

Федеральное агентство связи РФ  
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

# Реферат

**История развития проводной многоканальной электросвязи**

**Выполнил:** Никитин Д. А.

**Проверил:** доц. Коротин В. Е.

Санкт-Петербург 2007

## Содержание

Введение . . . . .	3
1 Зарождение техники многоканальной электросвязи. Простейшие методы разделения сигналов . . . . .	5
2 Аналоговые системы передачи . . . . .	8
3 Цифровые системы передачи плездохронной цифровой иерархии . .	14
4 Цифровые системы передачи синхронной цифровой иерархии . . . .	19
5 Мультиплексирование с разделением по длинам волн. Оптические транспортные сети . . . . .	23
Заключение . . . . .	31
Список использованных источников . . . . .	33

## Введение

С изобретением в 1835 году электрического телеграфа в истории человечества началась новая эпоха – эпоха электросвязи. Менее чем за 200 лет телекоммуникационные технологии прошли огромный путь – от громоздких и неуклюжих устройств, которыми могли пользоваться лишь государственные организации и немногие наиболее обеспеченные частные лица, до глобальной инфраструктуры, обеспечивающей связь на всем земном шаре между самыми отдаленными его уголками. Огромная скорость, с которой распространяются электромагнитные волны, позволяет за ничтожные доли секунды преодолевать расстояния в десятки тысяч километров, передавая все виды информации: звук, неподвижные и подвижные изображения, компьютерные данные и т. д.

Изначально электрическая связь была проводной. Лишь в конце XIX века была открыта и использована возможность связи без проводов, посредством электромагнитных волн, распространяющихся в свободном пространстве. К настоящему времени беспроводные технологии получили исключительно широкое распространение. Однако, несмотря на использование самых современных средств и методов обработки сигналов, беспроводные средства связи проигрывают по пропускной способности кабельным линиям и вряд ли когда-нибудь их превзойдут. Это связано с тем, что электромагнитный сигнал, распространяющийся в закрытой направляющей системе (в кабеле), находится в гораздо более выгодных условиях, чем радиосигнал в открытом пространстве. На него практически не оказывают воздействия сигналы других линий, он не подвержен влиянию погодных условий, искажениям за счет многолучевого распространения и т. д.

Вместе с тем, оборудование кабельной линии связи – чрезвычайно трудоемкое и дорогостоящее мероприятие. Многие километры кабеля необходимо закопать в землю либо проложить по каналам кабельной канализации. Дополнительные трудности возникают при преодолении водных преград, автомобильных и железных дорог. Также следует учесть, что на протяжении большей части истории электросвязи использовались исключительно металлические кабели, для изготовления которых применялись такие дорогостоящие металлы, как медь и свинец.

Все эти проблемы уже на самых ранних этапах развития средств проводной связи привели к необходимости повышать эффективность использования линейно-

кабельных сооружений за счет передачи одновременно нескольких сигналов по одной паре проводов. Разработка таких способов положила начало созданию аппаратуры уплотнения, или мультиплексирования. Технологии уплотнения в ходе своего развития прошли несколько этапов и к настоящему времени обеспечили создание мощной глобальной сети типовых каналов и трактов, то есть так называемой первичной, или транспортной, сети. Истории развития этих технологий и посвящена настоящая работа.

# **1 Зарождение техники многоканальной электросвязи.**

## **Простейшие методы разделения сигналов**

Первые попытки повышения эффективности использования линий связи относятся к первой половине XIX века. Единственным существовавшим тогда видом электрической связи была телеграфия. В 1838 г. немецкий ученый Карл Штейнгель предложил для коротких линий в качестве второго провода цепи использовать землю или воду. Пять лет спустя Б. С. Якоби показал, что этот метод пригоден и для длинных линий. Это решение позволило вдвое повысить пропускную способность металлических проводников [1].

В 1860–1870 гг. применялись системы дуплексного, диплексного и квадруплексного телеграфирования. При дуплексном телеграфировании по одному проводу во встречных направлениях посылались две телеграммы. Разделение направлений приема и передачи осуществлялось при помощи развязывающих устройств (дифференциальных схем). Наиболее совершенная схема дуплексного телеграфирования была предложена американским инженером Дж. Стирнсом в 1871 г. При диплексном способе обе телеграммы посылались в одном направлении. В 1858–1859 гг. известный российский математик З. Я. Слонимский предложил схему квадруплексного телеграфирования – самый эффективный, хотя и самым сложный из подобных методов. В этом случае по одному проводу передавались четыре телеграммы – по две во встречных направлениях. Практически эта схема была реализована лишь в 1874 г. Т. А. Эдисоном [1].

В 1876 г. французский изобретатель Ж. Бодо предложил способ многократного телеграфирования, позволявший работать по одной линии сразу несколькими телеграфными аппаратами. На передающей и приемной станциях устанавливались абсолютно одинаковые устройства – распределители, которые представляли собой круглые диски с укрепленными на них неподвижными контактами – ламелями. К каждой ламели подключался свой телеграфный аппарат. Кроме того, на диске имелся один подвижный контакт – щетка. Этот контакт был связан с телеграфным проводом и приводился в движение мотором. Вращаясь вокруг своей оси, щетка поочередно касалась каждой ламели и таким образом соединяла телеграфные аппараты с проводом [2].

В своей системе Бодо реализовал принцип временного разделения каналов, который лежит в основе практически всей современной цифровой связи.

В XIX веке предпринимались также попытки использовать явление механического резонанса для избирательного приема токов различных частот. В 1860 г. французский учитель физики Эдмонд Лаборд подобрал несколько пар гибких металлических пластинок и настроил передающую и приемную пластинки каждой пары в резонанс на собственную частоту.

Более совершенную схему предложил в 1869 г. профессор физики Харьковского университета Григорий Иванович Морозов. В его схеме предусматривались жидкостный передатчик и электромагнитный приемник. В сосуд с жидкостью опускались две металлические пластинки – подвижная и неподвижная. Ток от батареи подводился к подвижной пластинке. При ее колебаниях изменялись сопротивление слоя жидкости и, соответственно, сила тока, идущего в линию от неподвижной пластинки. Постоянный ток превращался в пульсирующий соответственно частоте колебаний пластинки. Приемник состоял из двух стержневых электромагнитов, над которыми располагался якорь в виде железной пластинки, настроенной в резонанс с подвижной пластинкой передатчика. Если по линии посылать одновременно сигналы от нескольких передатчиков, то каждый приемник реагирует на сигналы только своего передатчика и воспроизводит исходный сигнал. Ни схема Лаборда, ни схема Морозова так и не были реализованы [1].

Первые телефонные линии, также как и телеграфные, были воздушными и работали по однопроводной системе. По причине взаимных и внешних влияний пришлось отказаться от несимметричных однопроводных цепей и перейти на симметричные – двухпроводные цепи. Скрутка изолированных жил в пары начала применяться в 1882 г. Законодательно решение о переходе на двухпроводные телефонные цепи было принято на втором Международном электротехническом конгрессе, состоявшемся в Париже в 1889 г.

