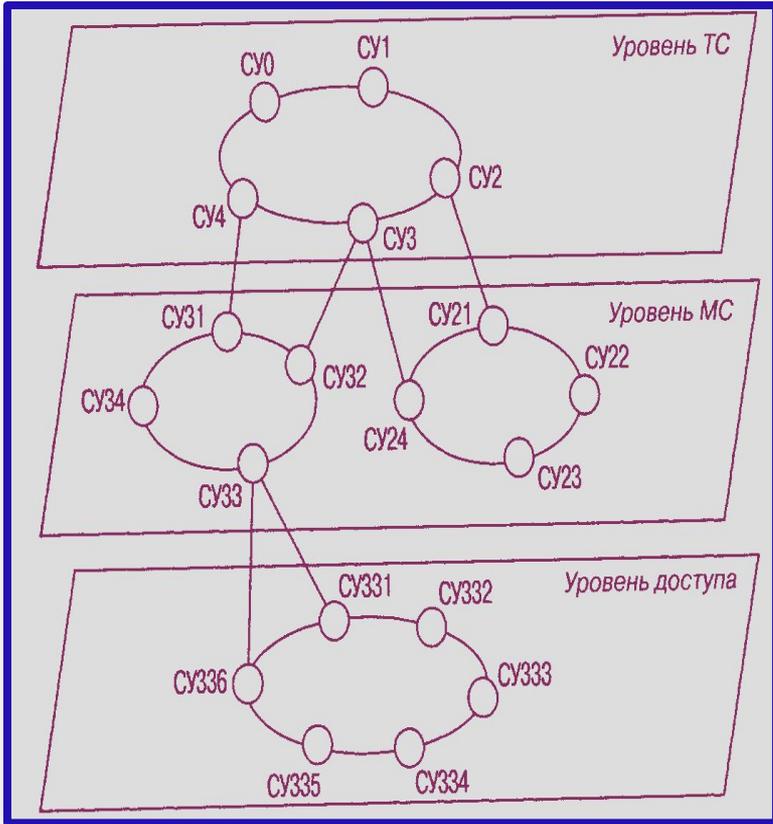
Она подразделяется на внутризональную и местную (уровень МС). Внутризональная связь соединяет областной (республиканский, краевой) центр с районами. Местная связь включает сельскую связь и городскую связь.

Абоненты зоны охватываются единой как правило семизначной нумерацией, позволяет получить в зоне до 10^7 телефонов.

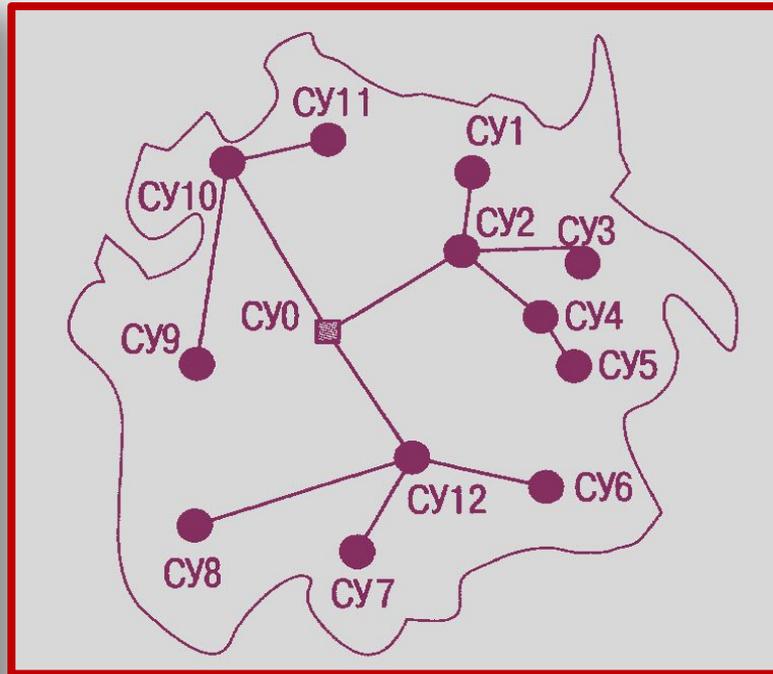
Магистральная сеть соединяет главный узел (сетевой узел - СУ0) с центрами зон (сетевыми узлами - СУ2, СУ10, СУ12 и т.д.), а также зоны между собой (рис.2.4).

Внутриобластная (внутризональная) сеть является сетью областного значения. Эта сеть обеспечивает связью областной центр со своими городами и районными центрами и последние между собой, а также выход их на магистральную сеть (рис. 2.4).

Сеть строится на основе территориально-сетевых (ТСУ) и сетевых (СУ) узлов.



