

Мировые рекорды по скорости передачи информации

Думаете, скорость вашего широкополосного подключения к интернету быстрая? Осторожно, после прочтения данной статьи ваше отношение к слову "быстро" относительно передачи данных может сильно измениться. Представьте объем вашего жесткого диска на компьютере и определитесь, какая скорость его заполнения является быстрой – 1 Гбит/с или может быть 100 Гбит/с, тогда 1 терабайтный диск заполнится уже через 10 сек? Если бы книга рекордов Гиннеса констатировала рекорды по скорости передачи информации, то ей бы пришлось обработать все приведенные далее эксперименты.

В конце XX в., то есть еще относительно недавно, скорости в магистральных каналах связи не превышали десятков Гбит/с. В то же время пользователи интернета с помощью телефонных линий и модемов наслаждались скоростью в десятки килобит в секунду. Интернет был по карточкам и цены за услугу были немаленькие – тарифы приводились, как правило, в у.е. На загрузку одной картинки порой даже уходило несколько часов и как точно подметил один из пользователей интернета того времени: "Это был интернет, когда за одну ночь можно было только несколько женщин в интернете посмотреть". Такая скорость передачи данных медленная? Возможно. Однако стоит помнить, что все в мире относительно. Например, если бы сейчас был 1839 г., то неким подобием интернета для нас бы представляла самая протяженная в мире оптическая телеграфная линия связи Петербург-Варшава. Длина этой линии связи для XIX века кажется просто заоблачной – 1200 км, состоит она из 150 ретранслирующих транзитных вышек. Любой гражданин может воспользоваться этой линией и послать "оптическую" телеграмму. Скорость "колоссальная" – 45 символов на расстояние 1200 км можно передать всего за 22 минуты, никакая конная почтовая связь здесь и рядом не стояла!

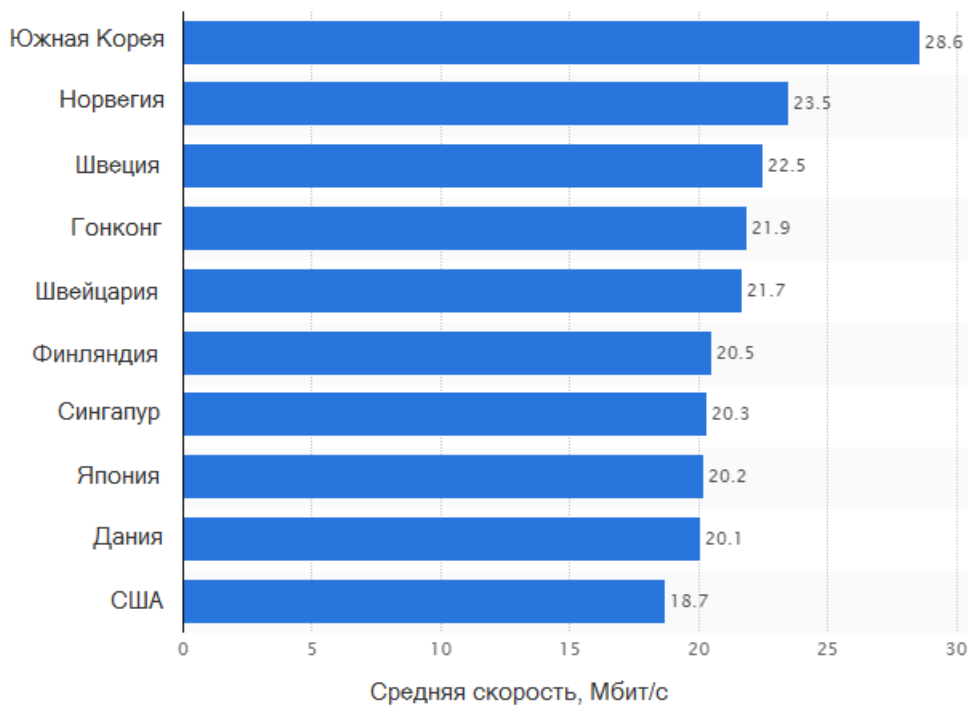
Вернемся в XXI век и посмотрим, что в сравнении с описанными выше временами мы сегодня имеем. Минимальные тарифы у крупных провайдеров проводного интернета исчисляются уже не единицами, а несколькими десятками Мбит/с; смотреть видео с разрешением менее 480p мы не уже хотим, такое качество картинки нас уже не устраивает.

