



Волоконно-оптическая связь

Ю. НОСОВ

ПОЖАЛУЙ, больше всего поразила и обрадовала будничность этого сообщения, вклиненного в пятиминутке «Маяка» между «курс доллара на вчерашних торгах...» и «прогноз погоды...». То, чем «цивилизованный мир» «переболел» лет 10—15 тому назад, кажется, начинает входить и в российскую практику.

Телефонные разговоры, телевизионные программы, компьютерная информация — все это, закодированное в последовательности ультракоротких лазерных вспышек, передается на большие расстояния по тончайшему кварцевому волокну. Ново, необычно, непривычно. Хотя чисто внешне волоконно-оптическая линия связи (сокращенно ВОЛС) ничем не отличается от традиционной проводной: кабель, приемный и передающий модули по его концам, ретрансляторы (регенераторы), встраиваемые в кабель через определенные расстояния для восстановления ослабленного сигнала, коммутаторы там, где линия разветвляется, разъемы, соединяющие все в единое целое (рис. 1). Конечно «начинка» всех этих блоков — волокна, лазеры, фотодиоды, оптико-электронные переключатели — придают им новые качества, но что там внутри, разве увидишь?

...Еще в 1972 году в окрестностях английского города Бирмингема была проложена одна из первых волоконных линий связи длиной в несколько десятков километров, в 1976 году на восточном побережье США начала функционировать ВОЛС длиной 1000 км, а в 1984 году оптическое волокно «нырнуло» под Ла-Манш. Вслед за этими, скорее демонстраци-

*«... японский город Ниигата, российский Находка и южнокорейский Пусан соединила волоконно-оптическая линия связи, проложенная по дну океана...»
(ИТАР ТАСС, 20.01.95)*

онно-рекламными, проектами началась серьезная работа буквально во всех уголках мира. В 1988—89 годах была введена в эксплуатацию первая трансатлантическая проводная ВОЛС (ТАТ-8), соединившая США с Англией и отвечающая на загадочные Бермудские острова. В 1990 году десять стран, в числе которых Италия, Турция, Греция, Израиль, осуществили подобный проект в Средиземноморском регионе. Транстихоокеанская волоконная линия связи протяженностью 8,3 тыс. км (!) протянулась от США к Японии, разветвленная оптическая сеть соединила Новую Зеландию, Австралию и Юго-Восточную Азию. В начале 90-х годов интерес к сверхдальним морским и сухопутным волоконным линиям как бы ослаб, по крайней мере в США и Западной Европе. Выявились что-то порочное, компрометирующее? Отнюдь. Просто насыщенность магистральными линиями в этих регионах оказалась столь велика, что чуть ли не до каждого дома остается каких-нибудь 80—100 км. Акцент сместился в сферу коротких ВОЛС: от магистралей к АТС, от АТС — к зданию и внутри него. А на горизонте, до 2000 года, создание разветвленных волоконно-оптических локальных сетей высокоскоростного обмена данными между компьютерами. Ведь давно ясно, что будущее «информационное общество» это не просто «много компьютеров», это еще и обязатель-

ная увязка их в единую систему, включающую «источники» информации, «хранилища» информации (в виде баз данных и знаний) и, наконец, пользователей.

Вот так шаг за шагом, от дальних морских и наземных магистралей к внутригородским абонентским каналам связи и локальным вычислительным сетям утверждает волоконно-оптическая связь свой триумф.

А началось все намного раньше... Волоконная оптика как оригинальное научно-техническое направление зародилось в конце пятидесятых годов, когда научились изготавливать специальные стеклянные волокна — высокопрозрачные, тонкие, гибкие (хоть на палец наматывая) и достаточно прочные. Их создание явилось технологическим венцом чуть ли не вековых метаний оптиков в поисках световодов, пригодных для передачи света по криволинейным траекториям. Еще во второй половине прошлого века эта проблема встала во всей своей реальности: то надо было осветить несколько помещений одной электрической дугой (ее удобнее «разжечь» где-то в сторонке), то дать свет пороховым цехам, но так, чтобы не взлететь на воздух. Пробовали, и не без успеха, полые зеркальные трубки, сплошные стеклянные и кварцевые волокна и даже потоки жидкости (вспомним фонтанные струи, подсвечиваемые из сопла), но все это было не то. Наконец нашли: двухслойное стеклянное волокно — сердцевина из состава с одним показателем преломления, оболочка с другим — великолепно передает световой поток от входного торца к выходному, удерживая его внутри сердцевины независимо от того, вытянуто ли волокно в струнку или свернуто бухточкой. Научились изготавливать жгуты, плотно и аккуратно прижимая волокна друг к другу, а затем склеивая и заполировывая по торцам. Научились обеспечивать строгую геометрическую заданность укладки волокон, причем не обязательно одинаковую для разных торцов. Все это оказалось не очень простым делом — ведь порой в



