

## Предисловие

Основным направлением создания сетей электросвязи в третьем тысячелетии является создание единой сети, основой которой являются волоконно-оптические линии связи. В настоящее время первичная сеть электросвязи базируется на симметричных, коаксиальных и волоконно-оптических линиях связи. Несмотря на то что на магистральной и внутризоновой первичной сети всех министерств и ведомств основное место занимали симметричные и коаксиальные кабели связи, все новое строительство в ведущих министерствах и ведомствах в настоящее время выполняется на оптическом кабеле связи. Другими словами, транспортный участок сети (междугородный, внутризоновый и городской) подчинен волоконно-оптическим технологиям. Сеть доступа (городская и сельская связь) также при новом строительстве базируется на волоконно-оптическом кабеле (волокно в кабельный шкаф, волокно к дому, волокно к абоненту, волокно на рабочий стол).

При волокне в шкаф предполагается, что к абоненту от шкафа идет кабель с медными жилами; при волокне к дому предполагается, что распределительный и абонентский участки в доме выполнены кабелем с медными жилами (симметричным или коаксиальным); при волокне к абоненту предполагается, что от распределительной коробки будет идти медный кабель к аппарату и компьютеру, а к телевизору — коаксиальный радиочастотный кабель; при волокне на стол будет реализовано волоконно-оптическая технология при сохранении медной абонентской проводки и радиочастотного коаксиального кабеля к телевизору.

В России осуществляется полная интеграция существующих сетей (включая сети подвижной связи, вещания и Интернет) в единую федерацию сетей. По данным Cisco, мировой объем Интернет-трафика к 2021 г. достиг 3,3 зеттабайт (в 2016 г. аналогичный показатель составлял 1,2 зеттабайт), при этом суммарная скорость по одному оптическому волокну достигла 4 Тбит/с, а по медному кабелю 1 Гбит/с.

С начала 90-х годов прошлого века на магистральной и внутризоновых сетях общего пользования прекратилось строительство новых линий связи на кабелях с медными жилами, однако огромная

сеть, создаваемая десятилетиями на кабелях с медными жилами, в 4...6 раз превышает современную сеть на оптических кабелях связи. Транспортная сеть на медном кабеле не может конкурировать с оптической транспортной сетью ни по пропускной способности, ни по качеству цифрового сигнала, ни по протяженности и по ряду других характеристик.

Несомненно, приоритетным направлением является направление широкого развития волоконно-оптических кабелей всех уровней первичной сети: транспортного и доступа, дальнейшее развитие медных кабелей на сети общего пользования, на сети доступа, кабелей структурированных кабельных систем, радиочастотных коаксиальных кабелей для сети кабельного телевидения.

В России имеется около 2700 городов (до уровня райцентров включительно), в которых имеется местная сеть, что потребует также ее замены на оптическую кабельную сеть. Существует также огромное количество деревень и поселков, в которых либо проложены медные кабели, либо их вообще нет. С экономической точки зрения прокладывать оптические кабели в село или в поселок невыгодно. Более целесообразно обеспечить сельскую инфраструктуру малокабельной радиорелейной связью, а оптические кабельные линии использовать для соединения базовых станций. При 100%-ной замене линий связи с медными жилами на оптические кабельные линии потребуются также десятки лет до 2069 года. Срок службы многих типов электрических и оптических кабелей истечет за этот период, и их необходимо будет менять как на сети доступа, так и на транспортном участке сети. Поэтому оптимистический прогноз может измениться в сторону увеличения еще на десятки лет.

Во всех городах мира и между городами и континентами проложено свыше 2,5 миллиардов километров двухпроводных медных цепей. Оценить глобальные протяженности междугородных кабельных линий и линий производственной связи и кабелей управления не представляется возможным. Всех кабелей связи разработано и внедрено и внедряется в мире миллионы километров, проложено в земле, под водой, подвешенных в воздухе, проложенных внутри зданий, на объектах гражданского и военного назначения.

Учитывая сказанное, требуется переиздание учебного пособия «Электрические кабели связи и их монтаж», авторы Э.Л. Портнов и А.Л. Зубилевич, опубликованного в 2005 году издательством «Горячая линия — Телеком», с учетом новых решений.

# 1 Тенденции развития направляющих систем электросвязи

---

Основными тенденциями развития связи как во всемирном масштабе, так и по регионам и отдельным странам являются глобализация и персонализация [1]. Глобализация связи означает создание Всемирной сети связи, охватывающей все страны. Частью Всемирной сети связи [2] станет Взаимоувязанная сеть связи России (ВСС).

Построение сети базируется на направляющих средах передачи (рис. 1.1). В направляющие среды передачи входят вся номенклатура действующих металлических кабелей связи, волоконно-оптические кабели, воздушные линии, волноводы, линии поверхностной волны, высоковольтные линии электропередачи, электрифицированные железные дороги, средства радиосвязи, радиорелейные линии и спутниковые линии.

Наиболее распространенной средой передачи в сетях является симметричный кабель и коаксиальный кабель. Симметричный кабель применяется как на сети общего пользования, так и в локальной сети. Симметричные кабели локальных сетей отличаются от кабелей сети общего пользования тем, что каждая пара этого кабеля имеет свой шаг скрутки, согласованный с другими парами кабеля.