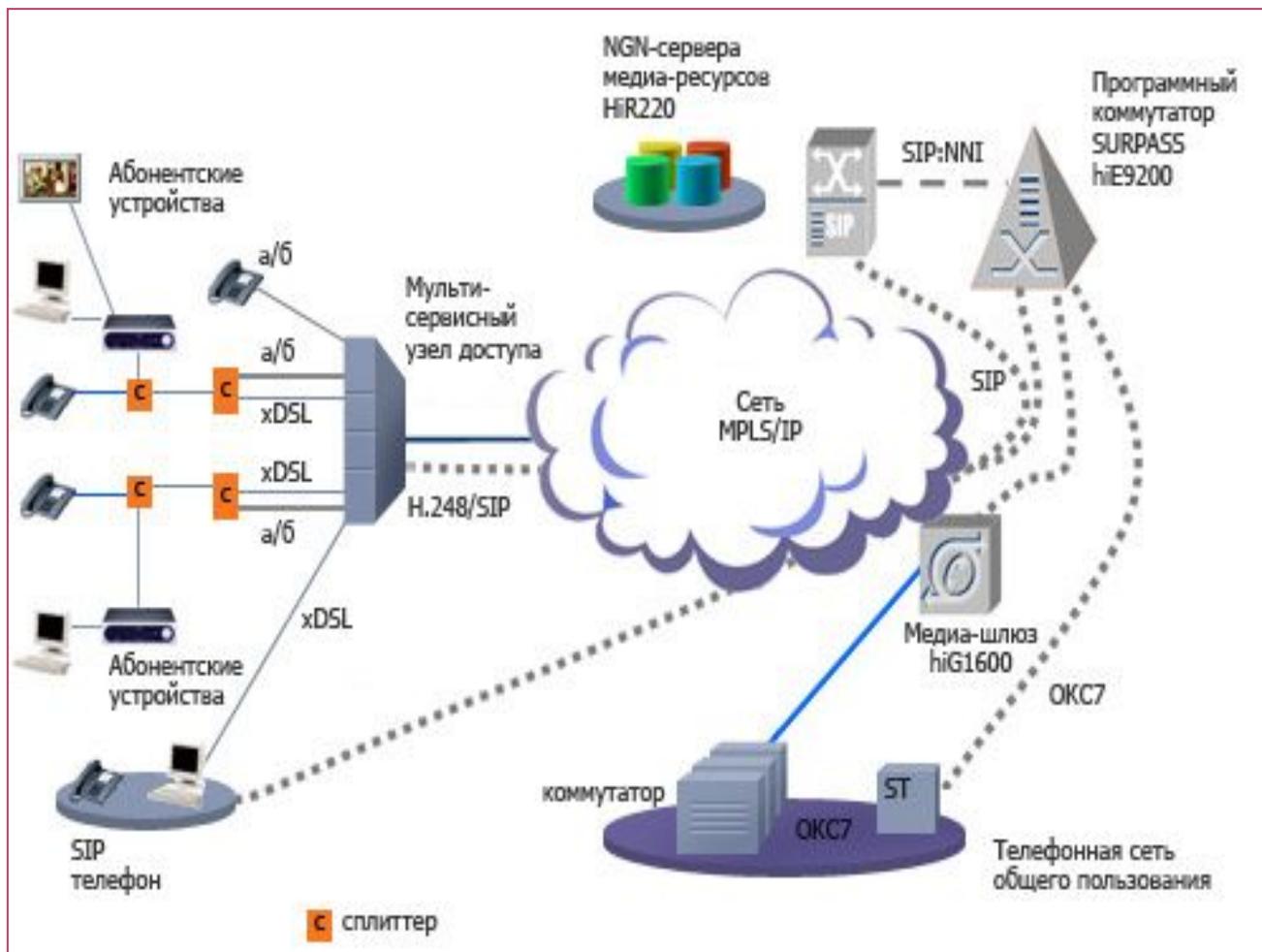
Структура сети связи



**Магистральная и
внутризоновые сети**



СЕТИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ NGN



С позиции сетей передачи данных NGN - это сети Интернет следующего поколения.

С позиции сетей мобильной связи NGN - этому поколению даже присвоен номер 3G (4G).

С позиций традиционной телефонии NGN сегодня воспринимается как сеть пакетной коммутации под управлением программного коммутатора (Softswitch), поддерживающая широкополосный абонентский доступ и мульти сервисное обслуживание трафика.

Общими характеристиками NGN, определенными ITU и ETSI, являются разделение функций переноса информации и функций управления переносом информации через сеть, так же отделение функций услуг и приложений от функций транспортной сети передачи. Таким образом, речь идет о распределенной архитектуре, в которой связь между компонентами осуществляется исключительно через открытые интерфейсы.



*European Telecommunications
Standards Institute*

КЛАСИФИКАЦИЯ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

КРИТЕРИИ

По назначению:

▣ **городские и их подкатегории:**

- ▣ *много парные - для соединительных, магистральных, распределительных и абонентских линий телефонии;*
- ▣ *коаксиальные, симметричные - для организации широкополосного доступа абонентов;*
- ▣ *оптические кабели связи в структурах FTTx, PON.*

▣ **местные (сельские):**

- ▣ *симметричные - для подключения абонентов;*
- ▣ *коаксиальные - для подключения отдельных станций;*
- ▣ *волоконно-оптические - для передачи больших объемов информации*

▣ **внутри зонные;**

- ▣ *симметричные - для построения местных распределительных сетей;*
- ▣ *Волоконно-оптические - для ответвлений в интересах зоны от магистральных ВОЛС и транспортных потоков*

КЛАСИФИКАЦИЯ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

▣ **магистральные:**

предназначены для построения участков сетей между крупными населенными пунктами - столицы государств, областные центры, а также все линии в международной сети, по которым передается очень большой объем информации со скоростями до 64 гб/с .

Эти скорости требуют от среды передачи соответствующих параметров и без оценки требований к объемам и скоростям невозможно правильно предложить тот или иной вариант кабельной системы.

По диапазону передаваемых частот.

*- **низкочастотные** - основное применение находят до сих пор в структуре организации телефонной связи и DSL В первую очередь применяются для абонентских линий ГТС;*

*- **высокочастотные** - их существует две разновидности симметричные и коаксиальные, причем по своим характеристикам они не уступают друг другу. Например, кабель UTP7E- симметричный, используется в структурированных кабельных системах, обеспечивает передачу скоростей до 1,2 гб/с;*

КЛАСИФИКАЦИЯ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

- ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ - обеспечивают передачу всех видов информации с практически любыми скоростями, находят самое широкое применение на всех уровнях построения сетей связи.