Рис. 1. Фрагмент волоконно-оптической системы связи

жгут объединялось до миллиарда (1) волокон.

Но зато появилось идеальное средство для подсветки в труднодоступных местах, для эндоскопии (сбылась мечта врача: «увидеть!»), для передачи изображений, для преобразования картин и световых полей (например, если сделать входной торец круглым, а выходной прямоугольным — что получится с передаваемым изображением?). Волоконная оптика кардинально преобразила многие разделы приборостроения, медицины, измерительной техники, ею заинтересовались специалисты по средствам отображения информации, логико-математическому анализу и даже... «соответствующие органы» (для зашифровки шпионских посланий). Серьезные монографии конца 60-х — начала 70-х годов, посвященные волоконной оптике, запестрели метафорами и восклицаниями типа «новая эра в развитии оптики», «преодолен извечный гнет прямолинейности распространения света», «оптика вновь занимает королевское положение в физике» и т.д. и т.п. Революционизирующую роль волоконной оптики сравнивали с полупроводниками, которые в тот период уже шагнули от транзистора к бескрайним перспективам микроэлектроники.

Но в восторженных песнопениях тех лет практически не слышен был псалом «Оптическая связь». Что делать — длина типичного жгута не превышала метра, а при попытках увеличить его хотя бы до размера комнаты светопередача уменьшалась до десятых и сотых долей процента. И это еще не все, быть может, даже и не самое главное. Что мог использовать «оптический связист» в качестве источника световых вспышек? Лампочку накаливания? Как ни старайся, но ввести в жгут удастся лишь ничтожную долю ее мощности, а инерционность процесса включения-выключения очень затрудняет кодирование световой информации. Однако — на дворе уже свежели новые ветры, скорее даже это была буря: пришла эпоха квантовой электроники.

В 1960 году были созданы первые лазеры, сначала рубиновые, потом газовые, а еще через пару лет и полупроводниковые. Полупроводниковые лазеры по мере их совершенствования (конечно, за этим сухим, безликим понятием — десятки физических открытий и технологических свершений, восторги и разочарования сотен

исследователей и инженеров!) дали технике почти идеальный генератор оптических сигналов — миниатюрный, экономичный, с остронаправленным световым лучом однородного спектрального состава и способный включаться-выключаться миллионы раз в секунду.

Вот тогда-то, в 1966 году, и была высказана вслух уже витавшая в воздухе идея волоконно-оптической лазерной связи. Были сформулированы требования к прозрачности волокна, при которой такая связь могла бы стать реальной и конкурентоспособной. Правда, прозрачность надо было увеличивать в сотни раз, и технологи не видели для этого реальных путей, но... Слово было сказано, а это главное.

Надо заметить, что первое, на чем себя попробовали только что народившиеся лазеры, была как раз оптическая связь: на крыше одного из зданий на Ленинском проспекте в Москве установили лазер, на крыше другого — фотодиод, подсоединили к каждому из них соответствующие электронные устройства, и оптическая телефонная линия стала явью. Подобными экспериментами в значительно более широких масштабах «баловались» в США, Японии, Англии... В 1970 году один из выпусков Трудов американского института радиоинженеров, весьма авторитетного в мире электроники, был специально посвящен «десятилетию оптической связи». После анализа на двухстах страницах различных лазеров и фотоприемников, условий и особенностей распространения световых лучей в атмосфере, опыта эксплуатации первых экспериментальных лазерных линий связи следовало общее откровенно пессимистическое резюме: оптическая связь не состоялась. ... По иронии судьбы именно в том же 1970 году в июле появилось короткое сообщение американской стекольной фирмы «Corning Glass» об изготовлении кварцевого волокна со столь малой прозрачностью, что лазерный сигнал мог пробежать по нему более километра с небольшим ослаблением. Световод, удовлетворяющий требованиям, теоретически сформулированным в 1966 году, был создан! В тот же год, когда фактически была похоронена идея открытой световой связи через атмосферу, занялась заря волоконно-оптической лазерной связи. Вот уж поистине «Король умер, да здравствует король!».