Кроме симметричного кабеля, в локальных сетях и в сетях кабельного телевидения применяются коаксиальные кабели. Коаксиальные кабели классифицируются по размеру RG/ПК и по волновому сопротивлению: RG-8, RG-11 соответствуют кабелям ПК-50, RG-58/ПК-50 (другого размера), RG-59/ПК-75 — для сети кабельного телевидения, RG-62/ПК-93.

В настоящее время на сети кабельного телевидения на магистральных участках сети используется оптическое волокно, а на распределительном участке используется коаксиальный кабель типа RG-11/ПК-75, на абонентском участке также коаксиальный кабель типа RG-6/ПК-75.

Направляющими системами передачи (НСП), имеющими первостепенное значение при построении сетей электросвязи, являются электрические кабели связи, имеющие широкую номенклатуру, и волоконно-оптические кабели связи, которые широко внедряются на сети самостоятельно и, кроме того, встраиваются в конструкции высоковольтных линий и электрических железных дорог (рис. 1.2).

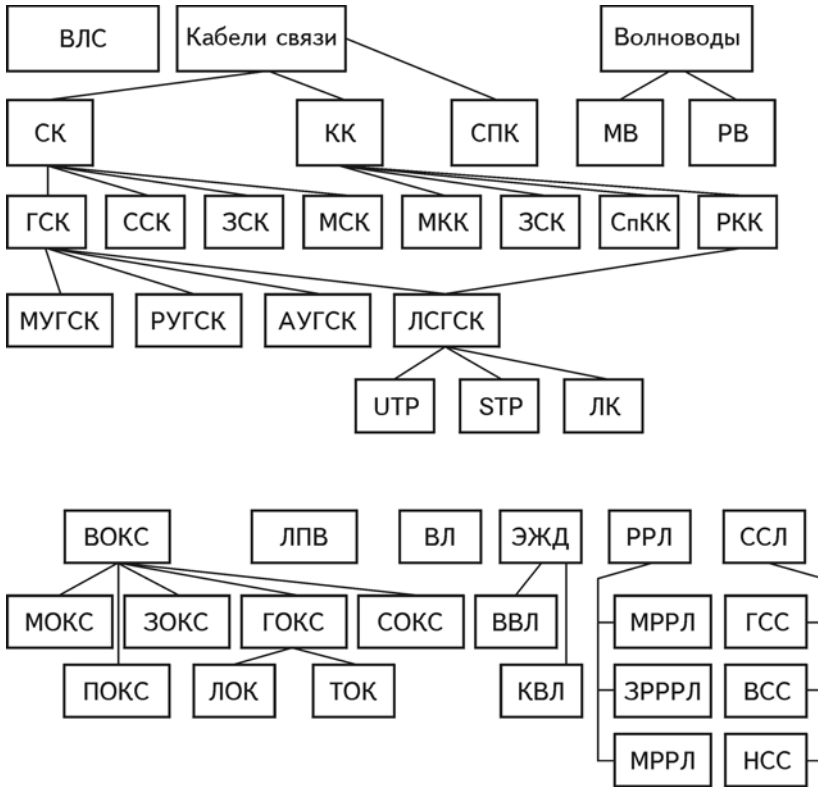


Рис. 1.1. Направляющие среды передачи

На рис. 1.1 и 1.2 приняты следующие сокращения.