В 1882 г. инженер фирмы Siemens Brothers в Лондоне Франк Джекоб показал, что на каждой двух паре жил в кабеле можно получить, кроме двух физических цепей, еще одну – третью цепь путем включения на концах линии специальных дифференциальных трансформаторов. Эта третья цепь была названа фантомной, или призрачной. Физически она не существует: ее прямым проводом служат обе жилы первой пары, а обратным проводом – обе жилы второй пары.

В отечественной послевоенной литературе фантомные цепи были переименованы в искусственные. Благодаря дифференциальным трансформаторам, разговоры по искусственной цепи не оказывают влияния на разговоры по основным цепям. В результате, вместо двух по линии можно было одновременно вести три телефонных разговора; следовательно, эффективность ее использования возросла на 50%. Это был исторически первый шаг на пути уплотнения физических цепей.

Идею использования дифференциальных трансформаторов применил в одно время с Джекобом и Пикар в своей схеме одновременного телефонирования и телеграфирования по одной двухпроводной цепи. К средним точкам вторичных обмоток дифференциальных трансформаторов подводились провода от двух телеграфных аппаратов. При работе телеграфных аппаратов через дифференциальные обмотки трансформаторов проходят токи разных направлений, и влияние их на вторичные (линейные) обмотки трансформаторов будут взаимно уничтожаться. Благодаря этому телеграфная передача не создает помех ни в одной ни в другой телефонной цепи. В тот же период – в начале 1880-х гг. – были разработаны схемы одновременного телефонирования и телеграфирования бельгийским инженером Риссельберге и независимо от него капитаном русской армии Григорием Григорьевичем Игнатьевым.

В 1886 г. Сидней Шелбурн в Нью-Йорке предложил скручивать одновременно четыре жилы, но составлять цепи не из рядом лежащих, а из противоположных жил, расположенных по диагонали образованного в поперечном сечении квадрата. Такая четверка напоминает четырехлучевую звезду и называется звездной. Она обеспечивает более устойчивую цилиндрическую форму кабеля, а также удобство формирования искусственных цепей. Но главное достоинство звездной четверки в том, что расстояние между диагонально расположенными жилами в 1,4 раза больше, чем между рядом лежащими. Следовательно, несколько уменьшается электрическая емкость цепи, а значит, и ее коэффициент затухания. В результате незначительно, но все же возрастает дальность связи.

Решающего влияния на эффективность использования телефонных линий эти полезные усовершенствования не оказали. Успех был достигнут в XX веке на базе достижений радиотехники и электроники [1].

## 2 Аналоговые системы передачи

Простейшие методы разделения сигналов позволили до определенных пределов повысить эффективность использования линейных сооружений связи. Однако к началу XX века эти методы себя исчерпали. Требовалось увеличить число каналов, одновременно передаваемых по одной паре проводов, а также дальность связи. Так как дальность проводной связи ограничена из-за затухания в кабеле, необходимо было периодически усиливать сигнал по мере его ослабления.

Предпосылкой к созданию промежуточных усилителей стало изобретение в 1904 г. английским физиком и радиотехником Джоном Флемингом первой двухэлектродной электронной лампы – диода. Первая практически пригодная схема промежуточного телефонного лампового электронного усилителя была предложена в 1912 г. американцами А. Кэмпбелом и К. Вагнером. В 1913–1914 гг. в США была сооружена первая междугородная кабельная магистраль длиной 730 км с применением промежуточных усилителей [1].

В России большие заслуги в создании и совершенствовании промежуточных усилителей («телефонных трансляций», как они тогда назывались по аналогии с телеграфными трансляциями) принадлежат Валентину Ивановичу Коваленкову (1884–1960) – одному из крупнейших советских специалистов в области проводной электросвязи, члену-корреспонденту АН СССР, генерал-майору инженерно-технической службы, лауреату Государственной премии СССР. В 1915 г. он продемонстрировал макеты ламповых телефонных трансляторов на Всероссийском съезде инженеров-электриков. Свои первые патенты на телефонные трансляции, разработанные в период 1915–1918 гг. он получил в августе 1919 г. Предложенная Коваленковым идея усилителя двухстороннего действия с дифференциальной системой до настоящего времени остаётся основой построения дуплексных усилителей каналов тональной частоты [1, 3].

Первый телефонный транслятор системы Коваленкова (1922) был установлен в Бологом и обеспечивал уверенную связь Петрограда с Москвой. В 1924 г. трансляции, изготовленные в Петроградской научно-испытательной станции, были установлены на линии Петроград–Харьков. В этом же году завод «Красная заря» начал промышленный выпуск телефонных трансляций. К 1927 г. на междугородных телефонных линиях связи их действовало свыше пятидесяти. Использование

трансляций позволило организовать магистрали связи весьма большой протяженности (Москва – Тбилиси, Москва – Магнитогорск и др.)

Телефонные трансляции двустороннего действия обеспечили увеличение дальности связи до 2500–3000 км по медным цепям, до 500–600 км – по стальным и до 1000 км – по кабельным пупинизированным цепям [4].

Расширение междугородных телефонных магистралей поставило на очередь вопрос об улучшении техники передачи междугородных разговоров. Важнейшее значение имело внедрение аппаратуры высокочастотного телефонирования (уплотнения) по воздушным линиям связи. Это позволило по одной паре медных проводов передавать одновременно несколько телефонных разговоров, что повысило эффективность использования дорогостоящих линейных сооружений.

Наиболее ранние образцы аппаратуры высокочастотного телефонирования представляли собой фактически радиоаппаратуру, приспособленную для работы по кабелям. Первые опыты передачи разговорных сигналов по проводам методом радиосвязи были осуществлены в нашей стране проф. П. В. Шмаковым совместно с инженером Г. А. Куприяновым в 1922 году. В 1922–1923 гг. в Нижегородской лаборатории инженером А. Ф. Шориным проводились первые опыты в деле применения методов радиосвязи для передачи телеграфных сигналов.

Первая отечественная одноканальная аппаратура высокочастотного телефонирования для медных цепей была разработана и изготовлена в 1926 г. сотрудниками Ленинградской научно-испытательной станции под руководством П. А. Азбукина и установлена на линии Ленинград – Бологое. На этой же линии были осуществлены первые опыты, связанные с получением нескольких телеграфных связей вместо одной телефонной. Для этого была применена так называемая система тонального частотного телеграфирования [4].

В 1927 г. была создана аппаратура высокочастотного телефонирования (типа ОСА-406), позволившая осуществлять по одной медной цепи три телефонных разговора.

Широкое промышленное производство аппаратуры уплотнения в СССР началось с разработки в 1934 г. трехканальной аппаратуры СМТ-34. Эта аппаратура двухполосной системы с передачей в линию несущей частоты работала в полосе частот 10,4–40 кГц. В 1935 г. отечественная промышленность начала выпускать трехканальную аппаратуру уплотнения цепей типа ОСМТ-35, работающую

в спектре 6–30 кГц без передачи в линию несущей частоты. В аппаратуре были установлены автоматическая регулировка усиления. Аппаратура обеспечивала более высокое качество передачи и большую дальность действия [5].