И началось. Чуть ли не ежемесячно сообщалось о новых рекордных достижениях в области кварцевых волокон, буквально за 3 года научились изготавливать достаточно прозрачные волокна длиной до нескольких десятков километров. Параллельно этому совершенствовались и полупроводниковые лазеры, именно в те годы и именно благодаря потребностям волоконно-оптической связи. Лазерные диоды, как их стали называть, заняли заметное место в полупроводниковой промышленности.¹ Старт, данный в 1970 году, менее чем за два десятилетия привел ВОЛС к триумфу (но отнюдь не к финишу!) — сегодня паутина из кварцевых волосков, общей протяженностью в десятки миллионов километров, опутала буквально весь земной шар. (Хотя, впрочем — почему мы говорим о волосках? Сердцевина современного, так называемого одномодового, волокна соотносится с волоском настоящей смоленской блондинки, как карандаш со стволом березки. А локоны этих праправнучек древних кривичей самые шелковистые и тонкие в мире.)

Пора, однако, от исторических пассажей перейти к сути ВОЛС. Опыт свидетельствует, что каждый новый технический прорыв, как правило, базируется на «трех китах»: физика — материал — технология. Физика светопередачи по оптическому волокну, этому чуду XX века, основывается на законах, ставших известными человеку одними из первых. Из глубины веков от народов Месопотамии и Египта пришла аксиома о прямолинейности распространения световых лучей, древние греки использовали закон отражения и качественно правильно понимали эффект преломления. Фактически закон преломления света был впервые сформулирован голландским математиком Виллебрордом Снеллиусом (1620 г.), а окончательное математическое обобщение геометрической оптики получила в знаменитой «Диоптрике» великого Рене Декарта (1637 г.).

¹ Начав с «обслуживания» волоконной связи, полупроводниковые лазеры так развились и усовершенствовались, что обеспечили, уже в 80-е годы, становление другого нового технического чуда — оптических запоминающих устройств. Сегодняшние лазерные плееры и оптические компакт-диски, как ни странно, ведут свою родословную от ВОЛС. Такие переплетения е техники скорее закономерность, чем случай.

Вспомним рисунок из учебника физики, иллюстрирующий закон преломления света. А теперь перевернем его так, что световой луч будет приходить из «стеклянного пространства» и падать на границу раздела стекло — воздух (рис. 2). Если мысленно падающий луч начать «прижимать» к граничной плоскости, то в какой-то момент преломленного луча в воздухе вообще не окажется (для луча 2 на рисунке 2) — вся энергия светового потока остается в стекле. В этом состоит эффект полного внутреннего отражения. Отсутствие преломленного

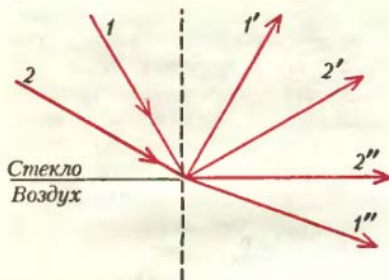


Рис. 2. Иллюстрация эффекта полного отражения света при падении лучей на границу раздела стекло — воздух

луча означает, что взгляд, брошенный в направлении падающего луча, не может прорваться через границу раздела. В этом вы можете убедиться сами, погрузившись в глубь моря или реки. Если посмотреть прямо вверх, тебя ослепит солнце на небе, а если взглянешь под косым углом, то увидишь лишь внутреннюю поверхность водной глади — в безветренную погоду она почти идеально зеркальна. Полное внутреннее отражение возникает при распространении лучей света в среде с большим, чем за границей раздела, показателем преломления n (в наших примерах это стекло или вода, граничащие с воздухом).