НСЭ — направляющие системы электросвязи

ВЛС — воздушная линия связи

СК — симметричный кабель

КК — коаксиальный кабель

СПК — сверхпроводящий кабель

ЦМВ — цельнометаллический волновод

ОК — оптический кабель

ВВЛ — высоковольтная линия

ЭЖД — электрифицированная железная дорога

ЭМИ — электромагнитный импульс

ВОК — волоконно-оптический кабель

ГСК — городской симметричный кабель связи

ССК — сельский симметричный кабель связи

ЗСК — зональный симметричный кабель связи

МСК — магистральный симметричный кабель связи

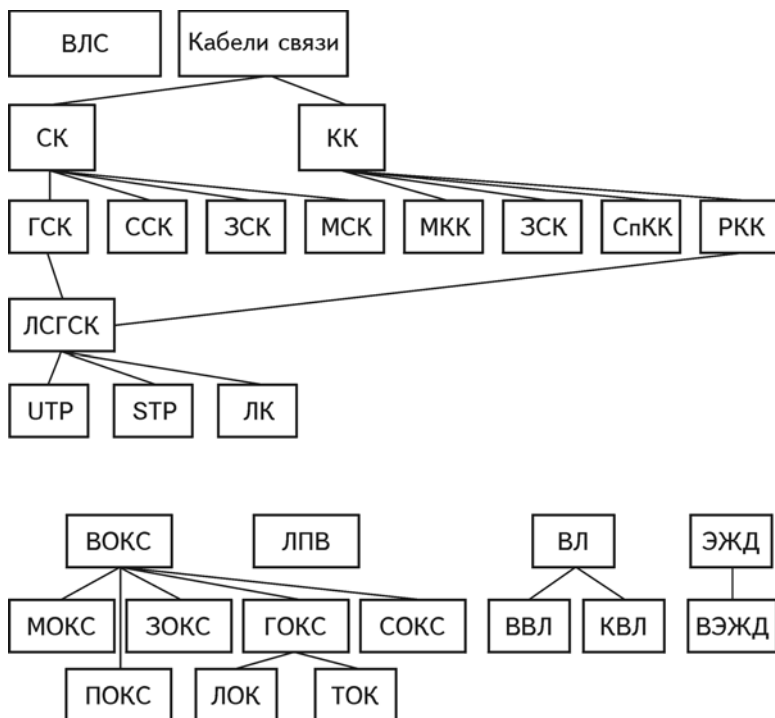


Рис. 1.2. Направляющие системы электросвязи

ЛСГСК — локальные сети на городских симметричных кабелях связи

УТР — неэкранированная скрученная симметричная пара

СТР — экранированная скрученная симметричная пара

МКК — магистральные коаксиальные кабели связи

ЗКК — зонные коаксиальные кабели связи

СКК — специальные коаксиальные кабели связи

РКК — радиочастотные коаксиальные кабели связи

МВ — магистральный волновод

РВ — распределительный волновод

ЛК — ленточные кабели

МУГСК — магистральный участок городского симметричного кабеля связи

РКГСК — распределительный участок городского симметричного кабеля связи

АУГСК — абонентский участок городского симметричного кабеля связи

ВОКС — волоконно-оптический кабель связи

МОКС — магистральный оптический кабель связи  
ПОКС — подводный оптический кабель связи  
ЗОКС — зонный оптический кабель связи  
ГОКС — городской оптический кабель связи  
ЛОК — ленточный оптический кабель связи  
ТОК — транспортный оптический кабель связи  
СОКС — сельский оптический кабель связи  
ЛПВ — линия поверхностной волны  
КВЛ — кабельная высоковольтная линия  
РРЛ — радиорелейная линия  
МРРЛ — магистральная радиорелейная линия  
ЗРРЛ — зонная радиорелейная линия  
МРРЛ — местная радиорелейная линия  
ССЛ — спутниковые линии связи  
ГСС — спутниковая связь на геостационарной орбите  
ВСС — высоколетящие спутниковые системы  
НСС — низколетящие спутниковые системы

Развитие линейно-кабельных сооружений определяет развитие электросвязи в целом. На рис. 1.3 можно видеть приоритеты в развитии линейно-кабельных сооружений в мире [1]. Довольно ясно прослеживается тенденция интенсивного развития волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Согласно прогнозам при числе каналов более 10 тыс. ВОЛС оказываются экономичнее радиорелейных линий (РРЛ) и спутниковых систем связи. На долю ЛС в области дальней связи приходится 60...70 % каналов, а на долю спутниковых и радиорелейных линий — 30...40 %.

В настоящее время трехуровневое представление сетей все чаще заменяется на двухуровневое [1]: транспортную и абонентскую сети связи. Транспортная сеть связи объединяет междугородные и внутризоновые (региональные) сети связи. Абонентская сеть связи (сеть доступа или сеть абонентского доступа) является местной сетью.

Основными элементами транспортной сети являются высокоскоростные ВОЛС. В дальнейшем в транспортные сети будут внедрены локальные кольцевые сети, также построенные на ВОЛС. На долю междугородных и международных сетей приходится 10 % стоимости связи в целом, 90 % поглощает местная или абонентская сеть доступа [1].

Известны три способа создания абонентских линий: с помощью медного кабеля, оптического кабеля и радиоканала, включая спутниковый канал. Замена проводного канала на радиоканал экономит средства, необходимые для создания абонентской линии, но повышает стоимость стационарного оборудования. Считается, что проводной канал является основным для стационарных абонентов.

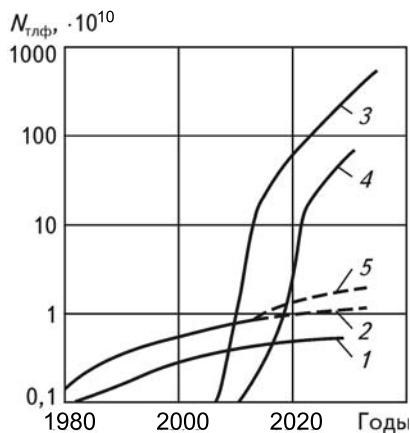


Рис. 1.3. Развитие НСЭ: 1 — коаксиальные кабели; 2 — симметричные кабели; 3 — наземные ВОЛС; 4 — подводные ВОЛС; 5 — сверхпроводящие кабели

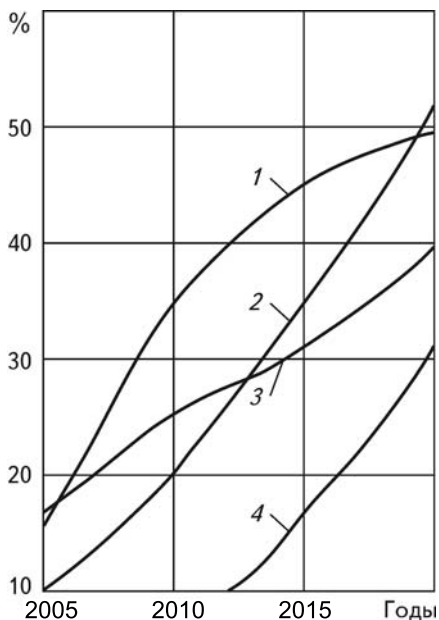


Рис. 1.4. Каналы ВОЛС на различных участках сети: 1 — внутризоновые; 2 — магистральные; 3 — местные; 4 — абонентские

Однако в перспективе оптический кабель займет на абонентском участке сети главенствующее положение (рис. 1.4) и вытеснит медные кабели.