Посмотрим среднюю скорость интернета в разных странах мира. Представленные результаты составлены CDN-провайдером Akamai Technologies. Как видно, даже в республике Парагвай уже в 2015 году средняя скорость соединения по стране превышала 1.5 Мбит/с (кстати, Парагвай имеет близкий для нас русских по транслитерации домен – *.ru).

Регион	Средняя скорость соединения (Мбит/с)	Средняя макс. скорость соединения (Мбит/с)	Покрытие более 4 Мбит/с	Покрытие более 10 Мбит/с	Покрытие более 15 Мбит/с
Мир	5.1	32.2	65%	27%	15%
 Аргентина	4.2	26.9	39%	3.10%	0.50%
 Бразилия	3.6	29	32%	2.20%	0.60%
 Канада	11.9	52.4	87%	43%	21%
 Колумбия	4.2	28.1	48%	1.70%	0.40%
 Коста-Рика	3.2	16.4	20%	1.10%	0.50%
 Эквадор	4.1	25.5	36%	2.50%	0.60%
 Мексика	5.5	27.3	64%	6.40%	1.70%
 Россия	10.2	57.9	87%	38%	15%
 Парагвай	1.5	13.4	2.10%	0.10%	0.10%
 США	12.6	57.3	80%	46%	24%

Общий рейтинг на 3 квартал 2015 года

На сегодняшний день средняя скорость интернет соединений в мире составляет **6.3 Мбит/с**. Наибольшая средняя скорость наблюдается в Южной Корее 28.6 Мбит/с, на втором месте Норвегия – 23.5 Мбит/с, на третьем Швеция – 22.5 Мбит/с. Ниже приведена диаграмма, показывающая среднюю скорость интернета по лидирующим в этом показателе странам на начало 2017 года.



Хронология мировых рекордов скоростей передачи данных

Поскольку сегодня неоспоримым рекордсменом по дальности и скорости передачи являются волоконно-оптические системы передачи, акцент будет делаться именно на них.

С каких скоростей все начиналось? После многочисленных исследований в период с 1975 по 1980 гг. появилась первая коммерческая волоконно-оптическая система, работающая с излучением на длине волны 0,8 [мкм](#) на полупроводниковом лазере на основе арсенида галлия.

22 апреля 1977 года в Лонг-Бич, штат Калифорния, компания [General Telephone and Electronics](#) впервые использовала оптический канал для передачи телефонного трафика на скорости **6 Мбит/с**. При такой скорости, можно организовать одновременную передачу до 94 простейших цифровых телефонных каналов.

Максимальная скорость оптических систем передачи в экспериментальных исследовательских установках этого времени доходило до **45 Мбит/с**, максимальное расстояние между регенераторами – **10 км**.

В начале 1980-х передача светового сигнала проходила в многомодовых волокнах уже на длине волны 1,3 мкм с помощью InGaAsP-лазеров. Максимальная скорость передачи была ограничена значением **100 Мбит/с** вследствие дисперсии.



При использовании одномодовых ОВ в 1981 году при лабораторных испытаниях добились рекордной для того времени скорости передачи **2 Гбит/с** на расстоянии **44 км**.

Коммерческое внедрение таких систем в 1987 году обеспечивало скорость до **1,7 Гбит/с** с протяженностью трассы **50 км**.

Как можно было заметить, оценивать рекорд системы связи стоит не только по скорости передачи, здесь также крайне важно на какое расстояние данная система способна обеспечить данную скорость. Поэтому для характеристики систем связи обычно пользуются произведением общей пропускной способности системы V [бит/с] на ее дальность L [км].

Разработка систем [волнового мультиплексирования](#) позволила ежегодно увеличивать в несколько раз скорость передачи данных по одному волокну, а с изобретением в 1989 году оптических усилителей стало возможным применение WDM систем на большие расстояния.

