

2018

**ИНСТИТУТ
ИСТОРИИ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
И
ТЕХНИКИ
им. С. И. Вавилова**

**ГОДИЧНАЯ
НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**



ИИЕТ РАН

**Москва
2018**

УДК 001.5, 001.6, 001.8, 001.9, 001.92, 165.9,
93(092), 93(093), 930.85, 930.253

ББК 72.3 72.4 73

Редакционная коллегия:

Д. Ю. Щербинин (гл. редактор), Р. А. Фандо (отв. редактор),
А. В. Андреев (секретарь)

Редакционный совет:

А. Г. Аллахвердян, Н. А. Ащеулова, Ю. М. Батулин, О. П. Белозеров,
В. Л. Гвоздецкий, С. С. Демидов, С. С. Илизаров, А. Г. Назаров,
А. М. Смолеговский, Д. Л. Сапрыкин, В. А. Широкова

Рецензенты:

доктор исторических наук, профессор *В. Н. Парамонов*
(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева);
кандидат геолого-минералогических наук *О. А. Соколова*
(ИИЕТ РАН)

Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова.
Годичная научная конференция, 2018. – М.: Янус-К, 2018. – 758 с.

ISBN 978-5-8037-0744-8

Труды XXIV Годичной научной международной конференции Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН включают в себя доклады по различным историко-научным проблемам: историографии и источниковедению истории науки, социологии науки и технологий, методологическим и философским аспектам развития науки, истории отдельных научных и технических направлений, научных институтов и лабораторий, научно-организационной деятельности выдающихся ученых, инженеров и конструкторов.

Для историков науки и техники и широкого круга специалистов, занимающихся общими проблемами развития науки и техники.

Текст опубликован в авторской редакции

© ИИЕТ РАН, 2018

© Авторы, 2018

Взаимосвязь развития сетей связи с социальными и экономическими факторами

В. А. Коньшев, А. В. Леонов

Целью данной статьи является анализ взаимосвязи развития волоконно-оптических систем связи в конце XX – начале XXI вв. с социальными и экономическими факторами.

Для того чтобы охарактеризовать способность волоконно-оптической системы связи (ВОСС) к передаче информации, используют такие параметры, как *ёмкость, спектральная эффективность и производительность*.

Ёмкостью (или пропускной способностью) ВОСС называют скорость передачи данных по одному оптическому волокну в одном направлении. Например, если система способна передать 80 каналов по 100 Гбит/с каждый, ёмкость такой ВОСС – 8 Тбит/с.

Спектральной эффективностью ВОСС называют отношение скорости передачи информации в канале связи к ширине спектральной полосы, занимаемой этим каналом. Обычно при сравнении различных систем связи учитывается скорость передачи полезной информации. Например, для канала 100 Гбит/с, передаваемого в спектральной полосе 50 ГГц, спектральная эффективность равна 2 бит/с/Гц.

Производительностью ВОСС называют произведение ёмкости на дальность передачи, а удельной производительностью – произведение спектральной эффективности на дальность передачи.

Ёмкость оптических систем связи выросла более чем в 100 000 раз за 40 лет их существования. Если в начале 1970-х гг. по одному волокну передавали менее 100 Мбит/с [1], то к настоящему времени ёмкость коммерческих систем составляет порядка 10 Тбит/с по одному волокну.

Резкий скачок в ёмкости оптических систем связи произошёл в конце 1990-х гг. с внедрением технологии спектрального уплотнения (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*), которая позволила передавать несколько каналов по одному волокну на разных длинах волн. Первая коммерческая WDM-система появилась в 1995 году, а к 2000 году технология WDM позволяла передавать уже порядка сотни каналов по одному волокну. Скорость передачи данных в одном канале (т. е. по одной длине волны) в коммерческих системах достигла 10 Гбит/с в 1995 году и 40 Гбит/с в 2002 году [2]. Таким образом, к 2000 году ёмкость коммерческих систем связи достигла примерно 1 Тбит/с, что значительно превышало потребности в передаче трафика, существовавшие на тот момент. Такая ситуация сохранялась на протяжении всех «нулевых» годов. Например, академик РАН Е. М. Дианов с соавтором в 2006 году отмечали в своей статье: *«благодаря созданию волоконно-оптических систем связи впервые в истории человечества технические возможности обмена информацией превысили (в настоящее время) потребности человеческого общества»* [3]. Это привело к резкому падению рынка оптических систем связи и существенному снижению инвестиций в развитие оборудования [4].

Однако, на протяжении всех «нулевых» годов трафик продолжал расти с постоянным темпом – более 50% в год, или в 100 раз за 10 лет [4]. Уже к 2010 году стало очевидно, что ёмкость магистральных систем связи, установленных операторами связи в

конце 1990-х – начале 2000-х гг., практически исчерпана, и в ближайшее время потребуются масштабное обновление оптической инфраструктуры и повышение ёмкости транспортных сетей. Таким образом, тот период времени в «нулевых» годах, когда технологические возможности магистральных сетей связи превышали имеющиеся потребности, оказался достаточно коротким.

Технологическим ответом на рост трафика стало развитие систем связи, основанных на технологии когерентного приёма оптического сигнала, и внедрение таких систем на магистральных сетях связи. В 2013–2014 гг. ведущими операторами связи Северной Америки был осуществлен переход на когерентные каналы 100 Гбит/с как основные транспортные каналы магистральных сетей. Это позволило на какое-то время удовлетворить потребности операторов связи в передаче трафика.