Развитие Взаимоуязвленной сети связи России происходит на базе комбинированного использования волоконно-оптических и металлических кабелей, при этом используются и уже проложенные ранее металлические кабели [3].

Основной принцип, который закладывается в стратегию развития первичной сети, состоит в том, что оно происходит на базе как проводных средств (в первую очередь волоконно-оптических, а также коаксиальных и симметричных кабелей), так и радиосредств — радиорелейных линий прямой видимости, тропосферных и спутниковых линий.

На этапе цифровизации первичной сети создаются наложенные сети (магистральные, внутризоновые, местные), предназначенные для предоставления цифровых каналов вторичным сетям и потребителям. Основное средство цифровизации первичной сети — цифровые системы передачи (ЦСП), образующие типовые цифровые каналы и групповые цифровые тракты.

Цифровизация первичной сети осуществляется путем капитального строительства и реконструкции существующих линейных сооружений. Соотношение между объемами капитального строительства и реконструкцией определяется финансовыми возможностями предприятий связи и наличием технических средств. Предпочтительно капитальное строительство ЦСП синхронной цифровой иерархии на ВОК и РРЛ.

Для ускорения цифровизации первичной сети и удовлетворения потребностей в цифровых каналах, ускоренной телефонизации удаленных и труднодоступных сельских районов, внедрения новых услуг могут также использоваться спутниковые системы передачи на основе малых, средних и тяжелых космических платформ с применением аппаратов на геостационарных высокоэллиптических (до 50 000 км) и низких (до 2000 км) орбитах.

По мере внедрения ВОК и ЦСП в качестве основной используется кольцевая структура.

Одним из путей увеличения числа цифровых трактов по волоконно-оптическим линиям является спектральное разделение сигналов. При невысокой телефонной плотности рекомендуется строительство плезихронной иерархии на цифровых радиолиниях и ВОК, а также реконструкция аналоговых систем передачи на традиционных кабелях, если их параметры соответствуют действующим нормам.

На городских сетях в качестве абонентских линий наряду с проводными средствами находят применение также средства радиодоступа. Со временем сельские первичные сети будут создаваться на кольцевых структурах, базирующихся на ВОЛС и РРЛ.



Характерными для сельских первичных сетей являются абонентские линии большой протяженности (5...10 км и более). Для таких абонентских линий предлагается широко использовать радиосредства. Из соображений технико-экономической целесообразности будут использованы двухволоконные и одноволоконные оптические кабели с перспективой увеличения пропускной способности методами спектрального уплотнения [4].

В мире телекоммуникаций произошел стремительный переход от многомодовых к одномодовым оптическим волокнам (ОВ) в оптических кабелях, к увеличению числа ОВ, к разнообразию оптических элементов. В линиях осуществляется переход на волну 1,55 мкм, увеличение длин участков регенерации с десятков до сотен километров, увеличение скоростей передачи до уровня десятков гигабит в секунду, спектральное уплотнение, внедрение эрбиевых усилителей. Приоритет отдается междугородним и международным линиям, а также линиям абонентской связи.

Сегмент доступа проходит через пять транспортных архитектур: 1 — протоколы Интернета через медь (xDSL), 2 — IP-слой через оптическое волокно, 3 — спутниковая связь, 4 — высокочастотная радиосвязь через оптическое волокно, 5 — радиочастотная радиосвязь через коаксиальный кабель.

Для ускорения цифровизации рекомендуется использовать также спутниковые системы передачи на основе малых, средних и тяжелых космических платформ.

Каналы и тракты спутниковых систем передачи используются для взаимного резервирования с каналами и трактами наземных систем передачи по ВОЛС. Основной направляющей системой электросвязи для магистральных, международных, городских и сельских сетей в дальнейшем будет являться ВОЛС. При невысокой телефонной плотности основным средством цифровизации остается реконструкция металлических кабелей, а также строительство систем плезмохронной иерархии на цифровых радиоприемах и линиях на ВОЛС.

В рамках проекта по созданию цифрового кольца построены и строятся волоконно-оптические цифровые линии связи общей протяженностью 21 000 км.

Учитывая, что глобальная сеть связи строится на базе национальных сетей связи, в том числе региональных и абонентских, абонентам гарантированы любые услуги в любом месте земного шара. При этом первостепенное значение для построения стационарной сети связи имеют линейно-кабельные сооружения каждой страны. Роль и место линейно-кабельных сооружений, построенных

на стремительно развиваемых ВОЛС, невозможно переоценить, так как 60 % глобальной сети связи будут занимать наземные и подводные ВОЛС.

Уже построены и введены в эксплуатацию подводные ВОЛС Дания — С.-Петербург, Япония и Корея — Находка, Новороссийск — Палермо и Стамбул, предлагается проект трансатлантической ВОЛС Мурманск — Канада (ТАЛ-1) через Северный полюс. При этом длина этой линии будет составлять 4500 км, тогда как средняя длина трансатлантических линий составляет 6000 км, транстихоокеанских — 8000 км [5].

Первичные сети в соответствии с разработанной концепцией должны базироваться на существующих сооружениях связи, а при развитии рекомендуется применять современные технические средства: волоконно-оптическую технику, цифровые системы передачи, радиорелейные линии связи, спутниковые системы передачи. В соответствии с [2] принято двухуровневое построение первичной сети: транспортная сеть и сеть доступа (абонентская сеть).