В 1991 г удалось организовывать линию со скоростью передачи **2,5 Гбит/с** протяженностью **21 000 км**. С 1996 г началась коммерческая эксплуатация межконтинентальных WDM систем волоконно-оптической связи.



В 1992 году стали коммерчески доступны волоконно-оптические системы, работающие по одномодовому волокну на длине волны 1550 нм. Рекордная скорость передачи при длине регенерационного участка в **70 км** дошла до **10 Гбит/с**.

В 1994 году были эксперименты по созданию солитонных ВОЛС. Рекорды передачи в таких линиях составляли 10 Гбит/с при длине 35 000 км и **15 Гбит/с** при длине **24 000 км**.



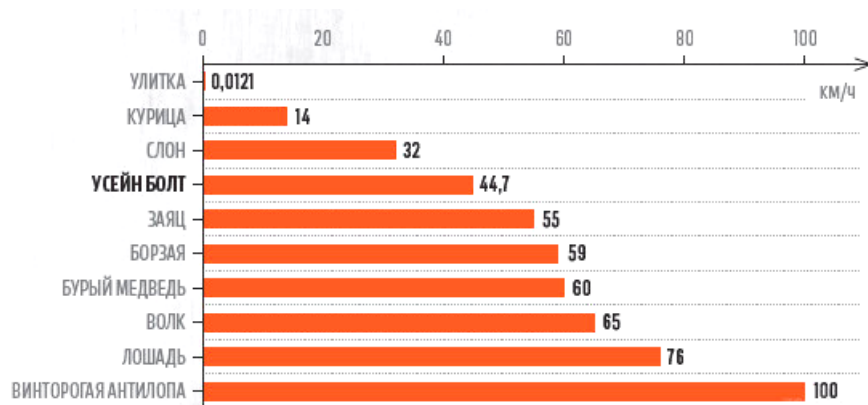
Начиная с 2000 года в экспериментальных линиях связи скорость передачи в одном канале составляла уже **40 Гбит/с**.

В 2000 году удалось организовать экспериментальную линию протяженностью свыше **3000 км**, имеющую скорость передачи **3.28 Тбит/с**. Система включала 82 канала, каждый по 40 Гбит/с, таким образом, было достигнуто значение параметра $B \cdot L = 9840 \text{ Тбит/с} \cdot \text{км}$.

К концу 2000 года были доступны коммерческие ВОЛС емкостью **1.6 Тбит/с**. Учитывая, что первые поколения ВОЛС в 1980 г. имели максимальную скорость 45 Мбит/с, получается, что всего **за 20 лет** рекорд скорости передачи увеличился более чем в **30 000 раз**.



Олимпийский чемпион, рекордсмен Усэйн Болт



Сравнение скоростей

В 2001 году при применении технологии спектрального уплотнения была достигнута скорость передачи **10,92 Тбит/с** (273 оптических канала по 40 Гбит/с), но дальность передачи была ограничена значением **117 км** ($B \cdot L = 1278$ Тбит/с•км).

В этом же году был проведен эксперимент по организации 300 каналов со скоростью 11,6 Гбит/с каждый (общая пропускная способность **3.48 Тбит/с**), длина линии составила свыше **7380 км** ($B \cdot L = 25\,680$ Тбит/с•км).

В 2002 г. была построена межконтинентальная оптическая линия протяженностью **250 000 км** с общей пропускной способностью **2.56 Тбит/с** (64 WDM канала по 10 Гбит/с, трансатлантический кабель содержал 4 пары волокон).

Теперь с помощью единственного оптоволокна можно одновременно передавать 3 миллиона! телефонных сигналов или 90 000 сигналов телевидения.

В 2006 г. Nippon Telegraph и Telephone Corporation организовали скорость передачи 14 триллион бит в секунду (**14 Тбит/с**) по одному оптическому волокну при длине линии **160 км** ($B \cdot L = 2240$ Тбит/с•км).

В этом эксперименте они публично продемонстрировали передачу за одну секунду 140 цифровых HD фильмов. Величина 14 Тбит/с появилась в результате объединения 140 каналов по 111 Гбит/с каждый. Использовалось мультиплексирование с разделением по длине волны, а также поляризационное уплотнение.