По конструкции:

□ - Симметричные:

- - много парные
- - мало парные
- - однопарные

□ - Коаксиальные:

□ - магистральные

- 📡 - с парами 2,6x9,4
- 📡 - малогабаритные с парами 1.2x4.6
- 📡 - микро коаксиальные с парами 0,7x2,9

- радиочастотные

- с волновым сопротивлением -75 ом
- с волновым сопротивлением -50 ом
- с волновым сопротивлением -35 ом

Волоконно-оптические:

По типу оптических волокон

- многомодовые:
 - ступенчатые;
 - градиентные;
- одномодовые:
 - стандартные;
 - с минимизированными потерями;
 - с нулевой дисперсией;
 - со смещенной не нулевой дисперсией.

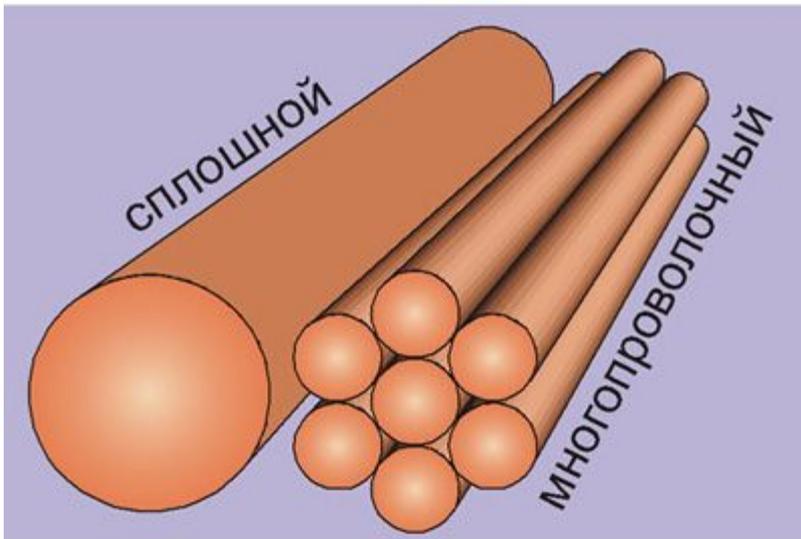
По конструкции

- для прокладки в грунт;
- для прокладки в защитные трубы;
- для прокладки в кабельную канализацию;

- для воздушных способов строительства;
- подвесной конструкции;
- в грозозащитном тросе;
- самонесущие;
- для навивной технологии.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОВОДНИКИ И КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Проводники

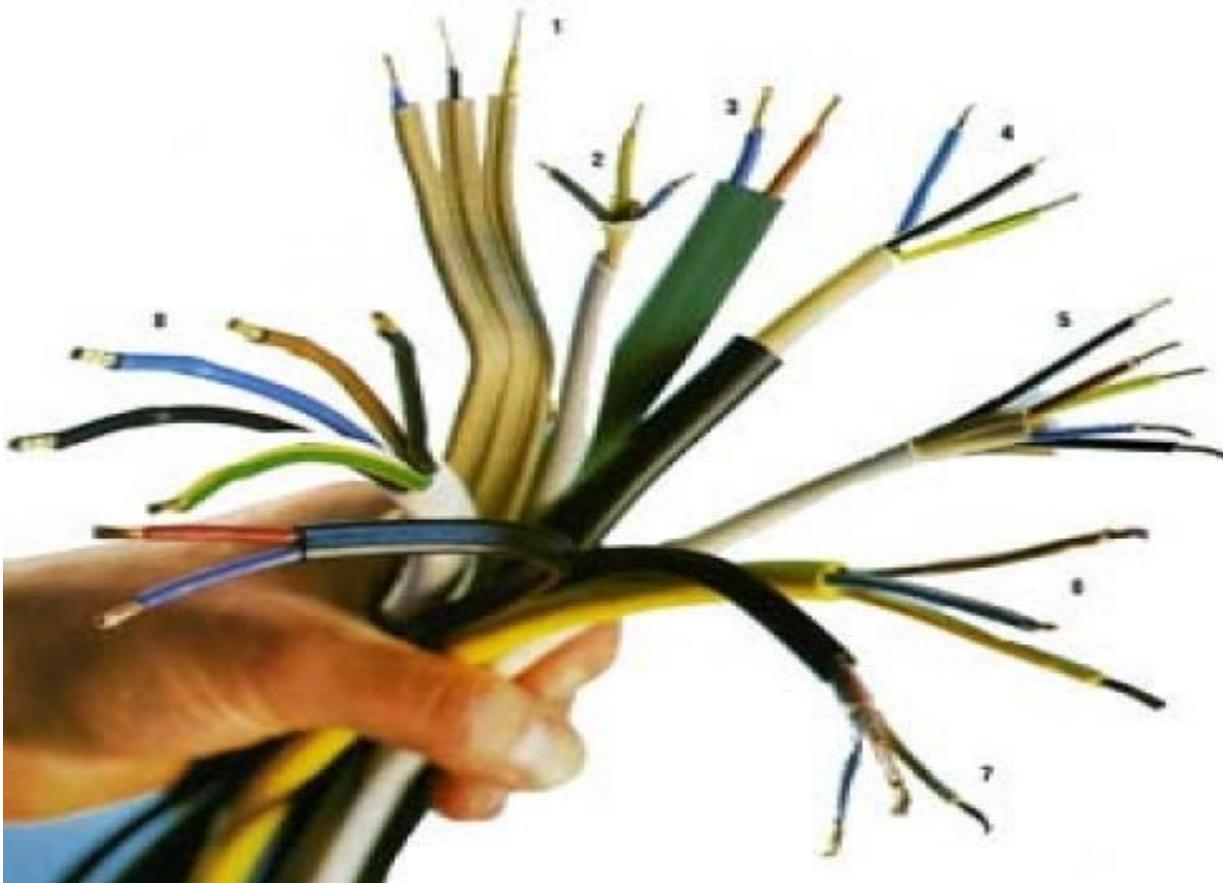


Традиционно в кабелях связи в качестве материала проводников используют чистую электротехническую медь. В кабелях для постоянной прокладки (горизонтальной, вертикальной) как правило, используются сплошные проводники (solid wire), а в патч-кордах, и соединительных кабелях - проводники, свитые из отдельных проволок малого диаметра (stranded wire). Последние имеют лучше механическую прочность на изгиб и растягивание, хотя и чуть большее затухание на очень высоких частотах.