К концу 30-х годов аппаратурой уплотнения было оборудовано большинство междугородных телефонных линий. В этот же период высокочастотные каналы начинают использоваться для передачи нетелефонной информации, прежде всего, для многократного телеграфирования и фототелеграфирования [6].

В 1939 г. вступила в эксплуатацию самая длинная в мире междугородная телефонная линия Москва–Хабаровск протяженностью около 9 тыс. км, продолженная затем до Владивостока. С вводом в строй этой магистрали была установлена связь с крупными промышленными центрами Востока: Хабаровском, Владивостоком, а в дальнейшем с Магаданом, Южно-Сахалинском и другими городами.

В 1939–1940 гг. специалисты Центрального научно-исследовательского института связи и завода «Красная заря» разработали первую отечественную 12-канальную систему высокочастотного телефонирования по медным цепям воздушных линий связи. Внедрение этой аппаратуры позволило значительно увеличить пропускную способность междугородных телефонных линий. В период Великой Отечественной войны эта аппаратура успешно обеспечивала связь на магистрали Москва–Ленинград.

В 1949 г. начался промышленный выпуск трехканальной аппаратуры высокочастотного телефонирования В-3 для уплотнения воздушных цепей из цветных металлов. Аппаратура, работающая в диапазоне частот 6–27 кГц, рассчитана на организацию связи по линиям протяженностью до 10 тыс. км. Эта аппаратура получила широкое распространение на воздушных линиях междугородной телефонной сети.

В 1965 г. промышленностью был организован выпуск аппаратуры В-3-3 для уплотнения цепей из цветных металлов и стальных цепей на магистральных и областных связях. Аппаратура была выполнена на транзисторах и позволяла организовать четыре канала – три канала ВЧ и один канал служебной связи. По сдвоенным каналам В-3-3 можно было организовать передачу программ вещания с помощью аппаратуры АВ-2/3. Диапазон частот (4–31 кГц) в этой аппаратуре шире, чем в В-3. Максимальная дальность передачи по медным цепям – 2500 км, по стальным цепям – 150 км.

В 1951 г. начался серийный выпуск аппаратуры В-12, работавшей в диапазоне частот 36-143 кГц и обеспечивавшей получение двенадцати телефонных каналов при уплотнении медных и биметаллических воздушных цепей. Аппаратура была рассчитана на организацию связей протяженностью до 10 тыс. км. По каждому каналу аппаратуры В-12 можно было организовать передачу фототелеграмм, 16 каналов тонального телеграфа, а по двум объединенным каналам с помощью специальной аппаратуры – передачу программ вещания.

Модифицированная аппаратура В-12-2 (1956–1957 гг.) вместе с генераторным оборудованием занимала две стойки (вместо восьми стоек – в аппаратуре В-12). Уменьшение габаритов аппаратуры позволило на существующих междугородных станциях устанавливать большее количество комплектов аппаратуры уплотнения.

В 1951 г. была разработана аппаратура К-12, работающая в диапазоне 12–60 кГц. С помощью этой аппаратуры по двухкабельной линии можно было организовать 12 телефонных каналов по двум парам.

На смену системе К-12 пришла аппаратура К-24, разработанная в 1953 г., которая позволила вдвое увеличить использование пар кабеля. Аппаратура К-24 работает в диапазоне частот 12-108 кГц.

В 1957 г. была разработана шестидесятиканальная аппаратура К-60, работающая по двухкабельной системе в диапазоне частот 12–252 кГц и позволяющая осуществлять одновременную передачу 60 телефонных разговоров по двум парам на расстояние до 5 тыс. км [5]. В конце 50-х годов в ГДР была разработана аппаратура, подобная К-60, на электронных лампах – V-60-S. В 1965 - 1966 годах, без участия СССР, промышленностью ГДР были разработаны образцы аппаратуры типа V-60-E на транзисторах [7].

Начиная с середины 50-х гг. в аппаратуре систем передачи применяются полупроводниковые приборы. Аппаратура К-24П и К-60П была выполнена полностью на полупроводниках.

Первая отечественная система связи для уплотнения коаксиальных линий связи К-1920 была создана в 1959–1960 гг. С помощью этой системы можно организовать 1920 телефонных каналов или же 300 телефонных каналов и одновременно одну телевизионную передачу. Кроме того, по каналам этой системы можно

обеспечить телеграфный обмен, передачу программ вещания, фототелеграфных сообщений, а также данных. Система занимает диапазон частот 312–8524 кГц.

Для уплотнения малогабаритного коаксиального кабеля была предназначена система К-300. Она позволяет организовать 300 телефонных каналов в спектре частот 60–1300 кГц. Для использования на внутриобластных связях была создана система К-120, работавшая в спектре до 1300 кГц [5].

Следует отметить, что в начальный период при разработке различных систем разрабатывалась отдельная оконечная аппаратура уплотнения. Так были разработаны комплекты аппаратуры для систем В-12, К-12, К-24, К-60, К-1920 (первый выпуск). Такое разнообразие типов оборудования с различным конструктивным и электрическим решением аналогичных узлов приводило к усложнению эксплуатации аппаратуры и значительному разбросу параметров каналов и групповых трактов различных систем. Поэтому уже при проектировании аппаратуры К-300 была поставлена задача создания унифицированной оконечной аппаратуры для всех многоканальных систем передачи [8].

Впоследствии были созданы системы передачи К-3600, К-5400, К-10800. Две последние из них так и не получили распространения.

Все рассмотренные аналоговые системы передачи были основаны исключительно на принципе частотного разделения каналов (ЧРК), хотя метод временного разделения каналов и виды импульсной модуляции (амплитудно-импульсная, широтно-импульсная, фазово-импульсная) были известны еще в 30-е годы и изучались. Связано это было с тем, что аналоговая система передачи с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ) и временным разделением каналов (ВРК) требовала гораздо более широкую полосу частот по сравнению с системой передачи с ЧРК той же емкости, поскольку при использовании в качестве сигнала-переносчика последовательности прямоугольных импульсов спектр группового сигнала оказывался очень широким (теоретически бесконечным). Неизбежное ограничение спектра, как и вообще любые линейные искажения группового сигнала, приводили бы к межканальным переходам, имеющим характер внятного переходного разговора.

В аналоговых системах передачи применялись следующие разновидности амплитудной модуляции (АМ):

- АМ с двумя боковыми полосами частот и несущей частотой,
- АМ с одной боковой полосой частот и несущей частотой,

- АМ с одной боковой полосой частот без несущей частоты (АМ ОБП),
- АМ с двумя боковыми полосами частот без несущей частоты (АМ ДБП),
- АМ с несимметричными боковыми полосами частот.

Наилучшим по мощностным показателям, а также с точки зрения рациональности использования частотного ресурса, хотя и самым сложным в реализации, оказался метод АМ ОБП. Именно этот вид модуляции использовался в подавляющем большинстве аналоговых систем передачи.

