

СВЯЗЬ И НАУКА: взаимное влияние

Часть 1

Б.Хромой, д.т.н., Заслуженный деятель науки РФ,
заведующий кафедрой МТУСИ / p_khromoy@rambler.ru

УДК 621.391, DOI: 10.22184/2070-8963.2017.64.3.86.95

Связь снова стала оптической примерно через 150 лет после отмирания оптического телеграфа.

Известно, что любое достижение в науке и технике возникает не на пустом месте. В нашем мире все взаимосвязано. Техника связи получила сильное развитие за последние 30 лет. Так, громадным достижением является применение волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Возникает представление о следующей логической последовательности развития связи. Сначала связисты освоили длинноволновый и средневолновый диапазоны частот, затем коротковолновый, затем УКВ и, наконец, световой диапазон. В действительности же с оптикой связано начало связи.

Самым древним и самым распространенным способом передачи информации практически до первой половины 19 века был способ, основанный на использовании световых сигналов. Кроме того, применялись особые приборы с подвижными частями, различные взаимные положения которых составляли условные знаки. Но эти знаки воспринимались на расстоянии зрением человека и, следовательно, передавались в световом диапазоне.

В соответствии с современной терминологией данные устройства можно назвать "оптическим телеграфом". Древний оптический телеграф – это костры, факелы, семафоры. Один из старейших видов такого средства связи описывает древнегреческий полководец и ученый Полибий (201-120 гг. до н. э.) в своей "Всеобщей истории". На Руси в древности для сигнализации также применялись костры, при помощи которых сообщали, например, о нашествии неприятеля.

Значительно позднее более совершенными стали телеграфы, в которых условные знаки передавались не с помощью световых источников

и их лучей, посылаемых с одного места в другое, а посредством особых механизмов с подвижными частями в виде линеек или кругов, видимых с дальнего расстояния. Первым изобретателем такого рода оптического телеграфа считается известный английский ученый Р.Гук, который не только придумал, но и построил сигнальный аппарат, который был им продемонстрирован в 1684 году.

В 18 веке оптические телеграфы использовались весьма интенсивно. В 1778 году для установки сообщения между Парижской и Гринвичской обсерваториями была устроена линия связи, которая использовала огни. Разновидностью оптических телеграфов в 19 веке стал "гелиограф", который широко использовался в военном деле. Основной частью его являлось зеркало, при помощи которого световые лучи направлялись в точку, где находилось другое такое же зеркало. Условные знаки образовывались короткими поворотами зеркал в ту или другую стороны.

Оптический телеграф как самое быстрое средство связи был изобретен в 1780 году во Франции Клодом Шаппом. Но только в 1792 году прибор был усовершенствован К.Шаппом и его братом и представлен был ими Национальному конвенту под названием семафора (носителя знаков).

Первая линия системы братьев Шапп была построена в 1794 году и соединяла Париж и Лилль. На протяжении 225 км были построены 22 станции. Для передачи одного знака требовалось при этом 2 мин. Первое извещение по линии было получено 1 сентября о взятии французами в тот же день утром у австрийцев города Конде. Вскоре построены были и другие линии, и система



Вид оптической сигнальной телеграфной башни на линии дороги Санкт-Петербург – Царское село – Гатчина (из фондов Центрального музея связи им. А.С.Попова)

братьев Шапп получила широкое распространение. Своими военными победами Наполеон I немало обязан оптическому телеграфу, с помощью которого он имел возможность быстро передавать свои распоряжения на большие расстояния.

Несмотря на недостатки оптической телеграфии, заключающиеся главным образом в зависимости от погоды, ее активно использовали почти до середины 19 века, в частности, в России – до начала 1860-х годов.

В Испании первая линия оптического телеграфа была построена в 1798 году инженером А.Бетанкуром. Она соединяла Кадис и Мадрид. А.Бетанкур использовал собственную систему оптической связи, признанную позднее лучшей в Европе. В дальнейшем он переселился в Россию и стал видным российским государственным деятелем и ученым.

В 1824 году была сооружена первая в России линия оптического телеграфа между

Санкт-Петербургом и Шлиссельбургом, по которой передавались сведения о судоходстве на Неве и Ладожском озере. За основу была взята система А.Бетанкура, получившая к тому времени повсеместное распространение.