В 2009 г. Bell Labs достигли параметра $B \cdot L = 100$ пета бит в секунду умножить на километр, преодолев, таким образом, барьер в 100 000 Тбит/с•км.

Для достижения таких рекордных результатов исследователи из лаборатории Bell Labs в Villarsceaux, Франция, использовали 155 лазеров, каждый из которых работает на своей частоте и осуществляет передачу данных на скорости 100 Гигабит в секунду. Передача осуществлялась через сеть регенераторов, среднее расстояние между которыми составляло 90 км. Мультиплексирование 155 оптических каналов по 100 Гбит/с позволило обеспечить общую пропускную способность **15,5 Тбит/с** на расстоянии **7000 км**. Чтобы осмыслить значение этой скорости, представьте, что идет передача данных из Екатеринбурга во Владивосток со скоростью 400 DVD-дисков в секунду.

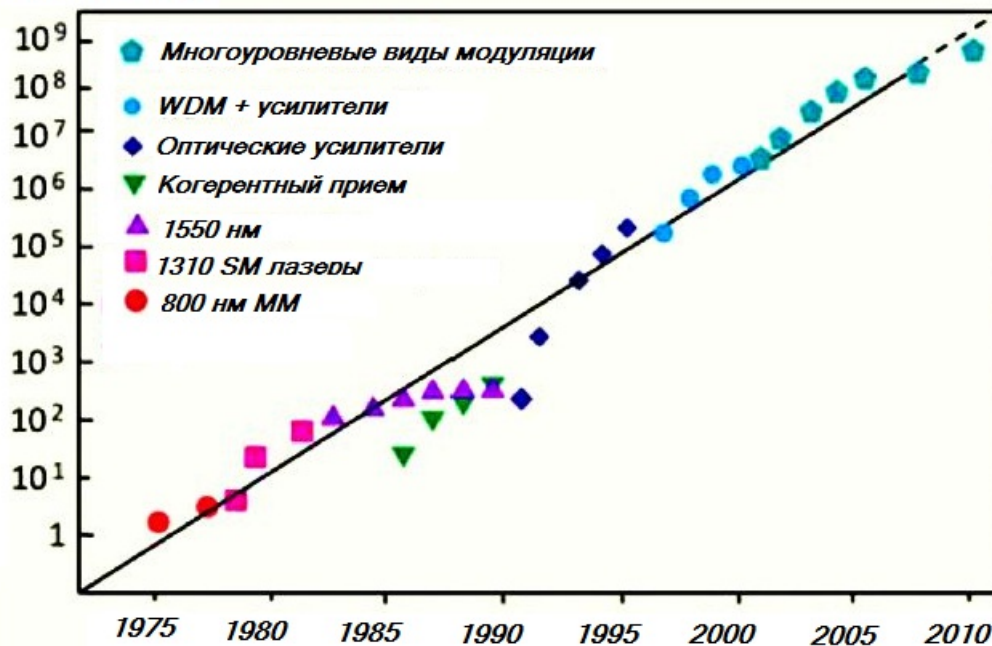


В 2010 г. NTT Network Innovation Laboratories добились рекорда скорости передачи **69.1 терабит** в секунду по одному **240-километровому** оптическому волокну. Используя технологию волнового мультиплексирования (WDM), они мультиплексировали 432 потока (частотный интервал составил 25 ГГц) с канальной скоростью 171 Гбит/с каждый.

В эксперименте применялись когерентные приемники, усилители с низким уровнем собственных шумов и с ультра-широкополосным усилением в С и в расширенном L диапазонах. В сочетании с модуляцией QAM-16 и поляризационного мультиплексирования, получилось достичь значения спектральной эффективности 6.4 бит/с/Гц.

На графике ниже видна тенденция развития волоконно-оптических систем связи на протяжении 35 лет с начала их появления.

$B \cdot L$ (Гбит/с·км)



Из данного графика возникает вопрос: "а что дальше?" Каким образом можно еще в разы повысить скорость и дальность передачи?