В настоящее время рост трафика в мировом масштабе продолжается практически теми же темпами, что и в «нулевых» годах. Очевидно, что ёмкость ВОСС на основе каналов 100 Гбит/с будет исчерпана в ближайшее время. Ведущие мировые производители активно ведут разработку более скоростного оборудования, прежде всего, за счет использования более сложных форматов модуляции (пQAM), хотя это и ведет к значительному снижению дальности передачи и соответственно к снижению производительности систем связи [5]. В 2015 году были представлены коммерческие системы со скоростью передачи 200 Гбит/с по одной длине волны, в 2018 году ожидается появление коммерческих систем со скоростью передачи 400 Гбит/с по одной длине волны, в 2019 году – 600 Гбит/с по одной длине волны.

Что же является причиной столь быстрого и не прекращающегося роста трафика в магистральных сетях? С чем был связан почти 10-летний «застой» в развитии технологий магистральных сетей связи? Насколько развитие технологий влияет на рост потребностей пользователей Интернета, и наоборот – как потребности пользователей влияют на развитие технологий?

Главным первичным источником постоянно растущего трафика является персональная электронная техника, подключенная к Интернету. Разрешение фото- и видеокamer постоянно растёт, соответственно увеличивается и объем создаваемых файлов. Увеличивается разрешение экранов, растут потребности зрителей в качестве видео-контента – соответственно, растёт и объём скачиваемой информации. Пересылка все большего количества объёмных файлов между пользователями, сохранение их на удалённых серверах и скачивание с них – основной источник нагрузки на магистральные сети.

Разумеется, есть и другие источник трафика: например, картографические сервисы. В последние годы всё больший трафик генерируется микрокомпьютерами, встроенными в различную бытовую и промышленную технику и подключенными к сети Интернет (так называемый «интернет вещей»). По оценке Cisco & Strategy Analytics, в настоящее время к Интернету подключено 9 млрд. устройств, к 2020 году их количество увеличится до 50 млрд. Однако именно визуальный контент на протяжении уже многих лет является основным драйвером роста трафика в магистральных сетях.

Период «нулевых» годов, когда ёмкость магистральных сетей значительно превосходила имевшиеся объёмы трафика, был связан с запаздыванием развития сетей широкополосного доступа (ШПД) к магистральным сетям. Например, в России необходимость внедрения широкополосного оптического доступа по технологии PON (пассивная оптическая сеть) обсуждалась с 2003 года, а массовое подключение индивидуальных абонентов началось лишь десять лет спустя. Аналогичная картина наблюдалась и в широкополосном беспроводном доступе.

Таким образом, причины роста трафика лежат в социально-экономической плоскости: люди обладают потребностью взаимодействовать друг с другом посредством визуальных образов высокого качества (прежде всего, видео-контента), а экономическая система стимулирования спроса на всевозможные гаджеты предоставляет им возможность приобретать соответствующую технику. Технологическое развитие магистральных оптических сетей связи является ответом на рост трафика.

В то же время, развитие скоростных каналов связи, безусловно, оказывает и обратное влияние на социально-экономические процессы. На наших глазах происходит разрушение монополии телевидения на видео-контент. Социальные сети сегодня предоставляют визуальный контент сопоставимого, а то и лучшего качества, чем телевидение – при этом более разнообразный и индивидуализированный, что привлекает к ним наиболее активную часть общества. Значимая пропаганда в социальных сетях уже сегодня не уступает значимости телевидения: например, общепризнано, что именно грамотное использование социальных сетей и интернет-медиа внесло решающий вклад в победу Д.Трампа на выборах президента США в 2016 году.

Скоростная связь, доступная в каждом доме и на каждом гаджете, формирует не только новые привычки работы с информацией, способы общения с друзьями и коллегами, но и открывает возможности создания недоступных ранее экономических механизмов. Наглядный пример – современные сервисы заказа такси, в основе которых лежит скоростная связь и современные картографические приложения.

Общий долгосрочный тренд роста трафика и соответствующего повышения емкости ВОСС не вызывает сомнений. Вопрос о предельной ёмкости систем связи пока остаётся открытым. Предельная ёмкость, которую по оценкам экспертов можно достичь в среднесрочной перспективе, составляет 100 Тбит/с. Например, эта ёмкость достигается при расширении используемого спектрального диапазона до 13,5 ГГц (C+L-диапазон) и использовании каналов 400 Гбит/с в полосе 50 ГГц.

Создание системы с ёмкостью выше 100 Тбит/с представляет собой серьёзный технологический вызов, способы решения которого пока не вполне ясны. В частности, ведутся лабораторные исследования возможностей использования более широкого спектрального диапазона, применения многомодовых и многосердцевинных волокон. Однако такие решения требуют дорогостоящей замены кабельной инфраструктуры (т.е. замены волокна, мультиплексоров, усилителей), что относит перспективы их коммерческой реализации на неопределенный срок.

Литература

1. *Essiambre, R. -J., and Tkach, R. W.* Capacity Trends and Limits of Optical Communication Networks // Proc. of the IEEE, 2012, Vol. 100, No. 5, pp. 1035–1055.
2. *Agrawal, G. P.* Lightwave Technology: Telecommunication Systems. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005. P. 17.
3. *Дианов Е. М., Курков А. С.* Волоконная оптика // Физика. 2006. № 23.
4. *Tkach, R. W.* Scaling Optical Communications for the Next Decade and Beyond // Bell Labs Technical Journal, 2010, vol. 14, no. 4, pp. 3–9.
5. *Leonov A. V., Konyshev V. A.* From the revolution to the evolution: the change in the character of development of fiber optic communications technology – And the Record Performance of 100 Gbit/s Systems as a Marker of this Change // Proc. of 2017 International Workshop on Engineering Technologies and Computer Science. 2017. P. 34–36.