В 1833 году была открыта вторая линия: Санкт-Петербург – Кронштадт, которая шла через Стрельну и Ораниенбаум. К 1835 году к этой линии прибавились еще две: Санкт-Петербург – Царское Село и Санкт-Петербург – Гатчина. Николай I мог, не выходя из своего рабочего кабинета, отдавать приказы флоту, используя телеграф, который он приводил в действие собственноручно. Это подробно описано в книге А.Кюстина "Россия в 1839 году".

В царствование Николая I был создан особый комитет при Военном министерстве для рассмотрения предлагаемых к использованию в России оптических телеграфов. С 1827 по 1833 год комитет рассмотрел множество проектов русских и иностранных изобретателей.

Для постройки в России выбрали оптический телеграф, разработанный бывшим инженером Жаком Шато. Ж.Шато разработал не только конструкцию самого телеграфа, но и словарь кодов для составления посланий, а также "Положение о Кронштадтской телеграфической линии", "Устав телеграфическим сигналистам". Устав был издан в Санкт-Петербурге в военной типографии в 1835 году. Самая длинная в мире линия оптического телеграфа Зимний дворец – Варшава строилась с 1835 года и была открыта 20 декабря 1839 года. Ближайшая от дворца телеграфная станция находилась на месте современной станции метро "Технологический институт". Протяженность линии составляла 1200 км, ее обслуживали 1904 человека. Для передачи сигналов использовалось 149 башен, построенных по "высочайше утвержденному" образцу и имевших высоту 21,5 м. Сообщение из Зимнего дворца доходило до Варшавы в среднем за 20 мин.

Исходная станция в Санкт-Петербурге располагалась в небольшой шестигранной башенке, увенчанной золоченым шаром и расположенной над западным фасадом Зимнего дворца. Башня была возведена по проекту архитектора Л.И.Шарлеманя в 1835 году специально для размещения в ней оптического телеграфа.

В библиотеке Центрального музея связи им. А.С.Попова, основанного как Телеграфный музей в 1872 году по инициативе директора Телеграфного департамента Карла Людерса, хранятся "Устав телеграфическим сигналистам" и "Краткий словарь для Кронштадтской телеграфической линии" 1837 года. По этим документам можно составить полную картину того, как создавались и проходили по линии депеши. На промежуточных башнях-станциях в специальном журнале "сигналист" записывал все принимаемые и передаваемые дальше сигналы с указанием времени передачи и своей фамилии. Содержания послания он не знал. Для подготовки телеграфистов, обслуживающих линии оптического телеграфа, в 1840 году открыли "постоянную сигнальную школу".

Таким образом, во времена применения оптического телеграфа были заложены некоторые основы связи. В том числе ретрансляция сигналов с помощью башен (аналог современных РРЛ), кодирование информации (словарь кодов), нормативные документы (устав телеграфии, положение о телеграфной линии). Было открыто учебное учреждение для телеграфистов. Следует

также отметить, что все работы по созданию и эксплуатации оптической связи выполнялись на государственном уровне.

Однако в начале 1850-х годов оптический телеграф, в том числе в России, потерял свою актуальность. Эта потеря имела веские причины. В 1800 году итальянский естествоиспытатель, физик, химик и физиолог Алессандро Вольта создал первый в мире химический источник тока "Вольтов столб". Таким образом, стало возможно получать электричество с помощью химических реакций. Это изобретение оказало огромное влияние не только на развитие науки об электричестве, но и на всю историю человеческой цивилизации.

После изобретения химического источника тока А.Вольта прошло всего два года, и в 1802 году Василий Владимирович Петров (176834) – русский физик-экспериментатор, электротехник, академик Петербургской АН создал источник тока "Вольтов столб" с электродвижущей силой около 1700 В. В 1803 году В.В.Петров опубликовал книгу, в которой описал способы изготовления вольтова столба, явление электрической дуги и возможность ее применения для электроосвещения, электросварки и электропайки металлов.

Совершенно очевидно, что изобретение химического источника тока имело исключительное значение. До этого изучались неподвижные электрические заряды, то есть существовала только электростатика. С получением тока начала развиваться электродинамика. При проведении эксперимента датский физик Ханс Эрстед случайно обнаружил влияние тока, протекающего по металлическому проводу, на положение стрелки магнитного компаса. До этого считалось, что электрические и магнитные явления совершенно независимы.