В 2011 г. мировой рекорд пропускной способности установила компания NEC, передав более 100 терабит информации в секунду по одному оптическому волокну. Этого объема данных, переданного за 1 секунду, достаточно, чтобы просматривать HD фильмы непрерывно в течение трех месяцев. Или это эквивалентно передаче за секунду содержимого 250 двухсторонних Blu-ray дисков.

101,7 терабит были переданы за секунду на расстояние **165 километров** с помощью мультиплексирования 370 оптических каналов, каждый из которых имел скорость 273 Гбит/с.

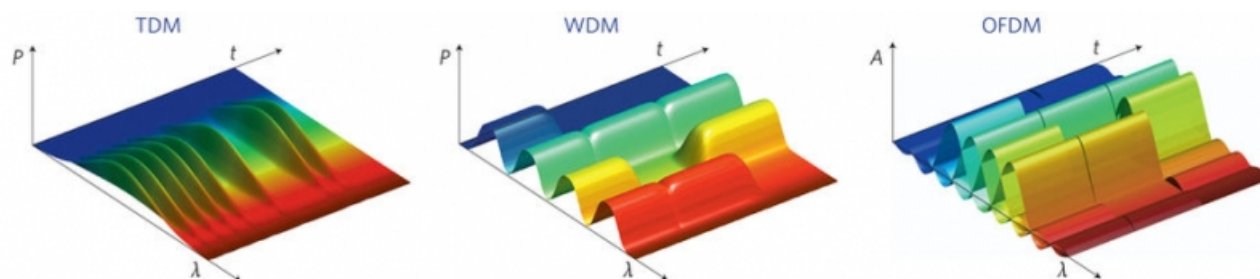


В этом же году National Institute of Information and Communications Technology (Токио, Япония) сообщил о достижении 100-терабитного порога скорости передачи посредством применения многосердцевинных ОВ. Вместо того чтобы использовать волокно только с одной световедущей жилой, как это происходит современных коммерческих сетях, команда использовали волокно с семью сердцевинами. По каждой из них осуществлялась передача со скоростью 15.6 Тбит/с, таким образом, общая пропускная способность достигла **109 терабит** в секунду.

Как заявили тогда исследователи, использование многосерцевидных волокон пока является достаточно сложным процессом. Они имеют большое затухание и критичны к взаимным помехам, поэтому сильно ограничены по дальности передачи. Первое применение таких 100 терабитных систем будет внутри гигантских центров обработки данных компаний Google, Facebook и Amazon.

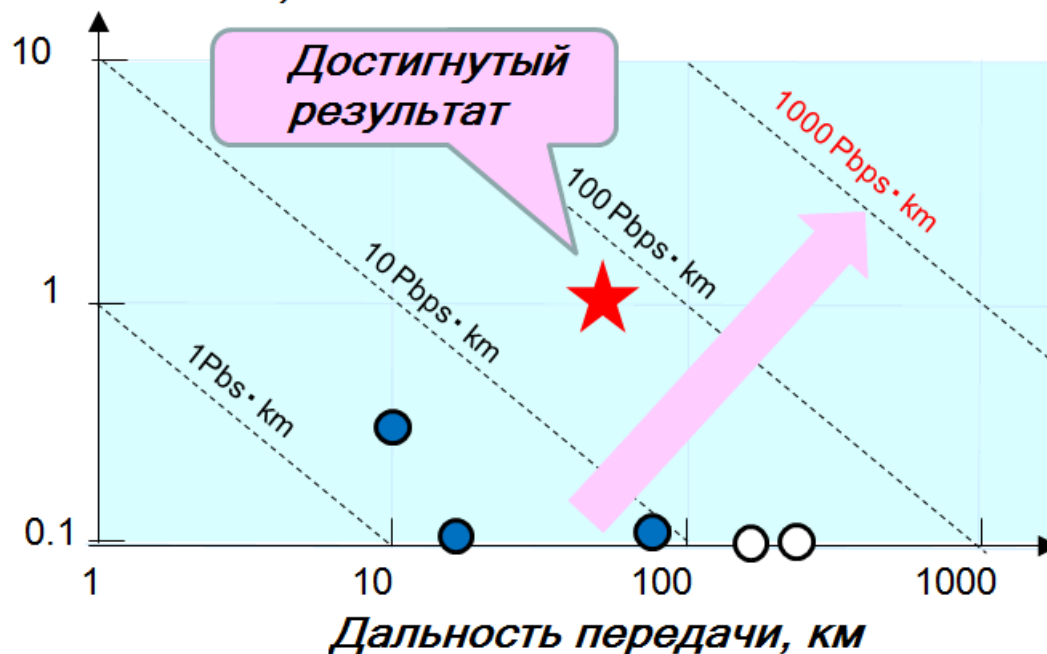
В 2011 г. команда ученых из Германии из технологического института Karlsruhe Institute of Technology (KIT) без использования технологии xWDM передала данные по одному ОВ со скоростью **26 терабит** в секунду на расстояние **50 км**. Это эквивалентно передаче в одном канале одновременно 700 DVD-дисков в секунду или 400 миллионов телефонных сигналов.