Аналоговые системы передачи сыграли огромную роль в создании всемирной телекоммуникационной сети. Можно с уверенностью утверждать, что без изобретения методов уплотнения каналов междугородная телефонная связь если бы и существовала, то была бы недоступна рядовым пользователям. Однако аналоговые системы передачи обладали серьезными недостатками, основные из которых следующие:

- эффект накапливания в канале помех, шумов и искажений с увеличением расстояния, существенно снижающий качество связи;
- дороговизна аппаратуры, связанная с высочайшими требованиями к стабильности частот задающих генераторов, линейности амплитудных характеристик усилителей, амплитудно-частотным характеристикам электрических фильтров и т. д.;
- трудоемкость эксплуатации, наличие только самых примитивных средств встроенного контроля;
- большие габариты, масса, высокое энергопотребление;
- трудность передачи данных по аналоговым каналам.

Устранить эти недостатки в рамках аналоговой технологии оказалось невозможно, в результате чего аналоговые системы передачи себя изжили, уступив место цифровым системам передачи. Тем не менее, во всем мире все еще эксплуатируется большое количество аналоговых систем, а методы частотного разделения каналов в настоящее время применяются в новейших волоконно-оптических системах передачи с разделением по длинам волн (WDM), а также в высокоэффективных системах «последней мили» xDSL.

### **3 Цифровые системы передачи плезиохронной цифровой иерархии**

В начале XX в. великий русский ученый В. А. Котельников доказал свою знаменитую теорему о дискретизации, показав принципиальную возможность представления непрерывного сигнала в виде последовательности отсчетов, взятых через определенный промежуток времени, и полного восстановления по этой последовательности исходного сигнала. В 1937 году французский инженер А. Ривс предложил принципы импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). Импульсные методы модуляции интенсивно развивались в связи с развитием радиолокации начиная с 40-х годов. Таким образом, предпосылки к созданию цифровых систем передачи были созданы еще в первой половине XX века.

Тем не менее, вплоть до 60-х (в России – до 70-х) годов все системы передачи были аналоговыми. Опытная 96-канальная система с ИКМ была создана в первые годы после Второй мировой войны. Но цифровое оборудование было исключительно громоздким, поэтому цифровая связь не находила широкого применения вплоть до конца 50-х годов. Настоящее развитие импульсно-кодовые методы передачи получили лишь начиная с 1956 г., после изобретения транзистора (1948 г.) и разработки первого поколения электронных цифровых вычислительных машин.

Первая коммерческая цифровая система передачи голоса, использовавшая импульсно-кодовую модуляцию и временное разделение каналов, была создана компанией Bell Systems (США) в Чикаго в 1962 г. Система позволяла организовать 24 телефонных канала и работала по медному кабелю, соединявшему офисы компании. Для организации одного телефонного канала требовался цифровой поток со скоростью 64 кбит/с. С учетом того, что 8 кбит/с требовалось для служебных целей, суммарная скорость цифрового потока составляла 1544 кбит/с. [9, 10]

Этот цифровой поток впоследствии был назван каналом DS1, или T1. В США канал со скоростью 1544 кбит/с был принят в качестве первого уровня иерархии цифровых потоков. Это было уже время появления ЭВМ третьего поколения, принесших с собой концепцию каналов ввода-вывода с развитой системой мультиплексоров ввода-вывода, используемых для организации коммерческих сетей пе-

редачи данных. Также получали распространение локальные вычислительные сети для объединения компьютеров.

Однако только стремительное развитие микропроцессорной техники (в частности, появление первого микропроцессора фирмы Intel) сделало возможным реальное внедрение цифровых технологий в системы связи. Результатом стало широкое распространение и развитие компьютерных сетей, что дало толчок к созданию сетей передачи голоса и данных с ИКМ.

Развитие цифровых телефонных сетей шло в направлении все большего уплотнения каналов. Это достигалось, с одной стороны, за счет мультиплексирования каналов T1 в сигналы с более высокими скоростями. С другой стороны, применение более эффективных, чем традиционная ИКМ, методов кодирования речевых сигналов (например, дельта-модуляции, дифференциальной импульсно-кодовой модуляции, как неадаптивной, так и адаптивной) позволило уменьшить скорость цифрового потока, требуемую для организации одного телефонного канала и тем самым разместить в одном канале со скоростью 64 кбит/с не один, а несколько телефонных каналов [10].

Развитие схем мультиплексирования привело к созданию трех иерархий цифровых систем передачи – европейской, североамериканской и японской. Европейская иерархия основывается на первичном цифровом потоке E1, имеющем скорость 2048 кбит/с. При объединении четырех потоков E1 формируется поток E2, имеющий скорость 8448 кбит/с. Поток E3 (34368 кбит/с) получается мультиплексированием четырех потоков E2. Аналогично, потоком четвертого уровня (E4) является сигнал со скоростью 139264 кбит/с, а скорость потока E5 составляет 564992 кбит/с.

В Северной Америке, как уже отмечалось, в качестве первичного сигнала используется поток со скоростью 1544 кбит/с. Сигналы более высоких уровней североамериканской иерархии имеют скорости 6312, 44736 и 274176 кбит/с. Японский вариант иерархии на первых двух уровнях совпадает с американским стандартом (скорости стандартных потоков составляют 1544, 6312, 32064, 97728 кбит/с) [3].

Объединение цифровых потоков производилось, в основном, побитовым способом. Требования к нестабильности генераторного оборудования были существенно ослаблены по сравнению с аналоговыми системами передачи, что порож-

дало необходимость предусматривать специальные механизмы для согласования скоростей компонентных (объединяемых) и агрегатного (группового) сигналов. Традиционно согласование скоростей подразделялось на положительное, отрицательное и двустороннее и достигалось либо за счет вставки балластных символов (эта процедура называлась стаффингом), либо, наоборот, путем изъятия одного символа из цифрового потока и передачи его по отдельному специально отведенному цифровому каналу. Для управления процессом в цикле группового сигнала также предусматривались биты для команд согласования скоростей [10].

Так как цифровые системы передачи были рассчитаны на синхронизацию от различных задающих генераторов и допускали некоторое расхождение частот, эта технология получила название ПЦИ – плезиохронная, т. е. почти синхронная, цифровая иерархия (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy).

В СССР был принят европейский вариант иерархии. Для сельских сетей связи были разработаны системы передачи ИКМ-15 и ЗОНА-15. На городских сетях применялась система ИКМ-30. Для зональных и местных сетей была создана аппаратура ИКМ-120. Системы более высокого уровня – ИКМ-480 и ИКМ-1920 нашли свое применение на магистральных и зональных сетях [3].

Изначально цифровые системы передачи были разработаны для линий связи, в которых средой распространения групповых сигналов являлись либо металлический кабель, либо радиорелейные линии. В этих системах длина регенерационного участка для Е1 – Е2 не превышала 5 км, а для Е4 – 1,5...2 км. Внедрение систем передачи, работающих по оптическому волокну, позволило многократно увеличить длину регенерационного участка.

В 80-х годах в Советском Союзе была разработана и производилась аппаратура волоконно-оптических систем передачи «Соната-2», предназначенная для использования на городских сетях в качестве соединительных линий между узлами связи. Эта аппаратура позволяла по одной паре многомодовых оптических волокон передавать 120 телефонных каналов со скоростью 8448 кбит/с. Для уплотнения соединительных линий также выпускалось оборудование ИКМ-120-5. Эта аппаратура выпускалась в двух вариантах: КЛТ-26 (работавший в первом окне прозрачности на длине волны 850 нм) и КЛТ-24 (во втором окне прозрачности на длине волны 1300 нм).