В классическом двухслойном световоде обеспечивается условие $n_c > n_{об}$, и все достаточно косые лучи (на рисунке 3 лежащие внутри угла ϕ_0) претерпевают полное внутреннее отражение, причем при каждой их встрече с отражающей границей. И хотя траектория каждого конкретного луча представляет свою ломаную линию, световой поток в целом распространяется по сердцевине вдоль оси волокна. Угол ϕ_0 определяет входную угловую апертуру световода, лучи внутри него называют апертурными, а

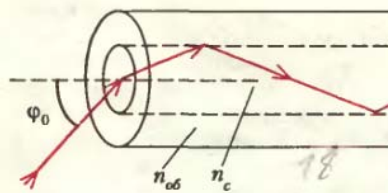


Рис. 3. Распределение световых лучей в двухслойном волоконном световоде

менее косые — внеапертурными. Внеапертурные лучи, падая на границу сердцевина — оболочка, каждый раз делят свою энергию между отраженным и преломленным лучами; преломленные лучи выходят в оболочку, а затем и вообще из волокна и безвозвратно теряются. Поэтому внеапертурные лучи называют вытекающими, апертурные — направляемыми, каналируемыми.

Существо рассуждений по рисунку 3 не изменится, если волокно изогнуть, но не слишком резко: все геометрические соотношения для углов падения, отражения и преломления остаются практически неизменными, только чуть-чуть уменьшается апертурный угол ϕ_0 . Световой поток послушно следует за всеми изгибами волокна, распространяясь по любой криволинейной траектории, но между каждыми последовательными актами отражения световой луч — это отрезок прямой, и закон прямолинейности распространения света, разумеется, не нарушается. Общая толщина волокна обычно близка к 0,1 мм, практически не искажая светопередачу, его можно наматывать на карандаш, хотя реальные условия применения столь сильных изгибов и не требуют.

Революционность технологического прорыва в создании сверхпрозрачных волокон связана с выбором кварца в качестве основного материала. Химически кварц это попросту диоксид кремния SiO_2 , в сверхчистом виде его можно синтезировать методом паразного осаждения, разработанным в 1970 году (рис. 4). Через раскаленную кварцевую исходную трубу пропускают газовую смесь четыреххлористого кремния (SiCl_4) и кислорода, под воздействием высокой температуры ($\sim 1400^\circ\text{C}$) в этой смеси протекает реакция с образованием кварца, который оседает на внутренней поверхности трубы. В процессе осаждения в поток добавляют газообразные реактивы, содержащие бор, фосфор, германий — эти присадки чуть-чуть уве-

личивают или уменьшают показатель преломления кварца. После получения слоев требуемых составов и толщин трубу нагревают еще больше до размягчения и «схлопывания». Полученную таким образом исходную

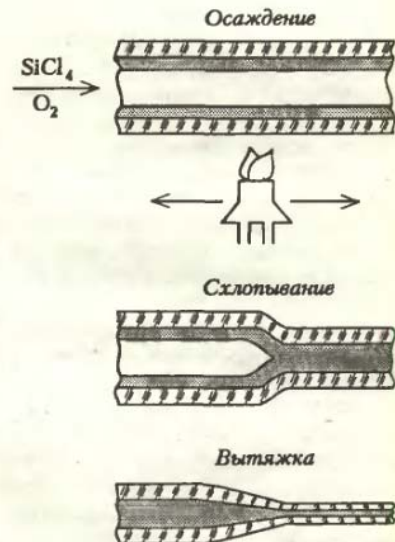


Рис. 4. Основные этапы изготовления кварцевого двухслойного световода

заготовку затем перетягивают через серию последовательно сужающихся фильер. Как стало модным писать: «Волокно? Это очень просто». Но когда согласишься на заводскую установку осаждения, оснащенную десятками датчиков, сигнализирующих в центральный компьютер о ничтожных отклонениях скоростей потока, составов, температуры от заданных, когда увидишь систему очистки газовых смесей, занимающую несколько комнат, то ощущение простоты что-то не возникает. А установка вытяжки волокна высотой с трехэтажный дом? А оставшиеся «за кадром» скрупулезнейшие исследования влияния примесей на изменение показателя преломления кварца (они нередко составляют лишь 0,001 к исходному $n = 1,43$)? А целая наука о причинах постепенного растрескивания волокон и о способах «залечивания» микротрещин, неизбежно образующихся на поверхности? И еще. Практически используется ведь не голенокое волокно, а волоконно-оптический кабель, который вне зависимости от нежнейшей начинки должен надежно противостоять тяжелейшим внешним воздействиям: резкие изменения температуры,

влаги, тумана, сильные натяжения и скручивания, удары и многое другое. Многие первые полевые эксперименты использования ВОЛС оканчивались крахом не потому, что волокно отказало, а просто... кабель съедали грызуны — оболочка не должна быть «вкусной», это тоже одно из требований.