Магистральная и внутризональная часть цифровых наложенных сетей являются основой транспортной цифровой сети. Местные первичные сети на участке «местный узел — оконечное устройство» являются сетью доступа. Для обеспечения цифровизации первичной сети на магистральных, внутризональных и местных первичных сетях создается наложенная цифровая первичная сеть, являющаяся самостоятельной сетевой структурой.

Национальная сеть России строится на базе Взаимоуязвленной сети связи и других ведомств (Минэнерго, Министерства транспорта, нефти и газа, сельского хозяйства, Министерства обороны и др.)

Сеть связи общего пользования, принадлежащая отрасли связи, представляет наиболее развитую структуру, которая в обозримом будущем останется основной для предоставления услуг связи.

Вольшой вклад в развитие сети связи России вносят сети, принадлежащие, например, отраслям энергетики и путей сообщения, имеющим разветвленную инфраструктуру на значительной части территории России.

Развивая и совершенствуя свою сеть, ведомства, предоставляющие свои сети для общего пользования, способствуют развитию Взаимоуязвленной сети связи России [6].

Цифровизация ЕСЭТЭ осуществляется и будет осуществляться в первую очередь за счет широкого внедрения ВОЛС с подвеской волоконно-оптического кабеля (ВОК) на линиях электропередачи всех классов напряжений.

При этом используются следующие варианты подвески [8]:

- ВОК, встроенные в грозозащитные тросы на ВЛ 220 кВ и выше, для организации магистральных линий связи;
- самонесущие ВОК для подвески на ВЛ 220 кВ и ниже для организации внутрисистемных линий связи;
- ВОК, навиваемые на фазные провода ВЛ 220 кВ и ниже и на грозозащитные тросы ВЛ 220 кВ и выше, для организации внутрисистемных и местных линий связи.

Одновременно предусматривается прокладка ВОК в телефонной канализации и грунте для организации вводов на узлы связи и организации соединительных линий, а также для сооружений, в том числе магистральных линий связи.

Весьма широкое распространение получают цифровые радиорелейные линии для организации как межведомственных, так и внутрисистемных каналов связи. Предусматривается также строительство цифровых РРЛ вдоль магистральных ВЛ высокого и сверхвысокого напряжения.

Дальнейшее развитие ВЧ связи по воздушным линиям электропередачи будет осуществляться одновременно с техническим переоснащением электрических сетей.

Основной тенденцией развития линейно-кабельных сооружений в электроэнергетике является внедрение волоконно-оптических линий связи, особенно встроенных в конструкции высоковольтных линий.

В отрасли путей сообщения (ОПС) [9] при общей протяженности железных дорог 87 тыс. км кабельные линии составляют 63 тыс. км. Общая протяженность воздушных и кабельных линий связи составляет 100,0 тыс. км.

Протяженность радиорелейных линий связи составляет всего 8,7 тыс. км, поездная радиосвязь составляет 97,6 % эксплуатационной длины железных дорог.

Намечены основные приоритеты по развитию линий связи:

- широкое развитие и модернизация кабельных магистралей на традиционных металлических кабелях;
- внедрение ВОЛС на опорах контактной сети железных дорог, прокладка ВОЛС в земле и канализации;
- строительство цифровых РРЛ;
- развитие поездной дуплексно-симплексной радиосвязи;
- применение спутниковых систем связи;
- цифровизация сети ОПС на базе ВОЛС.

Первая магистраль ОПС Москва — С.-Петербург, подвешенная на опорах контактной сети, с системой синхронной цифровой иерархии (СЦИ) была построена в 1994 г. Линии ВОЛС Москва — Вла-

дивосток, Москва — Новороссийск построены также на опорах контактной сети железных дорог. В полосе отчуждения железных дорог ВОЛС будут прокладываться непосредственно в грунте.

Создаваемая современная цифровая система на основе ВОЛС позволит обеспечить необходимыми средствами связи службы ОПС, эксплуатирующие основные железнодорожные магистрали России и коммерческую телефонную сеть связи.

Первичная сеть ОПС на основе волоконно-оптических кабелей связи и систем передачи синхронной цифровой иерархии внесена и одобрена как одно из самых перспективных направлений в области совершенствования магистральных линий связи [10].

В систему электросвязи РАО «Газпрома» входят линии связи, проложенные вдоль газопроводов различного назначения. Протяженность магистральных газопроводов и газопроводов-отводов составляет сотни тысяч километров.

До распада СССР сеть связи газовой промышленности насчитывала более 120 тыс. км КЛС и РРЛ.

Кабельные линии связи и РРЛ строятся в одном технологическом коридоре с многочисленными газопроводами и призваны обеспечить не только дальнюю междугородную связь, но и низовую связь с каждым объектом на трассе.

Вместе с тем трассы нефтепроводов и газопроводов хотя и имеют одни направления, но не совпадают. Поэтому нефтяная промышленность имеет свои сети. Эти сети взаимодействуют друг с другом при решении вопросов резервирования и обеспечения связью в аварийных ситуациях.

Основными линиями связи являются кабельные и РРЛ.

Спутниковая связь наиболее эффективно используется:

- при строительстве газопроводов в первый период эксплуатации, когда еще не построены основные средства связи;
- для оснащения аварийно-ремонтных бригад;
- для организации связи с труднодоступными объектами;
- для организации связи при добыче газа на морском дне.

В Европейской части России «Газпром» ориентируется на кабельные линии связи, а в Северных районах Тюменской области со сложными климатическими условиями — на РРЛ.