Для работы во внутризональных сетях была предназначена аппаратура «Сопка-2». Данная аппаратура также обеспечивала образование потока 8448 кбит/с и по структурной схеме, устройствам телеконтроля и служебной связи мало отличалась от «Сонаты-2» и ИКМ-120-5.

До 2001 года отечественной промышленностью выпускалась аппаратура для передачи по одномодовому оптическому волокну сигналов E2 – ОЛТ-025 (завод «Морион», г. Пермь) и ТО-41 (АО НПП РОТЕК). Эта аппаратура производилась на современном технологическом уровне, в ней были применены современные электронные и квантово-оптические элементы с большим ресурсом и высокой надежностью. Конструктивно аппаратура была выполнена в нескольких вариантах [11].

Для внутризональных сетей кроме аппаратуры «Сопка-2» производилась также аппаратура «Сопка-3», предназначенная для передачи 480 телефонных каналов в двоичном цифровом потоке со скоростью 34368 кбит/с (E3). Для организации потока E4 по оптическому волокну была предназначена аппаратура «Сопка-4». Впоследствии характеристики волоконно-оптических систем передачи были улучшены. Появились системы «Сопка-2м», «Сопка-3м», «Сопка-4м».

По мере развития телекоммуникационных сетей и появления новых требований к системам передачи стали проявляться недостатки плезиохронной цифровой иерархии. Использование процедуры согласования скоростей приводила к невозможности выделения компонентных потоков из агрегатного без его полного демультиплексирования. Например, для вывода потока E1 из потока E4 необходимо провести полное демультиплексирование на потоки E3, затем разделить необходимый поток E3 на потоки E2, после чего демультиплексировать поток E2 до уровня E1. Это требовало в пунктах выделения и транзита устанавливать большое количество оборудования.

Другой недостаток ПЦИ заключается в том, что нарушение синхронизма в групповом сигнале ЦСП более высокого уровня приводит к нарушению синхронизма во всех компонентных потоках, а восстановление синхронизма при этом должно осуществляться последовательно от высших ступеней иерархии к низшим, что требует относительно большого времени.

Наконец, плезиохронная цифровая иерархия обладает слабыми возможностями в организации служебных каналов для целей контроля и управления потоком

в сети и практически полное отсутствие средств маршрутизации потоков нижних уровней [3, 10].

Указанные недостатки были преодолены в новой технологии, получившей название SDH (Synchronous Digital Hierarchy, синхронная цифровая иерархия). Однако системы ПЦИ до сих пор существуют в большом количестве и продолжают эксплуатироваться. Фирмы-производители предлагают на рынке телекоммуникационного оборудования множество наименований изделий, работающих по этой технологии.

## 4 Цифровые системы передачи синхронной цифровой иерархии

Недостатки, присущие цифровым системам передачи плезиохронной цифровой иерархии, потребовали создание новой технологии транспортной сети. В связи с этим перед разработчиками встали следующие задачи:

- необходимо было унифицировать иерархию скоростей цифровых потоков и продолжить его за пределы, регламентированные стандартами ПЦИ;
- новая технология должна была позволять вводить и выводить компонентные потоки без полного демультиплексирования группового сигнала, для чего компонентные потоки должны занимать строго определенное положение в цикле;
- необходимо было разработать новые структуры циклов, которые бы позволили организовать не только примитивную сигнализацию, но и маршрутизацию потоков;
- технология должна была обеспечить в пределах иерархии возможность управления сетями с топологией любой сложности;
- интерфейсы транспортной сети должны быть стандартизованы, чтобы обеспечивалась возможность совместной работы оборудования различных фирм-производителей.

В начале 80-х годов американскими инженерами было предложено:

- использовать синхронный режим работы сети вместо плезиохронного или асинхронного;
- побитовое объединение компонентных потоков заменить побайтовым;
- использовать известную технологию инкапсуляции данных в пакеты (концепция виртуальных контейнеров);
- в качестве первичной скорости принять значение 50,688 Мбит/с, установить период следования циклов равным 125 мкс, принять структуру цикла, состоящую из трех строк по 264 столбца. Такие параметры позволили продолжить американскую ветвь ПЦИ (1,5 – 6 – 45 Мбит/с);
- включить в иерархию достаточное число уровней сигналов;

- ориентироваться на использование оптического волокна в качестве среды распространения сигнала.

В 1984-86 гг., рассмотрев ряд альтернатив, комитет T1 (США) предложил использовать поток со скоростью 50,688 Мбит/с в качестве основного синхронного транспортного сигнала (STS-1). Однако впоследствии комитет SONET принял решение разработать синхронную цифровую иерархию, в которой скорость первичного сигнала была равна 51,84 Мбит/с. При этом была учтена неудача применения кросс-мультиплексирования PDH-иерархий, а также принято во внимание наличие европейского варианта SDH, в котором скорость синхронного транспортного модуля первого уровня (STM-1) составляла 155,52 Мбит/с. В результате появилась возможность путем разработки развитых схем мультиплексирования и кросс-мультиплексирования предложить универсальный набор виртуальных контейнеров (VC), позволивших инкапсулировать все форматы циклов стандартных американской и европейской плезиохронных иерархий. Таким образом, скорость сигнала STM-1 стала равна скорости сигнала OC-3 системы SONET.

В 1989 г. в Синей книге МККТТ были изложены основные стандарты синхронной цифровой иерархии (рекомендации G.707 – G.709). Аналогичные стандарты для сетей SONET были выпущены ANSI и Bellcore.

Первоначальная редакция стандартов SDH допускала очень большое число вариантов мультиплексирования при формировании сигнала STM-1. Однако уже во второй редакции (1991 г.) некоторые варианты были отменены. В частности, из числа стандартных поддерживаемых компонентных потоков был исключен вторичный цифровой поток европейской ПЦИ (8448 кбит/с). В результате схема мультиплексирования была значительно упрощена. В 1993 году была выпущена третья редакция стандартов [10].

Технология синхронной цифровой иерархии показала свою жизнеспособность и непрерывно совершенствовалась. Она нашла свое применение не только на волоконно-оптических линиях связи, но и на радиорелейных линиях. Со временем выяснилось, что скорость 155520 кбит/с (скорость синхронного транспортного модуля первого уровня) во многих случаях является избыточной. Появилась потребность продолжить ряд стандартных скоростей не только в сторону увеличения, но и в сторону уменьшения, сохранив при этом все достоинства технологии SDH. В результате в 1999 г. была принята очередная редакция рекомендации

G.708, в которой в общую схему мультиплексирования был включен сигнал STM-0 (51,84 Мбит/с, соответствует сигналу первого уровня сети SONET), а также сигналы «суб-STM» sSTM-2n и sSTM-1k (k=1, 2, 4, 8, 16; n=1, 2, 4). Таким образом, появилась возможность передавать даже одиночный виртуальный контейнер VC-12 (содержащий один поток 2 Мбит/с) с возможностью сквозного контроля и управления в пределах всей сети.