Продолжить в том же духе можно бы и еще, благо когда-то автору довелось знакомиться с описанными премудростями не только по книгам. Но «вперед лети, моя история».

Получить волокна с высокой прозрачностью — это для целей оптической связи условие «необходимое, но не достаточное». Ведь информация кодируется последовательностью импульсов, значит, надо иметь возможность передавать по волокну именно световые импульсы, и чем короче они будут, тем выше окажется пропускная способность канала связи. Но если вернуться к рисунку 3, то нетрудно видеть, что разные лучи из числа апертурных проходят на пути распространения к выходному торцу различные расстояния: достаточно сравнить луч, падающий вдоль оси, с лучом, падающим под углом φ_0 . Это приводит к расплыванию импульса — из прямоугольного на входе он становится колоколообразным, размазанным на выходе. Соседние импульсы набегают друг на друга, возникают ошибки, сбой, а то и полная утрата информации.

К этой волноводной дисперсии добавляется еще и обычная «хроматическая» дисперсия — размытие импульса света, обусловленное зависимостью скорости света в кварце от длины волны. Все это в совокупности приводило к тому, что в первых волокнах 70-х годов при использовании тогдашних не слишком совершенных лазеров размытие импульса характеризовалось дисперсией ~ 40 нс/км. Это означает, что 10-километровая линия из такого волокна пригодна для одновременной передачи лишь нескольких телефонных разговоров — даже для того времени это было неприемлемо, а ведь надо было думать о будущем.

Началась увлекательная погоня за наносекундами, а потом и за пикосекундами — в который раз несовершенный человеческий мозг преодолел «теоретически непреодолимые» барьеры. Еще в 1973 году установили, что излучение с длиной волны $\lambda = 1,3 - 1,5$ мкм почти не подвергается дисперсии в кварце. И светопропускание в этой

области спектра во много раз выше, чем при $\lambda = 0,85$ мкм, а именно на такой длине работали тогдашние лазеры. Поэтому встал вопрос о переходе в новую спектральную область, что фактически потребовало создания и новой элементной базы. Но теперь уже физики не блуждали в потемках, как при создании первых лазеров, а двигались по инженерному расчетливо и планомерно. Был синтезирован новый класс полупроводниковых соединений, включающих четыре переменные компоненты: индий — галлий — мышьяк — фосфор. Варьируя состав, можно было «выходить на цель» в части требуемой длины волны излучения. Оказалось также, что взаимовлияние компонентов друг на друга позволяет получать структурно совершенные лазерные кристаллы, что всегда оставалось проблемой для их коротковолновых предшественников, изготавливаемых из тройного соединения: галлий — алюминий — мышьяк (заметим здесь, что и $\lambda = 0,85$ мкм и $\lambda = 1,3 - 1,5$ мкм относятся к инфракрасной невидимой части спектра, поэтому-то и используется обычно понятие «оптическая», а не «световая» связь).

Для борьбы с волноводной дисперсией пришлось вспомнить о световых волнах² и обратиться к строгому анализу уравнений Максвелла, описывающих их поведение. Оказалось, что если диаметр сердцевины волокна уменьшать, то число лучей, которые «имеют право» в нем распространяться, становится все меньшим и меньшим. Мы не оговорились — именно число лучей. Теория показывает, что для волокна справедлива та же ситуация, что и для СВЧ-резонаторов в части радиоволн, т.е. имеет место их квантование. «Разрешенные» волны (и соответствующие им световые лучи) называются модами, по сути дела каждая мода — это волна со своим углом падения, направлением поляризации, длиной волны.