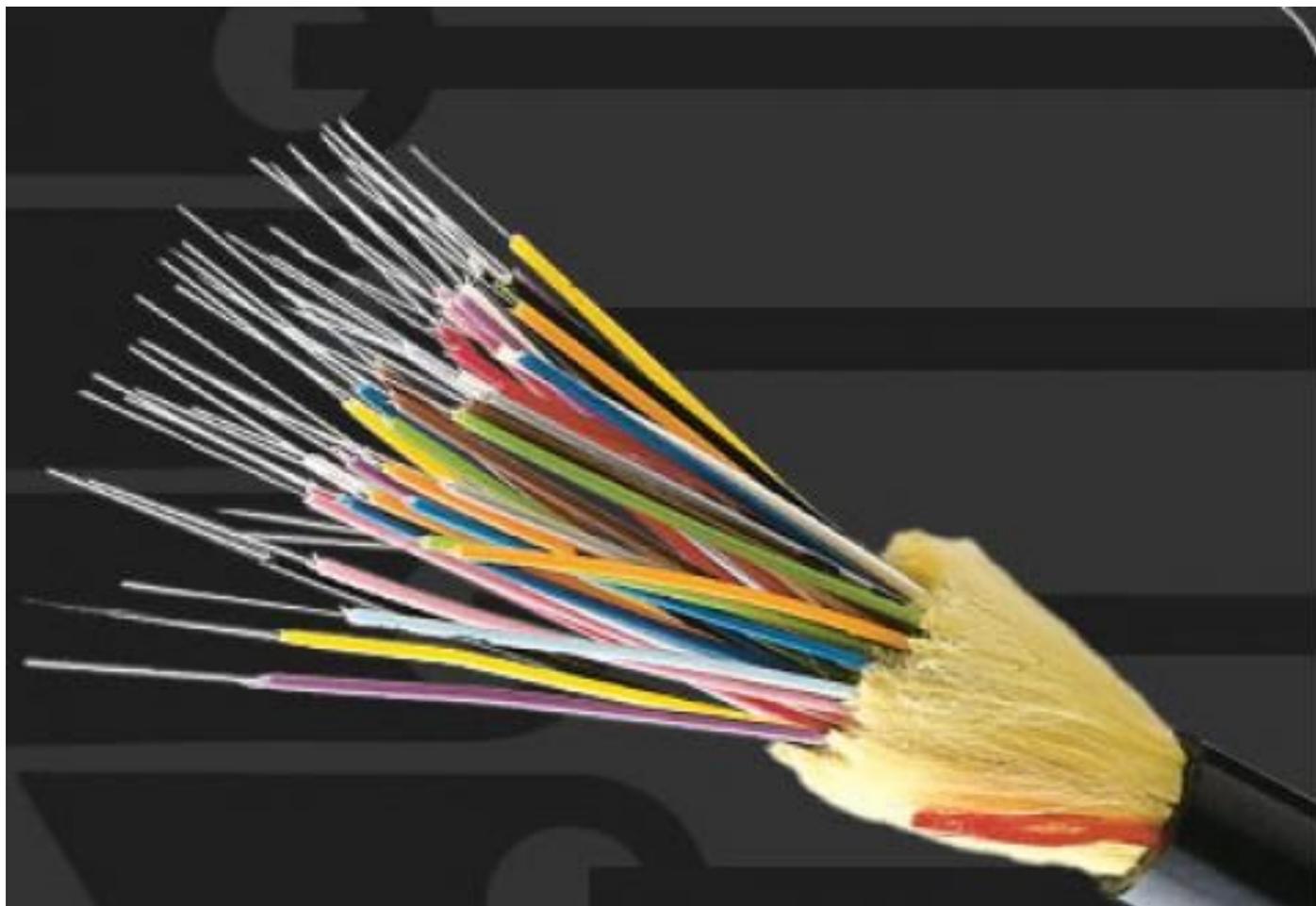
Кабели имеют только медные токопроводящие жилы диаметром 0,4 мм, 0,5 мм и 0,7 мм. Используются также жилы с диаметром 0,32 мм. Жилы имеют изоляцию из ПЭ. Используются также кабели с воздушно-бумажной и с пористо-бумажной изоляцией жил. Изолированные пары жил с отличительными цветами скручивают в кабель.

Для нормальной работы кабельной системы требуется изоляция токоведущих жил друг от друга.