Первичная сеть РАО «Газпром» насчитывает 120 тыс. км волоконно-оптических линий связи; 14,9 тыс. км многоканальных радиорелейных; 5,8 тыс. км воздушных и 54,2 тыс. км линий связи на металлических кабелях. Кроме того, она содержит десятки тысяч километров малоканальных линий связи, организованных на газопроводах-отводах. В ряде регионов первичная сеть состоит из

одиночных линий, лишенных обходов и рокадных перемычек. Сложившаяся структура магистральных линий связи, их низкая пропускная способность, моральный и физический износ оборудования ограничивают возможности резервирования и реконфигурации сети, снижая ее надежность и живучесть [11].

Стратегией развития технического перевооружения ведомственной сети связи РАО «Газпром» предусмотрены три этапа.

На первом этапе построено 13590 км ЦРРЛ и 1910 км ВОЛС. Соотношение аналоговых, цифровых радиорелейных и волоконно-оптических линий связи магистральной сети РАО «Газпром» составляет 68,3; 28,1 и 3,6 % соответственно [12].

На втором этапе (1998...2000 г.) осуществлено: объединение построенных на первом этапе цифровых линий связи и цифровой первичной сети с организацией выхода на нее всех предприятий РАО «Газпром»; дальнейшее развитие вторичных сетей связи; внедрение новых услуг и повышение качества обслуживания абонентов за счет использования цифровых каналов связи. Продолжается развитие коммерческой сети связи. Спутниковые сети связи «Ямал» переведены на работу с собственными КА для организации связи с удаленными абонентами, в том числе при обеспечении работ по освоению новых газовых месторождений полуострова Ямал и Ныдым-Пур Тазовского региона.

На втором этапе, несмотря на преимущественное строительство ЦРРЛ, приоритеты были смещены в пользу ВОЛС.

Всего за второй этап построено 9150 км ЦРРЛ и 6570 км ВОЛС. Соотношение аналоговых, цифровых радиорелейных и волоконно-оптических линий связи составило: 39,1; 45,1 и 15,8 % соответственно.

Третий этап в качественном отношении характеризуется совершенствованием структуры первичной сети за счет строительства рокадных перемычек, а также резервирующих ЦРРЛ и ВОЛС.

Всего за третий этап построено более 13 160 км ЦРРЛ и 7850 км ВОЛС. Соотношение цифровых радиорелейных и волоконно-оптических линий связи магистральной сети РАО «Газпром» составляет 69,6 и 30,4 %.

«Концепцией развития связи Российской Федерации», разработанной по инициативе отрасли связи и одобренной Правительством России, определены состав, архитектура, цели, направления и общая стратегия развития ВСС России. В соответствии с ней в Схеме развития и размещения сооружений связи РАО «Газпром» на перспективу сформулированы принципы функционирования ведомственной сети связи РАО «Газпром» как составной части ВСС России, определяющие:

- условия ее сопряжения с сетью связи общего пользования и другими ведомственными сетями в составе ВСС России;
- способы и условия технологического взаимодействия с сетью связи общего пользования на уровне первичной и вторичной сетей и служб связи;
- порядок и организацию взаимодействия с системами управления сетью связи общего пользования;
- требования по обеспечению централизованного управления при чрезвычайных ситуациях и в условиях чрезвычайного положения;
- мероприятия по обеспечению информационной безопасности и защиты информации в системах ее обработки, хранения и передачи.

Линии связи развиваются на основе модернизации существующей сети с широким и интенсивным развитием волоконно-оптических линий связи, в первую очередь, цифровых радиорелейных линий и спутниковых линий связи. Несомненное преимущество в развитии сетей связи имеют ВОЛС.

По существующим медножильным кабелям, проложенным на абонентских сетях, получили широкое применение технологии xDSL (DSL — высокоскоростная цифровая передача по медной абонентской линии, x — версия технологии). На таких линиях наибольшее применение получили асимметричные технологии ADSL, обеспечивающие передачу со скоростью до 8 Мбит/с в направлении «от сети к абоненту» и до 640 кбит/с в направлении «от абонента к сети». Используются также технологии ADSL2/ADSL2+ со скоростями передачи соответственно до 12 и 26 Мбит/с. Кроме того, известны также технологии HDSL, VDSL, VDSL2 и ряд других. Для широкополосного абонентского доступа кабельной промышленностью в последние годы разработаны и выпускаются специальные кабели. Это малопарные кабели различных марок с числом пар от 1 до 5 и диаметром жил 0,5; 0,64; 0,9 мм, а также кабели с числом пар от 5 до 100–300 и диаметром жил 0,4; 0,5; 0,64 и 0,9 мм. Эти кабели имеют сплошную полиэтиленовую или пленко-пористо-пленочную изоляцию. За счет автоматического регулирования диаметра изолированной жилы, погонной емкости и эксцентриситета, а также подбора и поддержания стабильными шагов скрутки пар величиной до 100...150 мм указанные кабели имеют повышенную геометрическую и диэлектрическую однородность и, как следствие, высокую помехозащищенность от взаимных и внешних электромагнитных влияний.

Строительство сетей доступа в настоящее время идет по четырем направлениям;

- сети на основе существующих медных телефонных пар и технология xDSL;
- гибридные волоконно-коаксиальные сети;
- беспроводные сети;
- волоконно-оптические сети.