Набор стандартных контейнеров для отображения полезной нагрузки до некоторой степени ограничивал множество компонентных сигналов, которые можно было передавать по сети SDH. Между тем, хотя технология разрабатывалась в первую очередь в расчете на передачу сигналов плезиохронных иерархий, существовала потребность в передаче и других видов сигналов (например, ячеек АТМ, трафика компьютерных сетей и т. п.) Чтобы сделать технологию SDH действительно универсальной, были разработаны методы смежной и виртуальной конкатенации (объединения) виртуальных контейнеров. Конкатенированные виртуальные контейнеры VC-n-Xc образуют тракты со скоростью, в X раз превышающей скорость одиночных виртуальных контейнеров VC-n [12].

В настоящее время SDH является самой распространенной технологией транспортной сети. Производителями телекоммуникационного оборудования выпускается огромное число наименований аппаратуры синхронной цифровой иерархии. Можно сказать, что SDH – это сегодняшний день транспортных сетей. Большой потенциал технологии, наличие путей ее дальнейшего совершенствования в соответствии с требованиями времени позволяют предположить, что синхронная иерархия, скорее всего, в ближайшие годы будет сохранять лидирующее положение.

На сегодняшний день существует оборудование SDH, позволяющее передавать сигналы со скоростями вплоть до 40 Гбит/с (STM-256). Такие скорости вполне удовлетворяют сегодняшние потребности в пропускной способности, а в большинстве случаев даже оказываются избыточными. Дальнейшее увеличение скорости цифрового сигнала сопряжено с серьезными техническими трудностями и экономически нецелесообразно.

Однако успехи оптоволоконной технологии позволили значительно повысить эффективность использования линий оптического кабеля за счет передачи цифровых потоков одновременно на нескольких оптических несущих. Эта техно-

логия получила название WDM (Wave Division Multiplexing), то есть разделение по длинам волн, или спектральное уплотнение.

## **5 Мультиплексирование с разделением по длинам волн. Оптические транспортные сети**

Рост потребностей в увеличении объемов связи как с точки зрения увеличения скорости передачи информации, так и охвата новых регионов привел к появлению и становлению новых волоконно-оптических технологий, в частности технологий спектрального (частотного) мультиплексирования (уплотнения) каналов, получивших название WDM- и DWDM-технологий. Эти технологии позволяют в сотни раз увеличить пропускную способность волоконно-оптических каналов и сетей связи; их применение, вместе с технологиями временного уплотнения (TDM), позволило достичь терабитных скоростей передачи информации по одному оптическому волокну.

Повышать пропускную способность оптического волокна в уже проложенном кабеле в принципе можно двумя способами: либо повысить скорость передачи в канале за счет применения более быстрого временного уплотнения (TDM), либо увеличить число спектральных каналов, по которым осуществляется передача сигнала по одному волокну за счет применения WDM-технологии.

Реализация первого варианта, особенно в сетях дальней связи, использующих синхронную цифровую иерархию (SONET/SDH), связана с рядом трудностей. В настоящее время на практике реализованы и используются TDM-каналы со скоростями передачи информации до 40 Гбит/с, однако дальнейшее увеличение скоростей технически труднодостижимо и приводит к резкому удорожанию оконечной аппаратуры.

Кроме этого, в большинстве случаев уже проложенное оптическое волокно не позволяет передавать информацию со скоростями более 10 Гбит/с, поскольку при его прокладке в составе волоконного кабеля не принимался во внимание ряд существенных эффектов, проявляющихся в волокне при таких скоростях передачи информации. Во первых, из-за наличия дисперсии в волокне, которая приводит к уширению световых импульсов и, следовательно, к ограничению скорости передачи информации. В одномодовом волокне полная дисперсия состоит из хроматической и поляризационно-модовой (ПМД). Величину хроматической дисперсии в принципе можно снизить путем включения в линию отрезков волокна с противоположным знаком дисперсии. Величина ПМД обусловлена отклонениями

поперечного сечения световедущей жилы волокна от круглой формы, возникающими из-за несовершенств технологии, и носит случайный характер, а поэтому и не всегда может быть скомпенсирована. Во вторых, с ростом скорости передачи падает чувствительность фотоприемных устройств и глубина модуляции несущего светового сигнала информационным сигналом и, как следствие этого, отношение сигнал/шум в линии. Для компенсации этих эффектов необходимо устанавливать дополнительные усилители и регенераторы оптических сигналов. Все это так или иначе приводит к усложнению оптической аппаратуры и повышению ее стоимости.

Существует другой путь увеличения информационной емкости или скорости передачи информации ВОЛС. Это – применение спектрального мультиплексирования, WDM-технологии. Системы, использующие WDM, основаны на способности оптического волокна одновременно пропускать широкий спектр оптического излучения или набор большого числа не интерферирующих и не взаимодействующих между собой длин волн. Каждая длина волны или определенный диапазон длин волн этого спектра может служить независимым оптическим каналом для передачи информации по волокну [13].

На заре развития технологии WDM процессу стандартизации ее основных параметров: шага между несущими, длины и числа пролетов (секций), бюджета оптической мощности – уделялось мало внимания, так как эта технология использовала в качестве источника сигнала выходной сигнал мультиплексора SDH, а длина пролета была привязана к длине одной из стандартных секций SDH. Поэтому среди систем WDM в то время можно было встретить системы с двумя каналами (1310 и 1550 нм, где разнос 240 нм диктовался только желанием сопрячь системы SDH, работающие с двумя стандартными несущими) или 5–7 каналами с шагом 3,2 или 1,6 нм, длина пролета и бюджет мощности которых не нормировался. О классификации самих систем WDM не было и речи.

Однако бурное развитие WDM привело к появлению первого, хотя и временного (класса draft) стандарта Международного союза электросвязи (1997), который впоследствии был одобрен (10.98) и опубликован в 1999 году как стандарт для многоканальных систем SDH с оптическими усилителями G.692. Этот стандарт рекомендовал использовать частотный план с шагом несущих 100 ГГц (0,8 нм) и больше, хотя в разработках новых систем WDM, которые уже именовали

лись как плотные WDM, или DWDM, уже использовался шаг 50 ГГц (0,4 нм). Результатом дальнейшего развития оптической интегральной схемотехники стало уменьшение шага между несущими последовательно до 50, 25 и 12,5 ГГц, о чем в момент разработки первого стандарта можно было только мечтать.

Однако затем интенсивный путь развития систем DWDM (с точки зрения уменьшения шага между несущими частотами) зашел в тупик, так как к следующему этапу – уменьшению шага до 6,25 ГГц – будет очень трудно перейти не только из-за физических ограничений (температурной нестабильности частот несущих), но и из-за существенного удорожания таких сверхплотных систем WDM (HD-WDM). Выходом из этого экономического тупика явилось использование нового класса систем WDM – разреженных систем WDM, или CWDM, которые используют очень большой и фиксированный шаг между несущими – 20 нм – и очень дешевые средства выделения этих несущих: многослойные тонкопленочные оптические фильтры. Реализация такого решения стала возможной благодаря резкому расширению оптической полосы использования систем WDM: от 1270 до 1610 нм, что было обусловлено успехами в области создания ОБ, не имеющего пика поглощения на частоте 1383 нм.