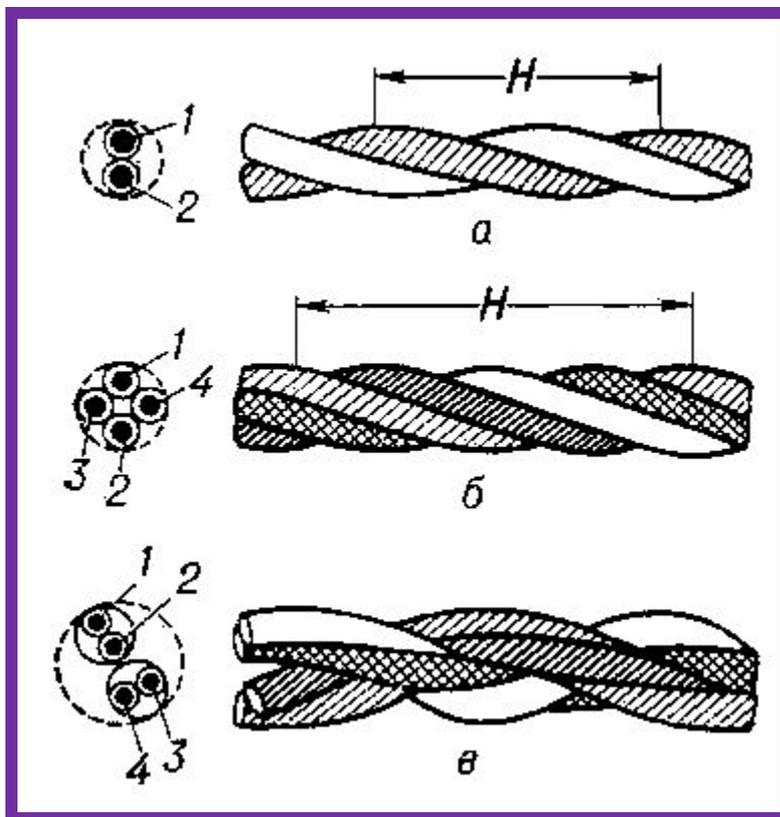
Множество вариантов!



При использовании оптических волокон требуется их полная защита от внешних воздействий



СКРУТКА ЭЛЕМ. ГРУПП



Парная

Звездная

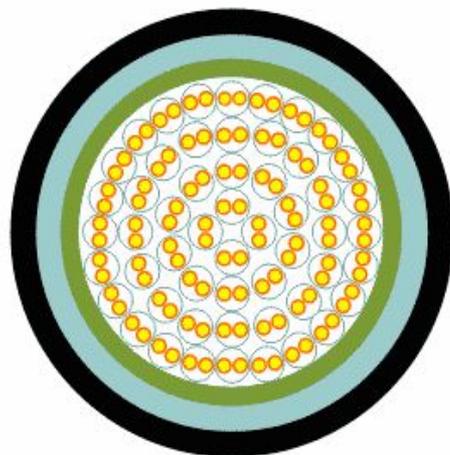
Двойная
парная

И, ПО ПОРЯДКУ СИММЕТРИЧНЫЕ НЧ

Пучковой скрутки

ТПП nx2

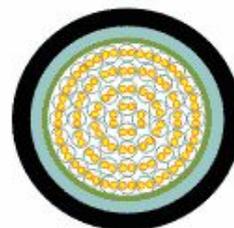
Повной скрутки



- Токонесущая жила
- Изоляция
- Поясная изоляция
- Экран
- Оболочка



Повивная скрутка



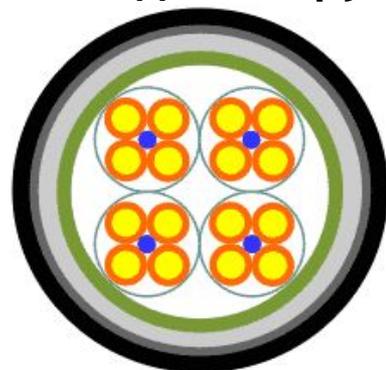
- Токонесущая жила
- Изоляция
- Поясная изоляция
- Экран
- Оболочка



Пучковая скрутка

НЧ дальней связи - ТЗ

Звездная скрутка

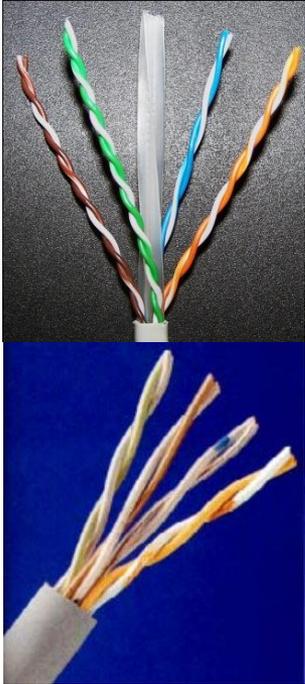


- Токонесущая жила
- Изоляция
- Кордель-заполнитель
- Поясная изоляция
- Оболочка
- Подслой
- Наружный покров кабеля

