

От оптического кабеля к оптическому проводу — ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОДХОД

Статья посвящена описанию новой конструкции волоконно-оптического кабеля. Кабели с такой конструкцией можно производить с небольшим значением форм-фактора: проводить монтажные работы с ними так же легко, как с медным проводом, или даже проще. В настоящее время большая часть световодов является составляющей таких конструкций кабелей, которые соответствуют общепринятому протоколу конструирования кабеля. В его основе лежат три основных типа конструкции кабелей: со свободной укладкой волокна в защитной трубке, ленточная конструкция или трубчатый плотный модуль. Для проведения монтажных работ с этими кабелями используется весьма специфическая технология их прокладки, при которой необходимо соблюдать специальные меры предосторожности. Поэтому специалисты-монтажники, привыкшие работать с медным кабелем, должны пройти дополнительное обучение.

Однако необходимость работать с оптическим волокном становится все более очевидной по мере того, как поперечные размеры кабелей уменьшаются, и такие области применения оптического волокна, как центральные офисы, центры данных предприятия, сеть «из дома в дом» или компьютеризованное рабочее место, требуют все большей плотности прокладки волокна.

Использование оптического кабеля, с которым можно работать так же, как и с медным кабелем, повысит эффективность его прокладки и монтажа, если учитывать сокращение времени, упрощение монтажа и снижение стоимости работ.

Уэйн КЕЧМАР (Wayne KACHMAR)
wayne.kachmar@te.com
Перевод: Святослав ЮРЬЕВ

Введение

В последние годы появилось много новых технических и технологических решений, обеспечивающих создание более совершенных волоконно-оптических кабелей, например волокно с уменьшенным допустимым радиусом изгиба (RBRF), нанокompозитные материалы для изготовления наполнителей, новые материалы для упрочняющих элементов, новая технология разъемных соединений, новые законодательные документы (RoHS, REACH), ограничение величины отношения размер/цена. Однако волоконно-оптический кабель является сложным продуктом, отдельные элементы которого (волокно с буферным покрытием, оболочка из полимерного арамидного волокна) не подвергаются изгибам. Для таких условий были разработаны различные требования к прокладке и монтажу, соответствовавшие ситуации со свободно уложенным сердечником. Во многих случаях кабели выдерживали механические нагрузки при прокладке за счет агрегатной прочности или за счет использования материала с повышенной

прочностью на разрыв. Предпринимались многочисленные попытки проводить аналогию между волоконными и медными продуктами. Но, в отличие от других изделий специального назначения, подобных волокнам для управления торпедами, реальных волоконно-оптических аналогов проводам не было создано.

Как правило, кабели содержат один или несколько изолированных проводников и дополнительные структурные элементы для обеспечения выполнения требований по механическим нагрузкам, устойчивости к влиянию окружающей среды и т. п. До настоящего времени в большинстве конструкций волоконных модулей использовали свободную укладку оптического волокна для того, чтобы обеспечить выполнение технических требований, предъявляемых к оптическому кабелю: даже в кабеле с одним оптическим волокном, когда защита минимальна. Многие случаи повреждения волокна в кабеле являются прямым следствием того, что персонал, осуществляющий прокладку оптического кабеля, не знаком со специальной технологией прокладки, которую необходимо использо-

вать при монтаже симплексных или дуплексных волоконно-оптических кабелей. Таким образом, возникает необходимость работать с волокном во многом так, как с медным проводом, в отношении удобства проведения монтажных работ, поскольку волокно все чаще используется в тех областях, где ранее применяли только медный кабель.

Многие специалисты по монтажу кабелей считают, что во время монтажных работ с волокном можно использовать те же методы, что и при работе с медными проводами. Однако стекло все еще является стеклом, и на рабочие характеристики стандартных волоконных кабелей может негативно повлиять использование неправильной технологии прокладки и монтажа.