Существуют четыре основные топологии построения оптических сетей доступа: «точка-точка», «кольцо», «дерево с активными узлами», «дерево с пассивными узлами».

Наиболее распространенной средой передачи в сетях уже 200 лет является симметричный кабель и 70 лет коаксиальный кабель. Симметричный кабель применяется как на сети общего пользования, так и в локальной сети. Симметричные кабели локальных сетей отличаются от кабелей сети общего пользования тем, что каждая пара этого кабеля имеет свой шаг скрутки, согласованный с другими парами кабеля. Симметричного кабеля за 200 лет проложено на сети связи по всему миру такое количество, что если вытянуть попарно в одну длину, то им можно не одну сотню раз пройти по экватору и ещё останется протянуть его несколько раз до Луны и обратно.

Кроме симметричного кабеля в локальных сетях и в сетях кабельного телевидения применяются коаксиальные кабели. Коаксиального кабеля проложено значительно меньше симметричного кабеля, однако он обладает большей широкополосностью и большими возможностями. Рассмотрим особенности применения симметричных и коаксиальных кабелей:

1. Симметричные и коаксиальные кабели в основном выполнены из меди, которая в земной коре составляет 0,0047 %.

2. Симметричные и коаксиальные кабели подвержены воздействию сильных электромагнитных полей, а также взаимному влиянию между цепями в одном кабеле, а также между кабелями.

3. Симметричные и коаксиальные кабели подвержены влиянию грозových разрядов, приводящих к разрушению кабельных конструкций и поражению аппаратуры и обслуживающего персонала.

4. Большие габаритные размеры как симметричных, так и коаксиальных кабелей дают значительный вес и, следовательно, создают трудности при строительстве и прокладке.

5. Ремонт симметричных и коаксиальных кабелей с дистанционным питанием требует отключения аппаратуры и заземления по условиям техники безопасности.

6. Требуется передача высоких напряжений для дистанционного питания 750 В и несколько киловольт, что требует эффективной защиты цепей в кабеле и соблюдения серьезных требований по технике безопасности обслуживающим персоналом.

Таблица 1.1

Сравнение медных кабелей и оптического волокна

Параметр	Пара или четверка	Коаксиальная пара	Оптическое волокно
Диаметр, мм	1...4	10	0,25...0,5
Отношение веса кабеля (передающая емкость)	1	1	0,1
Диаметр изгиба, см	>2,0	>90	>0,3
Строительная длина, м	100...800	100...500	1000...6000
Затухание, дБ/км	20 (4 МГц)	19 (60 МГц)	0,2...4,0
Ширина полосы	6 МГц	400 МГц	1...100 ГГц·км
Прокладка	общепринятая	общепринятая	общепринятая
Соединение строительных длин	общепринятая	общепринятая	специальная
Усилители	стандартные	стандартные	специальные
Расстояние между усилителями, км	1...2	1,5	10...100
Передаваемая емкость (тот же диаметр)	1	1	100

7. Используются такие дорогостоящие цветные металлы, как медь и свинец, запасы которых на Земле ограничены. Стоимость же электрических линий, коаксиальных и симметричных кабелей постоянно увеличивается как с дефицитом меди, так и с удорожанием энергетических затрат на производство меди и алюминия.

8. Увеличение числа каналов в симметричных и коаксиальных цепях приводит к уменьшению расстояния между усилителями и увеличению их количества, вследствие увеличения затухания медных цепей с увеличением частоты.

9. С увеличением количества цепей в медных кабелях уменьшаются строительные длины при строительстве линий до 200 метров и менее, что уменьшает их надежность в связи частотой соединительных муфт.

10. Медные кабели подвержены коррозии, а разрушение изоляции грызунами приводит к его повреждению.

11. Температурные возможности медных кабелей определяется их изоляцией (примерно 5...7 кВ).

12. К медным кабелям легко подсоединиться специальным оборудованием и снять информацию.

13. Требуется высокое энергопотребление в зависимости от систем передачи.

В табл. 1.1 и 1.2 приводится сравнение параметров различных сред передачи цифровых сигналов.

В настоящее время применение волоконно-оптических систем позволяет передавать информацию в большом объеме и большому числу объектов и использовать цифровое видео, речь, данные.



Таблица 1.2

## Сравнение различных сред передачи

Среда передачи	Несущая частота	Ширина полосы	Дуплексные каналы
Симметричный кабель	1 МГц	100 кГц	<2000
Коаксиальный кабель	100 МГц	10 МГц	13000
Радиочастоты	500 кГц...100 МГц	10 МГц	<10000
Микроволновые частоты	200 ГГц	20 ГГц	100000
Оптическое волокно	100 ТГц...1000 ТГц	40 ТГц	>1000000

В бизнесе и промышленности волоконно-оптические сети становятся универсальными для передачи на большие расстояния необходимой информации в любом объеме и с большими скоростями. В военной технике также необходимо передавать большие объемы информации с большой скоростью и, несомненно, волоконно-оптические системы вытеснят медные кабельные системы и из военной промышленности.

Для передачи электрических сигналов по волоконным световодам применяют системы оптической передачи. Ее компонентами являются электро-оптический преобразователь как передатчик света в начале линии, собственно волоконно-оптическая линия и электро-оптический преобразователь как приемник света на конце линии. Как и в системе с металлическими проводами, имеются оконечные устройства в начале и в конце линии. Устройства, расположенные между ними, — это усилители для аналоговой передачи и регенераторы для цифровой передачи, соединители строительных длин оптических кабелей в промежуточных пунктах, соединители к усилителям и другим промежуточным объектам.