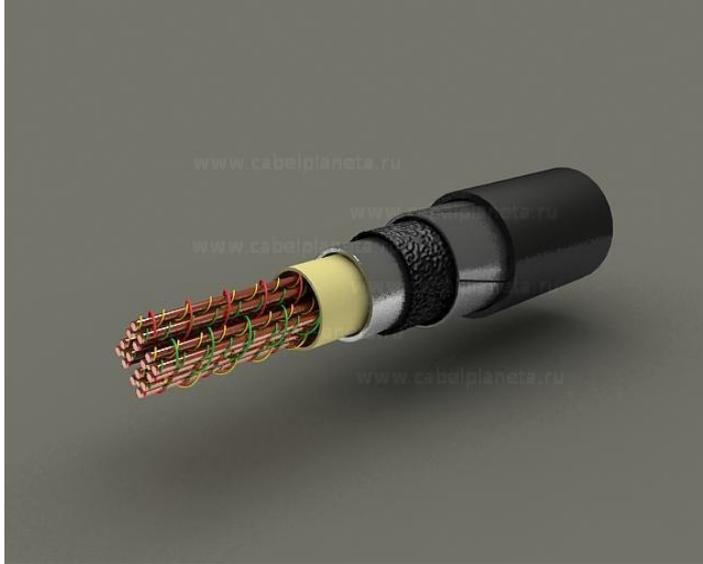
СИММЕТРИЧНЫЕ ВЧ

УТР

Витая пара



Типа МКСБ

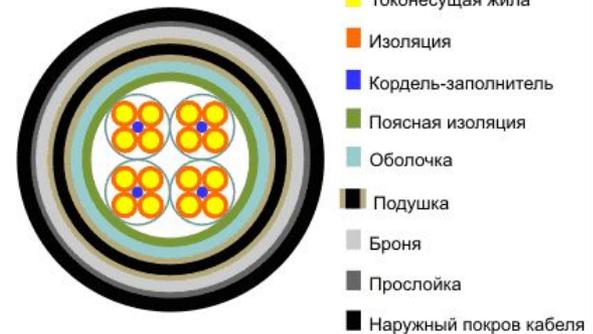
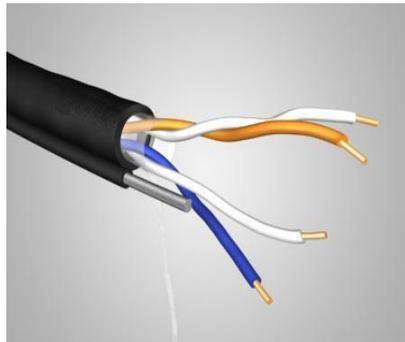


МКСБ 1x4x1,2

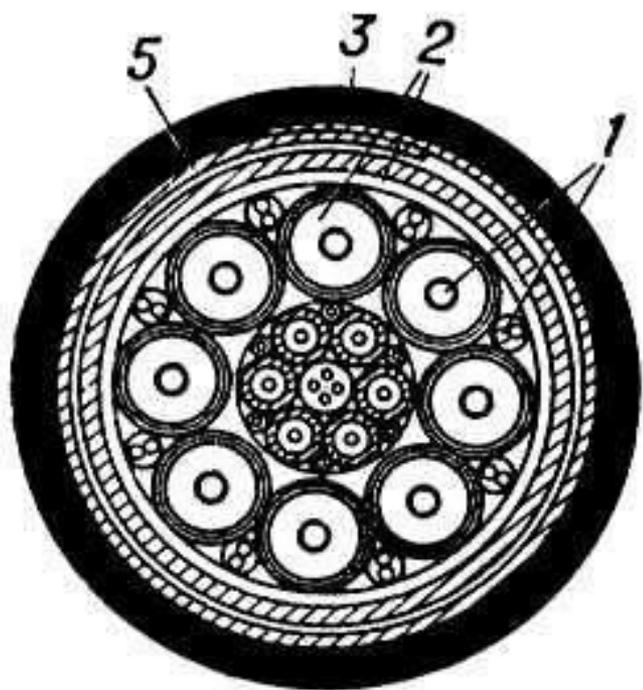


МКСБ 4x4x1,2

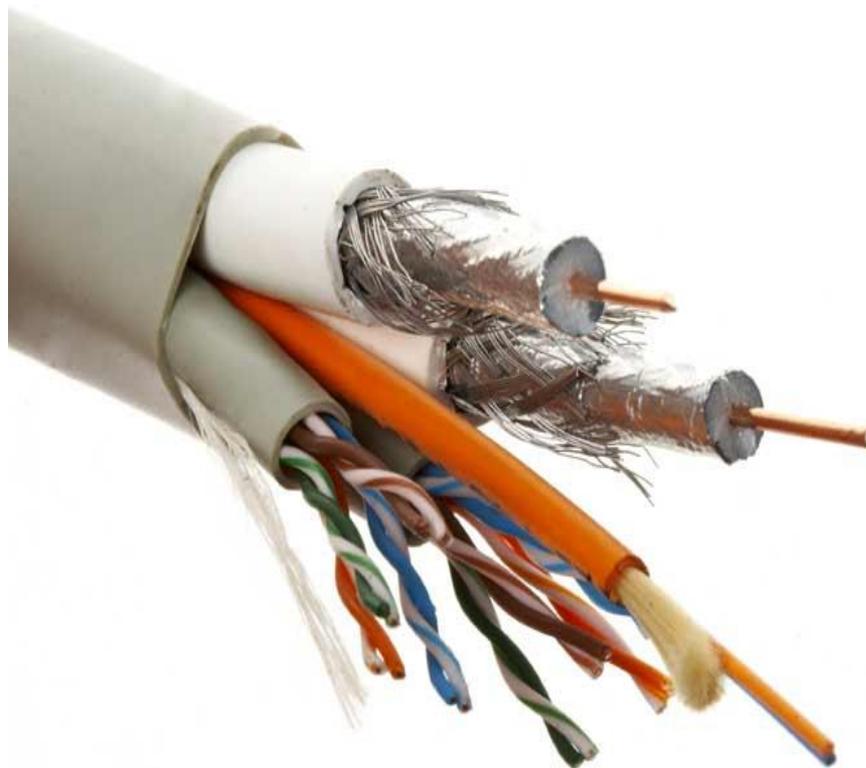
Подвесной 1x4



КОАКСИАЛЬНЫЕ КАБЕЛИ



Комбинированный
Магистральный КМБ 8x6
Пары 2,6x9,4 - 8 шт.
Пары 1,2x4,6 - 6 шт



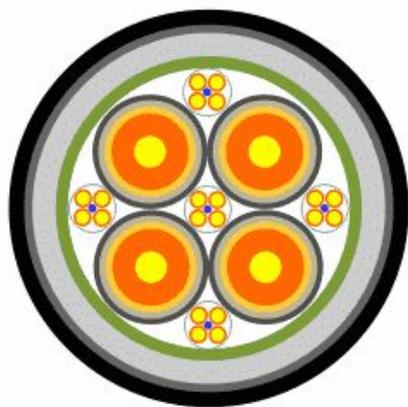
Сложно
Комбинированный
- 2 коаксиальные пары
- 2 витые пары
- 2 оптических волокна