Первоначально несущие WDM использовались только для передачи трафика систем SDH. Системам WDM была уготована роль магистральных транспортных систем, работающих по схеме точка-точка. Однако каждая несущая в системах WDM принципиально могла передавать поток цифровых сигналов, сформированный по законам любой синхронной (для глобальных сетей) или асинхронной (для локальных сетей) технологии. Последнее объясняется тем, что она дает технологиям ЛВС физический уровень модели взаимодействия открытых систем OSI. В результате одна несущая может передавать АТМ или IP, или Ethernet трафик ЛВС, другая – трафик SDH или PDH глобальных сетей и т.д. Для этого нужно лишь промодулировать конкретную несущую WDM соответствующим сигналом, т.е. иметь соответствующий интерфейс на входе систем WDM, которые считаются прозрачными для внешнего модулирующего сигнала, обеспечивающими ему передачу через физический уровень в канал связи (среду передачи).

Таким образом, технология WDM обеспечивает технологиям АТМ, Ethernet и IP физический интерфейс для выхода на физический уровень и далее в оптическую среду передачи. Производители оборудования «старых глобальных техноло-

гий» SDH/SONET, желая продлить его моральный срок службы, также разработали все необходимые интерфейсы, используя свою альтернативу выхода на физический уровень и в среду передачи. Эта альтернатива основана на технике инкапсуляции ячеек ATM или кадров/пакетов Ethernet и IP в виртуальные контейнеры SDH или виртуальные трибы SONET. Данная техника в настоящее время объединена под общим названием MSPP (Multiservice Provisioning Platform) – платформа мультисервисного обеспечения. Она позволяет использовать одну сеть SDH/SONET для передачи разнородного трафика путем использования различных интерфейсных карт с мультисервисными протоколами и процедурами инкапсуляции такого трафика. Это продлевает жизнь технологиям SDH/SONET и увеличивает их конкурентоспособность по отношению к WDM, что важно, учитывая малую распространенность сетей WDM в России.

Ясно, что при прочих равных условиях использование WDM имеет очевидные преимущества в передаче трафика ATM, Ethernet и IP, так как не требует инкапсуляции ячеек/кадров/пакетов в промежуточный модуль (STM/STS), что упрощает процедуру обработки трафика, уменьшает общую длину заголовков, повышая процент информационной составляющей трафика и эффективность передачи в целом.

Системы со спектральным уплотнением подразделяются на:

- разреженные WDM – CDWM – системы с шагом по длине волны 20 нм, работающие в полосе 1270–1610 нм;
- обычные WDM – WDM-системы с шагом несущих по частоте более 200 ГГц, позволяющие мультиплексировать не более 16 каналов;
- плотные WDM – DWDM-системы с шагом несущих по частоте от 200 до 50 ГГц;
- высокоплотные WDM – HDWDM-системы с шагом по частоте меньше 50 (25 и 12,5) ГГц; эта градация систем стандартами не предусмотрена, но часто используется в публикациях специалистов.

В настоящее время еще используется определенное количество 4–8-канальных систем WDM. Их можно условно отнести к системам второго поколения (кроме некоторых). В 1997–1999 годы были разработаны системы третьего поколения, основанные на стандартном частотном плане и имеющие 32, 64, 128 или боль-

ше каналов. В настоящее время начался этап их повсеместного внедрения. Характерная особенность этого этапа – использование принципа «увеличение числа каналов по мере роста трафика». Такой подход учитывается разработкой интерфейсных карт, рассчитанных на различное число портов (4, 8, 16), или возможностью установки нужного числа однотипных карт с фиксированным числом портов. Этим обуславливается и то, что системы, формально анонсированные как 160/320-канальные, фактически реализуются как 4-8-16-канальные с возможностью последующего наращивания числа каналов [14].

В России к строительству DWDM-сетей приступили только в XXI веке. В начале 2001 г. петербургская компания «Раском» объявила о старте проекта, который предусматривал увеличение пропускной способности ее базовой ВОЛС до уровня STM-64 (10 Гбит/с). Уже в июле этого же года были введены в эксплуатацию система передачи и оборудование линейного тракта DWDM на участке Москва – Санкт-Петербург. В состав участка кроме конечных станций входили один регенерационный и шесть усилительных пунктов. Общая длина линии составляет 690 км, продолжительность усилительного участка – 96 км, регенерационного – 345 км. А ровно через год, в июле 2002 был введен в эксплуатацию участок Санкт-Петербург – граница с Финляндией. В результате суммарная потенциальная пропускная способность магистральной сети «Раском» возросла до 15 Тбит/с.

Первое время технология DWDM в России применялась только при строительстве магистральных сетей передачи данных или для создания одной-двух линий связи между городами. И только в 2005 году была построена первая региональная сеть – зонавая мультисервисная DWDM-сеть ОАО «Таттелеком». Имевшаяся на тот момент в распоряжении ОАО «Таттелеком» сеть SDH на основе каналов уровня STM-4 с растущим трафиком уже не справлялась, и в 2003 г. ОАО «Таттелеком» объявило конкурс на проведение модернизации своей транспортной сети. Победителем конкурса была признана китайская компания Huawei Technologies. В сентябре 2005 г. модернизация сети была завершена.

После проведенных работ сеть ОАО «Таттелеком» представляет собой два независимых кольца, DWDM и SDH, оба длиной в 916 км, проходящих по одному маршруту на территории Республики Татарстан. Кольца состоят из 15 узлов каж-

дое и проходят через ключевые города Татарстана: Казань, Набережные Челны, Нижнекамск, Елабуга, Альметьевск, Лениногорск, Чистополь, Заинск и др.

В кольце DWDM транслируются семь длин волн, которые могут нести 10 защищенных (20 незащищенных) каналов Gigabit Ethernet, а также одно кольцо STM-16. Еще один уровень STM-16 несет независимое кольцо SDH. На основе технологии DWDM также построено семь оптических каналов Gigabit Ethernet: два канала Казань – Набережные Челны, каналы Казань – Нижнекамск, Казань – Альметьевск, Казань – Лениногорск, Казань – Елабуга, Казань – Чистополь. Независимое кольцо SDH выполняет функцию вывода в узлах потоков E1, поскольку эти потоки напрямую, без дорогого дополнительного оборудования с DWDM не выводятся.

Самая протяженная сеть DWDM в России находится в собственности ЗАО «Компания ТрансТелеКом». Компания начала построение сети DWDM в 2004 г., а 24 декабря 2004 г. органами Госсвязьнадзора было выдано разрешение на эксплуатацию первого участка сети Каменногорск – Санкт-Петербург – Москва длиной более 900 км. В ноябре 2005 г. был закончен третий этап строительства сети, и ее общая протяженность достигла 18 925 км.

Сеть «ТрансТелеКом» в настоящее время состоит из трех географических участков, которые строились поэтапно:

- Каменногорск – Санкт-Петербург – Москва – Екатеринбург – Входная – Тайшет – Карымская – общей протяженностью около 8,7 тыс. км;
- Выборг – Санкт-Петербург – Вологда – Ярославль – Москва – Самара – Челябинск – Омск – общей протяженностью около 6 тыс. км;
- Омск – Барнаул – Иркутск – Тайшет – Карымская – общей протяженностью около 6 тыс. км.