Начали появляться новые услуги, такие как облачные вычисления, трехмерное телевидение высокой четкости и приложения виртуальной реальности, что опять требовало беспрецедентной высокой емкости оптического канала. Для решения этой проблемы исследователи из Германии продемонстрировали применение схемы оптического быстрого преобразования Фурье для кодирования и передачи потоков данных со скоростью 26.0 Тбит/с. Для организации такой высокой скорости передачи была использована не просто классическая технология xWDM, а оптическое мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) и соответственно декодирование оптических OFDM потоков.



В 2012 г. японская корпорация NTT (Nippon Telegraph and Telephone Corporation) и три ее партнера: фирма Fujikura Ltd., университет Hokkaido University и университет Technical University of Denmark установили мировой рекорд пропускной способности, передав **1000 терабит (1 Пбит/с)** информации в секунду по одному оптическому волокну на расстояние **52.4 км**. Передача одного петабита в секунду эквивалентна передаче 5000 двухчасовых HD фильмов за одну секунду.

Общая пропускная способность, Пбит/с

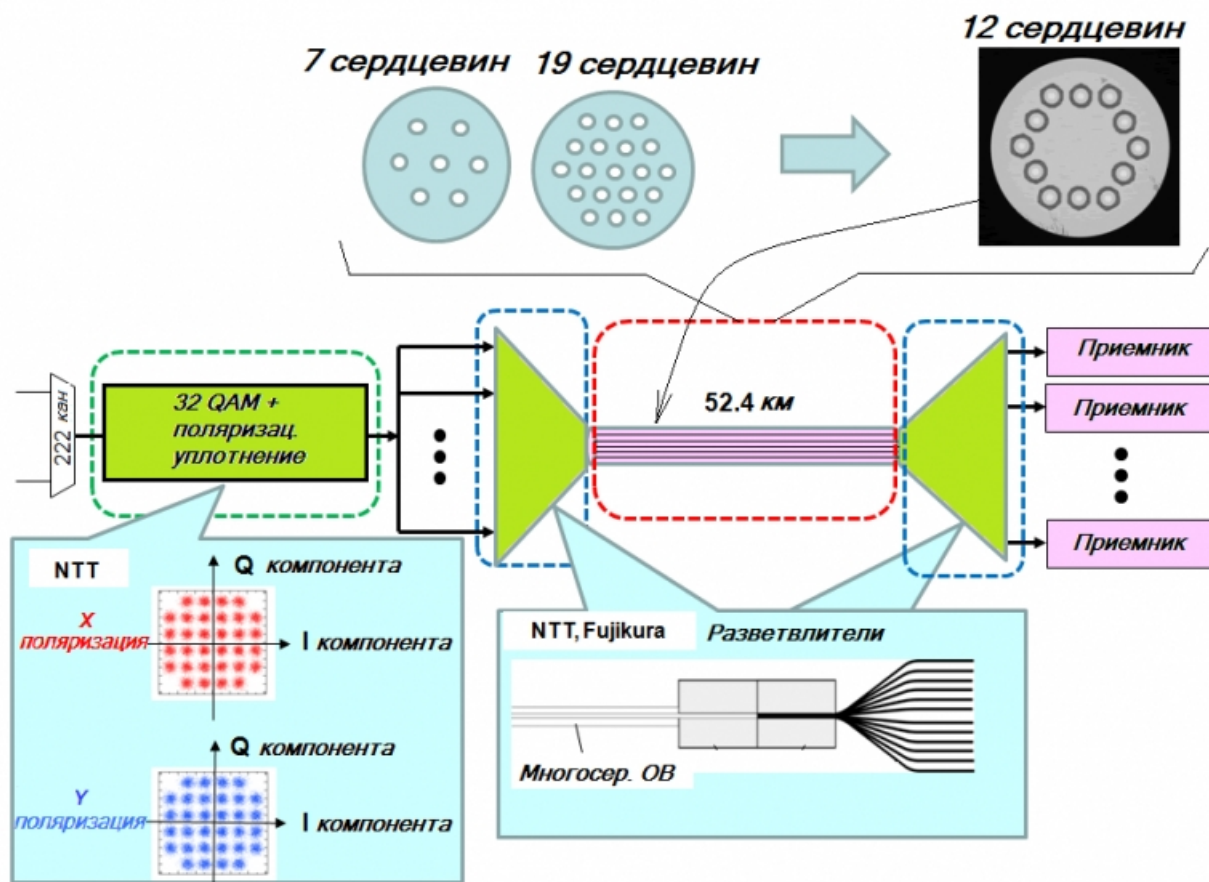


● многосерцевидные ОВ

○ односерцевидные ОВ

С целью значительного улучшения пропускной способности оптических коммуникационных систем, было разработано и протестировано волокно с 12-тью сердцевинами, расположенных особым образом

в виде соты. В данном волокне благодаря его особой конструкции взаимные помехи между соседними сердцевинами, которые обычно являются главной проблемой в обычных многосерцевинных ОВ, значительно подавлены. В результате применения поляризационного мультиплексирования, технологии xWDM, квадратурной амплитудной модуляции 32-QAM и цифрового когерентного приема, ученые успешно повысили эффективность передачи в расчете на одну сердцевину более чем в 4 раза, в сравнении с предыдущими рекордами для многосерцевинных ОВ.