Явление, обнаруженное Х.Эрстедом, заинтересовало английского ученого Майкла Фарадея. Начав работу в этом направлении в 1822 году, он только в 1831 году нашел решение проблемы, обнаружив электромагнитную индукцию. Уже в 1832 году Фарадей за открытие индукции был награжден медалью Копли. В 1845 году М.Фарадей ввел понятие "электромагнитное поле".

Научные достижения Фарадея вызвали большой интерес в научном мире. Уже в 1831 году американский ученый Джозеф Генри создал для Йельского колледжа большой электромагнит с силой тяги 1000 кг (в настоящее время он хранится в Смитсоновском институте

в Вашингтоне). Свойства электромагнита, как механического исполнительного устройства, привели к идее построения электромагнитного телеграфа.

14 декабря 1846 года молодой немецкий ученый Эрнст Вернер фон Сименс (1816–1892) в письме сообщает родственникам: "Я теперь почти решился избрать постоянное поприще в телеграфии... Телеграфия станет самостоятельной важной отраслью техники, и я чувствую себя призванным сыграть в ней роль организатора".

1 октября 1847 года им вместе с механиком Гальске была основана телеграфно-строительная фирма Telegraphenbauanstalt Siemens & Halske (S&H). В 1849 году S&H построила первую в Германии телеграфную линию Берлин – Франкфурт-на-Майне. Сименс также усовершенствовал стрелочный телеграф Уитстона – Кука, за что на Первой международной промышленной выставке в Англии (1851 г.) был удостоен одной из высших наград.

Начиная с 1853 года фирма S&H вела строительство ряда телеграфных линий в России, связав Санкт-Петербург с Кронштадтом, Гельсингфорсом, Варшавой, Ригой, Ревелем и приняла на себя их техническое обслуживание.

Приведенные исторические факты свидетельствуют о том, что в середине 19 века произошла техническая революция, которая привела к замене в технике связи оптического телеграфа электромагнитным. Научную основу прогресса определило установление связи между электрическими и магнитными явлениями и разработка теории электромагнитного поля. Это научное достижение явилось основой прогресса в области связи.

Следует отметить, что над задачей построения электромагнитных телеграфных аппаратов успешно работал в России Б.С.Якоби. В 1839 году он изобрел электромагнитный телеграфный аппарат с фиксированием передаваемого текста, в 1842 году – стрелочный электромагнитный телеграфный аппарат, в 1850 году – первый в мире буквопечатающий электромагнитный телеграфный аппарат. В 1843 году Б.С.Якоби построил телеграфную линию длиной 25 км между Санкт-Петербургом и Царским Селом.

Бурное развитие нового вида телеграфии было вызвано существенными преимуществами электрического телеграфа перед оптическим. К ним следует отнести высокую скорость передачи сигналов, отсутствие обслуживаемых промежуточных станций и возможность

записи передаваемой информации. Однако замена оптического телеграфа электрическим не произошла на морском и наземном транспорте из-за невозможности подсоединения кабеля к подвижному объекту. И в настоящее время вдоль железных дорог устанавливаются семафоры, которые можно рассматривать как устройства оптической связи.

Электрический телеграф в качестве основного средства связи использовался повсеместно в течение 50 лет, пока не было изобретено радио. Однако в этот период и до него в науке происходили открытия и осуществлялись изобретения, послужившие основой для создания радиосвязи и дальнейшего прогресса в технике связи. Как не странно это может показаться, но важную роль сыграла задача измерения времени.

Проблема измерения времени с высокой точностью была актуальной даже 300 лет назад. Это утверждение может показаться неправдоподобным, поскольку в те времена не было железных дорог и авиации, а, следовательно, и не было необходимости соблюдать расписание с высокой точностью. Однако существовали две задачи, для решения которых было необходимо иметь весьма точные часы (хронометр), – навигация и картография.

Как известно, координаты точки земной поверхности определяются широтой (параллелью) и долготой (меридианом). Измерение широты осуществлялось с помощью секстанта. Это высокоточный измерительный инструмент, используемый для измерения угла расположения солнца над горизонтом в астрономический полдень. Зная дату измерения и величину угла, можно вычислить широту местности. Секстант являлся оптическим прибором, созданным в результате многолетних работ десятков ученых и изобретателей, работавших в разных странах. Среди них Жан Пикар, Тихо Браге, Эдмунт Галлей, Роберт Гук и др.