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Радиочастотный Типа РК-75

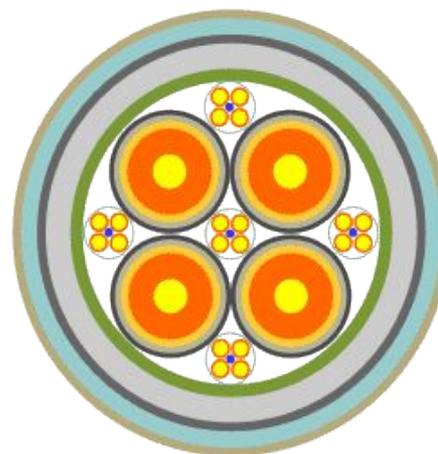


Два коаксиальный для организации обратного канала



- Внутренний проводник
Токонесущая жила
- Изоляция
- Внешний проводник
- Экран
- Наружный покров пары
- Кордель-заполнитель
- Поясная изоляция
- Оболочка
- Подушка
- Наружный покров кабеля

КМАШп-4

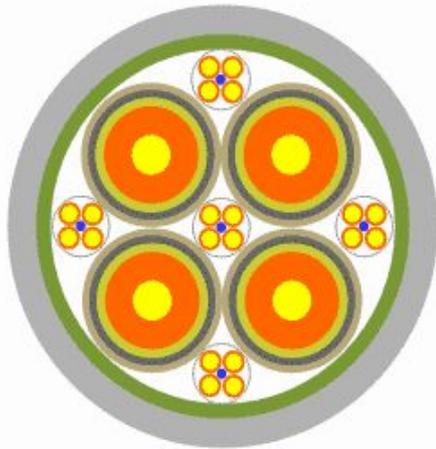


- Внутренний проводник
Токонесущая жила
- Изоляция
- Внешний проводник
- Экран
- Наружный покров пары
- Кордель-заполнитель
- Поясная изоляция
- Оболочка
- Подушка
- Броня
- Наружный покров кабеля

КМБп-4

ПРОДОЛЖЕНИЕ

КМГ-4



- Внутренний проводник
Токонесущая жила
- Изоляция
- Внешний проводник
- Экран
- Наружный покров
- Кордель-заполнитель
- Поясная изоляция
- Оболочка

Магистральный для ТВ



Подвесной с низкими потерями



ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

Хронология развития оптической связи

Волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) исполнилось более 40 лет. В середине 70-х годов XX века фирма Corning освоила производство волоконных световодов с низким затуханием, появились надежные лазеры, и с этого времени началось практическое использование ВОЛС. За это время ВОЛС заняли ведущую позицию в системах передачи информации.

История оптической связи в датах такова:

- 1790 г. — оптический телеграф во Франции;
- 1860 г. — демонстрация А.Беллом модуляции оптического сигнала зеркалом;
- 1881 г.— передача речи при помощи светового луча;
- 1970 г. — Ж. И. Алферов разработал полупроводниковый лазер, работающий при комнатной температуре;
- 1970-1973 гг. — Corning Glass Company осваивает производство оптического волокна с затуханием меньше 20 дБ/км;

- 1973 г. — получены лазерные диоды со сроком службы 1000 часов;
- 1974 г. — разработано градиентное многомодовое волокно;
- 1976 г. — срок службы лазеров увеличен до 100000 часов (10 лет);
- 1976 г. — открыто третье окно в спектральном диапазоне работы ВОЛС ($\lambda = 1,55$ мкм);
- 1977 г. — срок службы лазеров увеличен до 1 млн. часов (100 лет);
- 1978 г. — тестирование ВОЛС со скоростью передачи информации 32 Мбит/с, длина участка 53 км и рабочая длина волны $\lambda = 1,3$ мкм;
- 1978 г. — получено затухание в оптическом волокне 0,2 дБ/км ($\lambda = 1,55$ мкм);
- 1980 г. — первая коммерческая ВОЛС (между Бостоном и Ричмондом — США), три рабочих длины волны, градиентное многомодовое волокно, скорость передачи информации 45 Мбит/с;

- 1981 г. — получена скорость передачи сигнала 140 Мбит/с в одномодовом волокне длиной 49 км, $l = 1,3$ мкм. Начало работ с одномодовыми волокнами со смещенной дисперсией;
- 1982 г. — скорость передачи в одномодовом волокне достигла 400 Мбит/с ($l = 1,3$ мкм);
- 1987 г. — разработан эрбиевый оптический усилитель. Начало работ по ВОЛС со спектральным уплотнением;
- 1988 г. — первая трансокеанская ВОЛС — ТАТ-8 (одномодовые волокна, $l = 1,3$ мкм);
- 1995 г. — начало практического использования ВОЛС со спектральным уплотнением;
- 1998-2000 гг. — создание систем плотного (DWDM) и сверхплотного (HDWDM) спектрального уплотнения;
- 1999-2000 гг. — создание оптических переключателей спектральных каналов;
- 2000 г. — использование систем „грубого“ спектрального уплотнения (CWDM);
- 2000-2002 гг. — DWDM-системы с пропускной способностью до 1,6 Тбит/с.

ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ВОЛС.

1 этап

- В середине 70-х годов XX века появились полупроводниковые лазеры и волоконные световоды с небольшим затуханием. Первые лазеры для ВОЛС имели длину волны излучения 0,85 мкм (первое окно прозрачности волокна) и невысокую эффективность; волоконные световоды были многомодовыми и имели затухание в несколько дБ/км и полосу пропускания не более 20 МГц*км.
- Разработка многомодовых волоконных световодов с градиентным профилем показателя преломления, которые обеспечили увеличение полосы пропускания до 160 МГц*км.