Итак, уменьшая диаметр сердцевины, можно прийти к тому, что по волокну будет распространяться лишь одна мода; говоря на языке рисунка 3, при этом остается лишь осевой луч. Так начали развиваться одномодовые волокна с диаметром сердцевины

~ 5 мкм и с ничтожно малой волноводной дисперсией, именно они и составляют основу современной высокоскоростной волоконно-оптической связи.

Вот так шаг за шагом научились изготавливать сверхпрозрачные и лишённые дисперсии волокна и на их основе создавать линии оптической связи. Остается ответить лишь на один вопрос — а для чего это, собственно говоря, нужно? Зачем в передающем модуле электрический сигнал с помощью лазера преобразуется в световой, свет «вгоняется» в тончайшее волокно, распространяется по его сердцевине на десятки километров, на выходном конце воспринимается фотодиодом и в приемном электронном модуле вновь преобразуется в электрический сигнал, в точности подобный изначальному? Иными словами, какими достоинствами обладают волоконно-оптические линии связи в сравнении с традиционными проводными и радиорелейными?

Первое, важнейшее, достоинство ВОЛС — это ничтожно малое затухание сигнала в волокне: расстояние между ретрансляторами может свободно достигать 100 — 200 км, что во много раз превосходит тот же показатель у проводных линий. Но и это не предел — теоретические оценки показывают, что в спектральной области $\lambda = 2 - 2,5$ мкм можно замануться на передачу без ретранслятора на 1000, а то и на 10000 км! Конечно, для этого надо будет заменить и кварц, и лазеры, и фотодиоды — но разве это уже не приходилось проделывать в прошлом?

Второе достоинство ВОЛС — это их высочайшая пропускная способность: скорость передачи в десятки Гбит/с уже давно перестала быть рекордной, а типовые значения составляют сотни Мбит/с. Предполагается, что стандарт скорости передачи данных для локальных сетей 2000 года составит 1 Гбит/с — по такому каналу полный текст всех 30 томов Большой Советской Энциклопедии проскочит менее чем за 1 с. Но разумеется, и в этом вопросе ВОЛС имеют кое-что в запасе на будущее, причем не только «немного здесь» и «немного вот здесь», но и принципиально новое. Оказывается, если одновременно пропускать по волокну потоки световых импульсов с чуть-чуть отличающимися длинами волн, то они не смешиваются друг с другом и на приемном конце могут быть разделены. Благодаря это-

²Представление о лучах света есть идеализация геометрической оптики; оно справедливо до тех пор, пока длина волны света ничтожно мала по сравнению с размерами рассматриваемых объектов.

му можно увеличить в десятки, а то и в сотни раз пропускную способность уже проложенных коммуникаций. Но и это не все. Если ввести в волокно лазерные импульсы повышенной мощности, то образуются так называемые солитоны (одиночные волны), которые при распространении не только не расплываются, но могут даже сужаться. Скорость передачи информации может достигать 1 Тбит/с! Существенно, что все это не теоретические домыслы — многое уже подтверждено в лабораториях. Но волновая связь удивляет не только фактическими цифрами, но и новыми свойствами, которых нет вообще у проводных линий.

Вспомним, что, в отличие от электрона, фотон — переносчик информации в ВОЛС — не имеет электрического заряда, поэтому световой сигнал, распространяющийся по волокну, совершенно нечувствителен к внешним электромагнитным воздействиям. А воздействия эти уже давно перестали быть просто случайными помехами. К традиционным разрядам молний добавились бесчисленные радиопередатчики, электродвигатели, силовые ядерные установки. В больших городах, на крупных промышленных объектах нередко образуется «электронный смог», удушающее действие которого особенно чувствительно для слаботочной аппаратуры. Сколько авиакатастроф произошло по причине наведенных сбоев в компьютерах и линиях связи систем управления! А во-

локонным линиям не нужна тяжелая и дорогостоящая экранировка, они защищены от помех самим принципом своей работы.

Но традиционная радиоаппаратура не только подвержена действию электромагнитных волн, она и сама их излучает — что поделаешь, законы Ампера и Фарадея никто не отменил. На этой ниве расцвел радиопрошпионаж, сверхпроникающее действие которого уже перестало удивлять. И только ВОЛС, у которых скрытность передачи сообщений заложена в самой физике, позволяют гарантированно увериться от несанкционированного доступа к информации. Автору знакомо довольно крупное отечественное предприятие, которое живет заказами на ВОЛС для Кремля и Лубянки, и неплохо живет!