Иначе обстояло дело с измерением долготы местности. Долгота – угол λ между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального нулевого меридиана, от которого ведется отсчет долготы. Выбор нулевого меридиана произволен и зависит только от соглашения. В настоящее время за нулевой принят Гринвичский меридиан, проходящий через обсерваторию в Гринвиче, на юго-востоке Лондона. В качестве нулевого ранее выбирались меридианы обсерваторий Парижа, Кадиса, Пулково.

Для определения долготы необходимо определить время восхода солнца в данной местности относительно аналогичного времени в точке нулевого меридиана. Для этого были необходимы высокоточные часы (хронометр), с суточной погрешностью не более 0,5 с.

Проблема была актуальной, а, главное, она имела экономическую основу, так как гибель судов приводила к большим потерям. Поэтому правители ряда стран предлагали солидные премии за решение этой проблемы. В 1567 году испанский король Филипп II назначил вознаграждение тому, кто сможет отыскать простой способ определения долготы в море. В 1598 году Филипп III повторил обещание о вознаграждении. Солидные суммы предлагали Нидерланды, Португалия и Венеция.

Создателями первых точных часов по праву считаются два великих ученых – Галилео Галилей и Христиан Гюйгенс. Проблема была сложной, так как было необходимо изобрести автоколебательное устройство, для которого в природе не существует аналогов. Первым идею маятниковых часов высказал Галилей. Эта идея возникла у него при наблюдении качания лампад, подвешенных к потолку храма. Однако она осталась идеей.

Довести идею до реальной конструкции удалось лишь Гюйгенсу в 1658 году. Однако ему мы обязаны не только приспособлением маятника к часам, но и развитием основ его теории, в частности, определением формулы его движения. Опубликованная в 1673 году книга ученого "Маятниковые часы" принадлежит к числу самых замечательных трудов по механике, написанных в 17 веке. Не случайно ее ставили в один ряд со знаменитыми "Началами" Исаака Ньютона. Этот труд Гюйгенса сыграл большую роль в развитии радиотехники, которая построена на теории колебаний. Фактически для создания теории электрических колебаний было достаточно заменить ряд механических параметров, используемых в работе Гюйгенса, на соответствующие электромагнитные эквиваленты.

Однако маятниковые часы оказались непригодными для морской навигации из-за качки. В 1674 году Гюйгенс отказался от использования маятника в морских часах и предложил в качестве регулятора часов колебательную систему баланс-спираль. И только в 1759 году морские часы очень высокой точности (хронометр) создал английский мастер Джон Гаррисон.

В дальнейшем было начато производство хронометров и их установка на морские суда. Однако весьма серьезной оставалась проблема установки начального времени в соответствии с временем Гринвичского меридиана. Эта проблема и была решена с помощью телеграфных линий, по которым сигналы точного времени передавались в морские порты. В определенный момент раздавался выстрел из пушки и на морских судах корректировались показания хронометров. По традиции и в настоящее время в Санкт-Петербурге происходит выстрел из пушки в 12 ч. Таким образом, электрический телеграф, в отличие от оптического, выполнял весьма важную функцию и, несомненно, решение задачи передачи сигналов точного времени послужило причиной строительства многих телеграфных линий.

Таким образом, решение задачи измерения времени явилась стимулом создания теории колебаний, весьма важной для дальнейшего развития связи, а электромагнитный телеграф обеспечивал передачу сигналов точного времени в нужные точки.

Итак, электрический телеграф в середине 18 века вытеснил оптический и до конца века связь и оптика существовали отдельно, при этом оптика продолжала развиваться. Совершенствовались ее теоретические основы, разрабатывались новые оптические приборы. Однако в конце 18 века это положение изменилось. В период с 1885 по 1889 год Г.Герц провел свои знаменитые опыты по распространению электрической силы, доказавшие реальность электромагнитных волн.

В 1887 году, по завершении опытов, вышла первая статья Герца "Об очень быстрых электрических колебаниях", а в 1888 году – еще более фундаментальная работа "Об электродинамических волнах в воздухе и их отражении". Основные выводы, сделанные Герцем: можно передавать энергию электрического и магнитного поля без проводов, справедлива теория Максвелла, что скорость распространения радиоволн равна скорости света. Герцу удалось не только обнаружить волны, в том числе и стоячие, но и исследовать скорость их распространения, отражение, преломление и даже поляризацию.