Пропускная способность составила 84.5 терабит в секунду на одну сердцевину (скорость канала 380 Гбит/с x 222 каналов). Общая пропускная способность на одно волокно составила 1.01 петабит в секунду (12 x 84.5 терабит).

Также в 2012 г. немного позднее исследователи из лаборатории NEC в Принстоне, Нью-Джерси, США, и Нью-Йоркского научно-исследовательского центра Corning Inc., успешно продемонстрировали сверхвысокую скорость передачи данных со скоростью **1.05 петабит** в секунду. Данные передавались с помощью одного многосерцевинного волокна, которое состояло из 12 одномодовых и 2 маломодовых сердцеви́н.



Данное волокно было разработано исследователями Corning. Объединив технологии спектрального и

поляризационного разделения с пространственным мультиплексированием и оптической системы MIMO, а также используя многоуровневые форматы модуляции, исследователи в результате достигли общей пропускной способности 1.05 Пбит/с, поставив, таким образом, новый мировой рекорд самой высокой скорости передачи по одному оптическому волокну.

Летом 2014 года рабочая группа в Дании, используя новое волокно, предложенное японской компанией Telekom NTT, установила новый рекорд – организовав с помощью одного лазерного источника скорость **в 43 Тбит/с**. Сигнал от одного лазерного источника передавался по волокну с семью сердцевинами.

Команда Датского технического университета совместно с NTT и Fujikura ранее уже достигала самой высокой в мире скорости передачи данных в 1 петабит в секунду. Однако тогда были использованы сотни лазеров. Сейчас же рекорд в 43 Тбит/с был достигнут с помощью одного лазерного передатчика, что делает систему передачи более энергоэффективной.

Как мы убедились, в связи есть свои интересные мировые рекорды. Для новичков в этой области стоит отметить, что многие представленные цифры до сих пор не встречаются повсеместно в коммерческой эксплуатации, поскольку были достигнуты в научных лабораториях в единичных экспериментальных установках. Однако и сотовый телефон когда-то был прототипом.

Чтобы не перегружать ваш носитель информации, пока остановим текущий поток данных.

Продолжение следует...