В ближайшее время она будет увеличена еще на два участка:

- Москва – Курск – Воронеж – Ростов-на-Дону – Волгоград – Саратов – Сызрань – Самара – общей протяженностью около 3,5 тыс. км;
- БАМ – Хабаровск – Владивосток – общей протяженностью около 2,2 тыс. км.

Таким образом, сегодня «ТрансТелеКом» обладает самой разветвленной, протяженной и, что особенно важно, географически резервированной сетью DWDM в России.

Кроме упомянутых, существуют операторы, владеющие большими магистральями с использованием технологии DWDM.

Национальный оператор дальней связи «Ростелеком» обладает несколькими DWDM-магистральями. Это «Балтийская кабельная сеть» (БКС), построенная в партнерстве с TeliaSonera International Carrier, основное предназначение которой – присоединение мощностей «Ростелекома» к телекоммуникационным ресурсам стран Европы и увеличение мощности национальной сети. БКС включает в себя два основных участка: российский – Москва – Санкт-Петербург – Кингисепп и международный – Кингисепп – Логи – Котка. Сеть построена на оборудовании компании NEC в 2002 г.

В январе 2003 г. вступила в строй DWDM-магистраль «Ростелекома» Москва – Самара. На этом участке установлено оборудование, которое в максимальной конфигурации позволит «Ростелекому» пропускать 320 Гбит/с. В сентябре 2004 г. «Ростелеком» завершил внедрение DWDM на сетях Москва – Хабаровск и Москва – Новороссийск. В мае 2005 г. «Ростелеком» подписал контракт с компанией Alcatel, предусматривающий модернизацию волоконно-оптической сети «Ростелекома» на юге Российской Федерации.

Другим оператором является ЗАО «Сонера Рус», дочерняя компания Sonera Telecom, владеющее сетью Москва – Санкт-Петербург – Финляндия. Магистраль была полностью введена в эксплуатацию в марте 2002 г. и является российским сегментом единой международной магистральной сети Sonera, работающей по единым принципам с обеспечением полной прозрачности на всем протяжении и стопроцентным физическим резервированием линейной части. Ее пропускная способность на момент постройки была эквивалентна 8 каналам STM-16.

Строительство DWDM-магистралей идет нарастающими темпами. При этом если первые проекты были нацелены скорее на соединение российского сегмента Интернета с международной сетью высокоскоростными каналами, то теперь цели и задачи изменились. На первый план выходит задача обеспечения высококачественной связью всех развитых регионов России. Кроме того, обострение конкуренции на рынке междугородной связи подталкивает операторов к созданию

таких сетей. Увеличение количества больших проектов в области корпоративных сетей и сетей государственных министерств и ведомств вынуждает провайдеров увеличивать емкость своих магистралей с целью создания наиболее благоприятных условий для клиентов [15].

## Заключение

С момента своего возникновения техника многоканальной электросвязи прошла несколько этапов, непрерывно совершенствуясь. На смену простейшим системам многократного телеграфирования и телефонирования в начале XX века пришли аналоговые системы передачи, благодаря которым фактически и была создана междугородная и международная сеть связи. Развиваясь по пути увеличения числа каналов и расширения используемой полосы частот, эта технология к 70–80-м годам достигла своего апогея, после чего постепенно была вытеснена цифровыми системами передачи плезиохронной цифровой иерархии.

Преимущества цифровой техники привели к тому, что плезиохронная иерархия стала основной технологией транспортной сети. Появление волоконной оптики открыло новый этап в развитии техники систем передачи – началось бурное развитие волоконно-оптических линий связи, которые к настоящему времени практически вытеснили линии, работающие по металлическому кабелю.

Следующим важным этапом эволюции технологий транспорта стало появление аппаратуры синхронной цифровой иерархии. Эта технология вывела на новый уровень услуги, предоставляемые транспортной сетью, а также управление и обслуживание в самой сети. Развитость средств встроенного контроля, телеметрии, маршрутизации сделала возможным управление телекоммуникационной сетью посредством специальной сети управления и обслуживания с помощью компьютерной техники. За счет применения систем резервирования и автоматического защитного переключения повысилась надежность сети.

Увеличение скоростей цифровых потоков к настоящему времени остановилось на отметке 40 Гбит/с, так как дальнейший рост связан с существенными техническими трудностями и на сегодняшний день экономически не оправдан. Большая эффективность использования пропускной способности оптического кабеля была достигнута за счет применения на новом технологическом уровне старой идеи частотного разделения каналов и создания технологии спектрального уплотнения. Оптические несущие в DWDM-системах могут передавать трафик любой природы – сигналы SDH, ATM, Ethernet, пакеты IP и т. п.

В ближайшем будущем следует ожидать дальнейшего развития волоконно-оптической техники в направлении создания полностью оптических сетей. В этих

сетях передача сигналов, обработка, регенерация, коммутация и т. д. осуществляется без преобразования оптического сигнала в электрический.

## Список использованных источников

- 1 Шарле Д. Л. Хет-трик в матче с Атлантикой. Люди и события в истории электротехники и электросвязи. – М.: МЦНТИ, ООО «Мобильные коммуникации», 2002. – (Сер. «История электросвязи и радиотехники»).
- 2 Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3 томах. Том 1 – Современные технологии / под ред. В. П. Шувалова. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Горячая линия–Телеком, 2003.
- 3 Курицын С. А. Основы построения телекоммуникационных систем передачи: Учебное пособие. – СПб.: Информационный центр «Выбор», 2004.
- 4 Техника дальней связи / Н. Е. Плешков и др. – Л.: ВКАС им. С. М. Буденного, 1951.
- 5 Резников М. Р. 50 лет советской связи. – М.: Связь, 1967.
- 6 Система многоканальной связи К-1920 / Берлин З. Ю. и др. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Связь, 1968.
- 7 Мухин С. В. История развития каналообразующей аппаратуры в нашей стране (<http://communications.narod.ru/canal/obzor.htm>)
- 8 Унифицированное высокочастотное оборудование для оконечных станций дальней связи / ред. Е. В. Комарова, В. К. Старикова. – М.: Связь, 1966.
- 9 Гуревич В. Э. и др. Импульсно-кодовая модуляция в многоканальной телефонной связи. – М.: Связь, 1973.
- 10 Слепов Н. Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000.
- 11 Скляр О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
- 12 Кулёва Н. Н., Фёдорова Е. Л. Архитектурное представление сетевых слоев в процессах мультиплексирования в транспортных сетях SDH / СПбГУТ. – СПб, 2004.
- 13 Потапов В. Т. DWDM-технологии — основа терабитных коммуникаций оптических сетей будущего // Фотон-Экспресс, №9, 2001.

- 14 Слепов Н. Особенности современной технологии WDM // Электроника НТБ, №6, 2004.
- 15 Лихачёв Н. Технология DWDM на отечественных линиях связи // Connect! Мир связи, №2, 2006.