Следует также отметить, что в 1887 году Герц впервые наблюдал и дал описание внешнего фотоэффекта. Таким образом, открытие им электромагнитных волн послужило основой для реализации радиосвязи, а внешнего фотоэффекта – для реализации телевидения.

В дальнейшем в реализации радиосвязи важную роль сыграл Никола Тесла. Ему принадлежит идея перехода от постоянного тока к переменному для решения энергетических задач. Тесла экспериментировал не только с электричеством высокого напряжения, но и постепенно повышал его частоту. В 1891 году во время публичной лекции он описал и показал принципы радиосвязи, а в 1893 году создал мачтовую антенну для беспроводной связи. В 1893-м Тесла сконструировал первый в мире волновой радиопередатчик (первенство Теслы в изобретении радио было доказано и признано в 1943 году Верховным судом США).

В России радио было независимо изобретено Александром Поповым. 18 декабря 1897 года он передал с помощью телеграфного аппарата, присоединенного к прибору, слова "Генрих Герц", которые являются одними из первых, переданных по радио. Этим было выражено уважение русского ученого к научным достижениям предшественника. Кроме того, следует отметить появление радиотелеграфа.

Среди изобретателей радио часто упоминается итальянец Маркони. Его первенство в изобретении радио часто оспаривается, однако одно

его открытие представляет интерес. В 1901 году им была организована передача радиосигнала из Европы в Америку, которая по прогнозам тогдашних специалистов должна была дать отрицательный результат, поскольку по их мнению электромагнитные волны распространяются прямолинейно. Однако, результат был положительным. Таким образом, было экспериментально доказано, что "длинные" электромагнитные волны огибают поверхность Земли, следовательно, имеет место явление, аналогичное хорошо известному в оптике под названием дифракции.

В то время связь между законами распространения электромагнитных волн и законами оптики не была всем понятна. Когда был освоен диапазон коротких волн, то его выделили радиолюбителям, поскольку специалисты считали, что он не перспективен, так как короткие волны распространяются прямолинейно и выйдут за пределы земной атмосферы. Однако опыт радиолюбителей показал, что короткие волны при определенных условиях обладают способностью, отражаясь от ионосферы возвращаться на Землю, то есть имеет место хорошо известное в оптике явление отражения. Так же оказался

востребован оптический термин "преломление лучей".

Если обратиться к терминологии, используемой в теории распространения радиоволн и сравнить ее с терминологией, используемой в оптике, то можно выявить много общего. Так, например, используется Принцип Гюйгенса - Френеля - основной постулат волновой теории, описывающий и объясняющий механизм распространения как радиоволн, так и световых. Принцип Гюйгенса - Френеля формулируется следующим образом: каждый элемент волнового фронта можно рассматривать как центр вторичного возмущения, порождающего вторичные сферические волны, а результирующее световое поле в каждой точке пространства будет определяться интерференцией этих волн.

Используются термины "дифракция" - огибание волнами препятствий, встречающихся на их пути; "дисперсия" - зависимость скорости распространения монохроматического излучения в среде от частоты этого излучения; "интерференция", "когерентность" и др.

Совпадение приведенных выше терминов свидетельствует, что на быстрое развитие радиотехники в 20 веке в части теории распространения электромагнитных волн существенное значение оказали научные достижения в области оптики, накопленные в 17 и 18 веках.

В дальнейшем влияние научных достижений в оптике на развитие техники связи отчетливо проявилось при разработке цветного телевидения. При этом использовались научные результаты, полученные Джеймсом Максвеллом. Теория цветов берет начало в творчестве Ньютона, который придерживался идеи о семи основных цветах. Максвелл выступил как продолжатель теории Томаса Юнга, выдвинувшего идею трех основных цветов и связавшего их с физиологическими процессами в организме человека. Важную информацию содержали свидетельства больных цветовой слепотой, или дальтонизмом. В экспериментах по смешиванию цветов, во многом независимо повторявших опыты Германа Гельмгольца, Максвелл применил "цветовой волчок", диск которого был разделен на окрашенные в разные цвета секторы, а также "цветовой ящик" - разработанную им самим оптическую систему.