Пойдем дальше. Волоконные кабели могут быть очень легкими и компактными, в десятки и даже сотни раз легче металлических. Разработан беспилотный самолет-разведчик, летающий вдоль фронта и передающий в штаб телевизионное изображение позиций противника по волокну, свободно сматывающемуся с барабана. Нередки случаи «привязки» метеорологических аэростатов к Земле с помощью оптических волокон — километр специального кабеля может иметь массу менее 1 кг, а его прочность на разрыв превышает 300—400 Н.

И наконец. Каждое новое техническое решение лишь в том случае может

действительно «победить» традиционное, если оно обеспечивает выигрыш в стоимости. Вспомним, что основу металлических кабелей составляет медь и свинец — не только очень дорогие, но и довольно редкие в земной коре. Когда в 70-е годы прогнозировали развитие телефонии до 2000 года (тогда такие прогнозы были в моде), то получалось, что всю добытую из недр медь пришлось бы вновь закопать в землю в виде телефонных кабелей. Неплохой бы получился «круговорот меди» в природе! Волоконные кабели — по крайней мере в принципе — могут быть дешевы. Известно, что после того как преодолены первоначальные технологические и аппаратные трудности и создано массовое производство, стоимость изделий определяется, главным образом, стоимостью исходного сырья и энергозатратами. Волокно изготавливается из кварца, а он из обычного песка, запасы которого несметны. Правда остается открытым вопрос о дороговизне лазеров и фотодиодов, но кажется и здесь пути удешевления нащупываются.

Согласитесь, что физики, технологи, конструкторы, электронщики потрудились не зря — уж очень впечатляет этот пышный букет разнообразных достоинств ВОЛС. Один из апологетов волоконной связи сопоставил ее по значимости с изобретением паровой машины, электрической лампочки, транзистора... И это так!

«КВАНТ» УЛЫБАЕТСЯ

СКОЛЬКО НОГ У СТРАУСА?

Как вы думаете, может ли юмор быть логичным? На первый взгляд это «две вещи несовместные». Но если присмотреться повнимательней, оказывается, что найти совсем уж нелогичную, абсурдную шутку довольно трудно. Иногда анекдот даже слишком логичен, что и создает юмористический эффект. Вот вам образец.

Учитель: Ивица, ты написала очень хорошую работу, но она точно такая же, как у Марка. Что я должен думать?

Ивица: Что работа Марка тоже очень хорошая.

Не правда ли, девочка ответила в лучших традициях аристотелевой логики? А смогли бы вы сами закончить этот анекдот, не зная ответа Ивицы? Я давала это задание школьникам и практически никто его не решил. Типичный ответ: «Это он у меня списал». А один участник

олимпиады по логике ответил так: «Ивица покраснела и ничего не сказала». Видимо, слишком силен был здесь «фон», создаваемый знакомой ситуацией.

Ну а теперь, если вы хотите потренировать свое умение мыслить логически, найдите завершение нескольких анекдотов.

1. **Тетя Дороти:** Джонни, сколько существует заповедей?

Джонни (бойко): Десять!

Тетя Дороти: А что будет, если нарушишь одну из них?

Джонни (мечтательно): ...

2. — Что с тобой, ты весь забинтован!

— Столкнулся с летающей тарелкой!

— Что ты говоришь?! Где же?

— ...

3. Сын приносит из школы новую книжку.

— Это премия, — сказал он.

— Премия? За что, дорогой?

— Нас спросили, сколько ног у страуса, и я ответил «три».

— Но ведь у страуса только две ноги!

— Да, но остальные ученики ...

4. — Джонни, больше не играй с Питером! Он очень плохой мальчик!

— А я хороший?

— Да, милый, ты очень хороший!

— Так значит ...

5. — Где ты был в выходные?

— Ездил ловить карасей.

— И много поймал?

— Ни одного.

— Так откуда же ты знаешь, что ...

6. — Бабушка, зачем ты красишь волосы?

— Чтобы быть молодой, никогда не умереть.

(Продолжение см. на с. 45)