2 этап

- Увеличение дальности передачи информации - уменьшение затухания оптического сигнала в волоконном тракте. Разработка приемопередающей аппаратуры, работающей во втором (1,3 мкм) спектральном диапазоне (окне), позволила снизить затухание в многомодовых волокнах с 3 дБ/км (0,85 мкм) до 1 дБ/км (1,3 мкм). Одновременно у многомодовых волокон повысилась и полоса пропускания до 500 МГц*км.

3 этап

- **Одномодовый этап истории ВОЛС.** Одномодовые волокна позволили значительно повысить скорость передачи информации за счет отсутствия межмодовой дисперсии, а переход в третье спектральное окно (1,55 мкм) позволил снизить потери в одномодовых волокнах с 0,35 дБ/км (1,31 мкм) до 0,2 дБ/км (1,55 мкм).
- Прогресс цифровых систем передачи информации (сети синхронной цифровой иерархии – SDH) с практически неограниченным объемом передаваемого трафика. Увеличению скорости и дальности передачи информации в одномодовых системах препятствует хроматическая дисперсия в волокнах. Разработаны оптические волокна с нулевой дисперсией в области длин волн 1,31 мкм (волокна типа G.652) и смещенной в области длин волн 1,55 мкм нулевой дисперсией (волокна типа G.653).

4 этап

- Использование оптических усилителей (ОУ). ВОЛС с оптическими усилителями и волокном G.653 обеспечивали передачу информации со скоростями до 40 Гбит/с на расстояние более ста километров.

- ОУ открыли важнейший этап в развитии волоконно-оптической связи — появились системы со спектральным уплотнением - независимая передача информации на разных длинах волн. Системы со спектральным уплотнением наиболее эффективны в третьем окне прозрачности (1,55 мкм).
- Реализация уникальных возможностей таких систем (плотного спектрального уплотнения — DWDM и высокоплотного спектрального уплотнения — HDWDM), в свою очередь, потребовала решения еще одного ряда фундаментальных задач:
 - ▣ проблемы четырехволнового смешения;
 - ▣ разработки спектральных мультиплексоров демультиплексоров.

В настоящее время серийно выпускаются системы со скоростью передачи 40 Гбит/с, ведутся эксперименты на 100 Гбит/с. Однако уже на скоростях более 10 Гбит/с появляются ограничения, связанные еще с одним видом временной дисперсии — поляризационно-модовой дисперсией (PMD).

5 этап

- ◉ В последнее время повышенное внимание уделяется не только высокоскоростным магистральным ВОЛС, но и локальным системам. Массовые локальные волоконно-оптические системы передачи должны обеспечить загруженность региональных и магистральных ВОЛС, повысить эффективность волоконно-оптических сетей связи.

Сети FTTx, структуры PON постепенно вытесняют все сети, основанные на металлических кабелях т.к. позволяют обеспечить широкополосный абонентский доступ к услугам мультисервисных сетей.

Это в качестве предисловия, более конкретно мы будем говорить в соответствующем разделе курса.

КОНСТРУКЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ



- диэлектрический (ДПС, ДПН, ДПГ);
- стальной (СПС, СПН, СПГ)

и другие типы ОКСНМ, ОКПД, ДС, ДПТ, ДПМ, ОКЛ, ДПТ(М), ОКЛЖ, ОКК, ДПТ, ОКА, ОКМС, ОКА, ДПТ

ПРОДОЛЖЕНИЕ

Бронированный



Подвесной типа 8-ки



Легкий самонесущий



Навивной

ПРОДОЛЖЕНИЕ

ОКГТ



**Конструкция, внешний вид ВОК в
грозотросе.**

ПРАВИЛО МАРКООБРАЗОВАНИЯ

(ИСПОЛЬЗУЕТСЯ БОЛЬШИНСТВОМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ)

СКО	ДПС	020А/004Н	06	А08х2/04х1/Н04х1	Э2	15
1	2	3	4	5	6	7	8

Группы символов в маркировке:

1. Код разработчика или изготовителя (СКО - СевКабельОптик);
2. Тип кабеля;
3. Количество и тип волокон в кабеле (от 2 до 288 волокон; типы Е, А, Н, С, D , МА, МВ, МD);
4. Количество элементов сердечника (от 01 до 18);
5. Распределение и тип волокон в модулях и пучках;
6. Обозначение и количество электрических жил в кабеле (от Э1 до Э8);
7. Длительно_допустимая растягивающая нагрузка кабеля в кН;
8. Исполнение кабеля (НГ, LS, HF, FR, Д).

Типы волокон:

Е - одномодовое с несмещенной дисперсией («стандартное»).

А - одномодовое с уменьшенными потерями в диапазоне длин волн 1383-1480 нм пика поглощения гидроксильных групп (ОН).

Н - одномодовое со смещенной ненулевой дисперсией.

С - одномодовое с отрицательной смещенной ненулевой дисперсией.

Д - одномодовое со смещенной ненулевой дисперсией и с нормированной хроматической дисперсией в диапазоне длин волн 1460-1625 нм.

МА - многомодовое градиентное с диаметром сердцевины 50 мкм.

МВ - многомодовое градиентное с диаметром сердцевины 62,5 мкм

МД - многомодовое градиентное с диаметром сердцевины 100 мкм

Виды исполнения кабеля:

НГ - не распространяющее горение;

LS - с низким дымо_ и газовыделением;

HF - с пониженной коррозионной активностью продуктов дымо_ и газовыделения;

FR - огнестойкое;

Д - дугостойкое (стойкие к медленной электрокоррозии).