Для графического представления цветов Максвелл, следуя Юнгу, использовал треугольник, точки внутри которого обозначают результаты смешения основных цветов, расположенных в вершинах фигуры. Полная математическая

теория цветового тела создана советским ученым Н.Д.Нюбергом и частично немецким ученым Р.Лютером. Книга Н.Нюберга "Теоретические основы цветовой репродукции", изданная в 1948 году, стала фундаментальной для теории и практики цветовоспроизведения. В международной литературе имеется термин "цветовое тело Лютера - Нюберга". Таким образом, к началу разработки аппаратуры цветного телевидения в оптике были разработаны научные основы колориметрии.

Разработка телевизионной аппаратуры дала толчок к развитию электронной оптики. Это раздел физики, в котором изучают законы распространения пучков заряженных частиц - электронов и ионов - в магнитных и электрических полях и вопросы их фокусировки, отклонения и формирования изображений. Развитие электронной оптики началось с изучения катодных лучей, при помощи которых было получено теневое изображение объекта, свидетельствовавшее, что характер их распространения подобен распространению световых лучей в геометрической оптике. Смещение изображения под действием магнитного поля показало, что катодные лучи представляют собой поток заряженных частиц. Перечисленные научные достижения свидетельствуют о том, что техника связи, которая на протяжении ряда лет много заимствовала из оптики, начала влиять на оптику и стимулировала развитие нового направления - электронной оптики.

Переломный момент в истории связи произошел в результате изобретения лазера. Слово "лазер" (laser) составлено из начальных букв в английском словосочетании Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, что в переводе на русский язык означает "усиление света с помощью стимулированного испускания излучения". Изобретение лазера связано с трудами русских ученых Николая Басова и Александра Прохорова, которые в 1958 году изобрели лазер, за что и получили Нобелевскую премию в 1964 году (вместе с американцем Чарлзом Таунсом, чьи работы Прохоров использовал при разработке). Однако американцы первыми изготовили рубиновый лазер и наладили серийный выпуск, поэтому часто они называются изобретателями первого лазера. Первый в мире работающий лазер был сконструирован Теодором Майманом в 1960 году. Майман использовал рубиновый стержень с импульсной накачкой, который давал красное излучение с длиной волны 694 нм. В 1962 году были созданы полупроводниковые

лазер и фотодиод, то есть малогабаритные источник и приемник оптического сигнала.

Их создание дало возможность использовать оптическое волокно для построения волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Однако повсеместному переходу на технологии ВОЛС мешали высокие затухания в оптическом волокне, поэтому конкуренция с медными линиями была невозможна.

Только к 1970 году компании Corning Glass, (США), специализирующейся на разработке изделий оптической физики из специализированного стекла более 160 лет, удалось наладить коммерческое производство волокна с низким затуханием – до 20 дБ/км (на длине волны 0,85 мкм), через пару лет – до 4 дБ/км. Волокно являлось многомодовым и по нему передавалось несколько мод света. К 1983 году был освоен выпуск одномодовых волокон, по которым передавалась одна мода.

Практически в это же время в России и США были разработаны принципы создания полупроводниковых лазеров на основе гетероструктур, имеющих характеристики вполне удовлетворительные для создания ВОЛС. В 1970 году на основе этих разработок был создан первый макет ВОЛС,

который мог передавать информацию со скоростью 2 Мбит/с на расстояние до 3 км.

В России первый макет ВОЛС, способный передавать информацию со скоростью сотни Мбит/с, был создан в 1977 году. В 1981 году на основе одномодового оптического волокна с затуханием в доли дБ/км был создан макет ВОЛС, обеспечивающий передачу информации со скоростью до 2 Гбит/с на расстояние 40 км. В эти же годы было освоено производство оптического кабеля, на рынке появились соответствующие оптические источники излучения, фотоприемники и другие элементы световодной техники.

В настоящее время волоконно-оптическая связь фактически стала определяющей в мире телекоммуникаций. Уже все континенты в мире связаны между собой волоконно-оптическими линиями связи. В 2000 году в мире было проложено 90 млн км оптического волокна, и это количество возрастает. Скорости передачи информации по одному волокну достигают в последнее время значений 1 Тбит/с. Без современной волоконно-оптической связи в настоящее время не могла бы работать сеть Интернет. Таким образом, спустя практически 150 лет связь снова стала оптической! ■