Оптические и электрические системы передачи имеют одни и те же электрические устройства сопряжения. Это означает, что при внедрении волоконно-оптической технологии достигается важная цель, которая прежде всего значительно облегчает интеграцию в существующие сети.

В качестве способа передачи для волоконных световодов применяется цифровая технология, так как она обеспечивает свободное сочетание скоростей передачи битов самых различных источников (телефонные сети, сети передачи данных и др.). С внедрением волоконно-оптической техники аналоговая технология передачи сигналов продолжает терять свое значение и используется лишь для специальных областей применения.

Наиболее важными функциями цифровой технологии передачи являются аналогово-цифровое преобразование (главным образом, речь), мультиплексирование (объединение) цифровых сигналов и передача цифровых сигналов, например, по оптическим волноводам. С внедрением цифровой технологии были созданы предпо-

Таблица 1.3

## Области применения оптического волокна и медных кабелей

Расстояние	Тип кабеля	Область применения
10000 км	КП ОМОВ	Магистральные линии связи
1000 км	КП, СК, ОМОВО	Транспортные сети
100 км	КП, СК ОМОВ	Внутризоновые линии связи
10 км	СКОМОВ	Местные сети связи
2 км	СК ОМОВ, ММОВ	Сети доступа, СКС
1 км	СК ОМОВ, ММОВ	Сети доступа, СКС, подвижные и полевые объекты
100 м	СК, К, медь, ММОВ, ПОВ	Сети внутри зданий, подвижные и полевые объекты
10 м	СК, КП, ПОВ	Сети внутри зданий, автомобилей
1 м	СК, КППОВ	Соединения внутри устройств
10 см	СК	Приборные соединения

КП — коаксиальная пара; СК — симметричный кабель; ОМОВ — одномодовое оптическое волокно; ММОВ — многомодовое оптическое волокно; ПОВ — полимерное оптическое волокно.

сылки для интеграции услуг, таких как телефонная связь, телекс, передача данных и телефакс.

Кабельные конструкции могут быть представлены в высокотемпературных оболочках в гибридном, медном или оптическом исполнении, при этом требования к оптическим кабелям довольно жесткие, так как они должны использоваться в широком диапазоне температур.

Часть этих требований такова:

- не используется ПВХ в оболочке кабеля;
- должен быть использован материал, работающий без изменения своих характеристик во всем диапазоне температур;
- не используются в конструкции кабеля полимерные и другие силовые элементы;
- отсутствует центральный силовой элемент в кабеле;
- конструкция кабеля не должна обладать механической памятью;
- отсутствует металл в кабеле;
- оболочка кабеля не должна испытывать больших нагрузок по трению;
- в кабеле должен отсутствовать воздух;
- кабельная конструкция должна быть достаточно гибкой.

В табл. 1.3 приведены области применения оптического волокна и медных кабелей в мировой структуре сетей.

При оценке затрат при переходе от медных кабелей к оптическим волокнам следует рассматривать краткосрочную и долгосрочную перспективу. При краткосрочной перспективе дешевле ис-

пользовать медные кабели при постепенном расширении возможностей передачи данных, так как на требуется увеличивать число передатчиков, приемников регенераторов, усилителей и преобразователей, соединителей и целого ряда новых элементов, необходимых для интеграции оптического волокна в действующие электронные системы. Вместе с тем в дальней перспективе переход на волоконно-оптические системы реализует решения, обеспечивающие повышение производительности, электромагнитной совместимости, безопасности, уменьшение веса и занимаемых площадей, пропускной способности, легкость установки, снижение затрат на техническое обслуживание, несравнимую с медными решениями пропускную способность оптического волокна как в реализуемом объеме, так и за счет введения дополнительных оптических волокон, повышающих надежность и длительный срок службы системы в целом.

Использование гибридных волоконно-медных кабелей требует кроме механической защиты (высокой прочности на растяжение, на сдавливание, на разрыв) герметизации и химической стойкости электромагнитного экранирования для защиты от внешних электромагнитных помех.

В качестве полимерных внешних оболочек используется экологически устойчивый полиуретан.

Для большого числа ОК выдвигаются на первый план жесткие требования на компоненты волоконно-оптических линий связи: расширенный рабочий диапазон температур, высокая влагостойкость, стойкость к линейным, ударным и вибрационным нагрузкам, повышенные требования по надежности и долговечности, связанные в ряде случаев с невозможностью проведения ремонта в течение всего срока службы. Кабельные конструкции могут быть представлены в высокотемпературных оболочках в гибридном, медном или оптическом исполнении.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные достоинства и недостатки направляющих систем электросвязи.
2. В каком диапазоне частот работают симметричные кабели связи?
3. В каком диапазоне частот работают коаксиальные кабели связи?
4. В каком диапазоне частот работают оптические кабели связи?
5. Почему в настоящее время снижается использование медножильных электрических кабелей связи?
6. Почему в настоящее время более широко применяются оптические кабели связи?
7. Какие основные требования предъявляются к НСЭ?
8. Назовите основные направления развития современных НСЭ.
9. Какая основная цель и задачи развития ЕСЭ РФ?
10. Какие основные сети связи входят в ЕСЭ РФ?