Сейчас технические решения, связанные с применением оптических систем передачи, предоставляются значительно большему, чем ранее, числу пользователей. Многие монтажники-профессионалы обладают богатым опытом по прокладке и монтажу медных кабелей. Но все же они, по крайней мере большая часть из них, не имеют практических навыков работы с волоконно-оптическими ка-

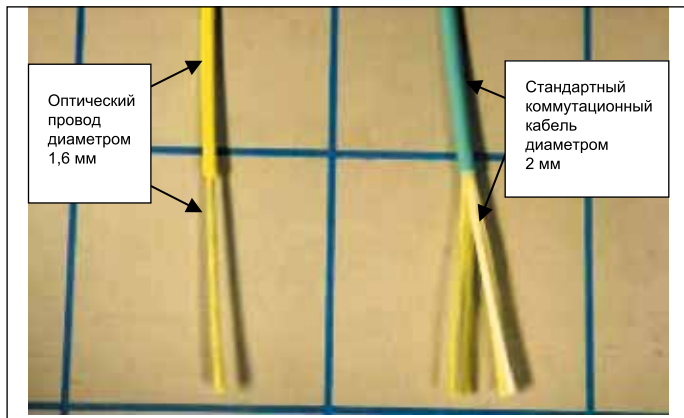


Рис. 1. Новый оптический кабель диаметром 1,6 мм и стандартный коммутационный кабель

белями, которые они теперь вынуждены прокладывать и монтировать. Следовательно, производители волоконных кабелей должны научиться их приемлемой технике работы с этими кабелями. И что еще более важно: для того чтобы повысить привлекательность волоконно-оптических систем в новых областях применения, мы должны конструировать изделия, с которыми при прокладке, монтаже и техническом обслуживании можно работать примерно так же, как с медными изолированными проводниками.

Новые оптические световоды сделали такие решения жизнеспособными, но производители должны продолжать развитие и проектирование кабелей (проводов), удобных для монтажа, которые соответствуют требованиям пользователей. Таким образом, появился новый класс волоконно-оптической продукции (рис. 1).

Конструкция, представленная нами, разработана с помощью методов геометрического проектирования. Она содержит сердечник, в центре которого располагается оптическое волокно. Волокна-наполнители удалены, и вместо них используются геометрически правильно расположенные упрочняющие элементы. Они выполняют разнообразные функции, такие как плотное соединение защитной оболочки оптического волокна с внешней оболочкой (для облегчения ручной протяжки кабеля), что обеспечивает надежный доступ к оптическому волокну для осуществления сплавных или разъемных соединений. (Защитная оболочка предохраняет волокно от поперечных разрушающих нагрузок.)

Как и для всех функциональных устройств систем связи, при улучшении их технических характеристик стоимость этих устройств должна оставаться приемлемой. Конструкции должны соответствовать новым, более жестким требованиям, но если они имеют более высокую стоимость и их сложнее изготавливать, то они не имеют будущего. Необходимо наладить серийный выпуск новых кабелей с помощью типового оборудования при приемлемом уровне выхода готовой продукции в соответствии с требованиями к качеству.

Проблемы, которые должны решаться с помощью «оптического провода»

Стандартные симплексные/дуплексные волоконно-оптические кабели, разработанные в течение последних 30 лет (или ранее), в своей основе имеют модули со свободной укладкой волокна в защитной трубке с упрочнением посредством арамидных волокон. Стекловолоконное волокно помещается в центре пучка таких волокон в полимерной буферной трубке для предотвращения недопустимых изгибов или механических воздействий. Арамидные волокна расположены так, что на обоих концах кабеля можно монтировать разъемы. Следовательно, если к разъему приложить растягивающее усилие, то оно прикладывается к нерастягивающимся волокнам: именно они и принимают на себя эту нагрузку, а не оптическое волокно или защитная оболочка (рис. 2). Проблема с усилением оптических кабелей таким способом состоит в том, что если мы прикладываем растягивающее усилие (требуемое

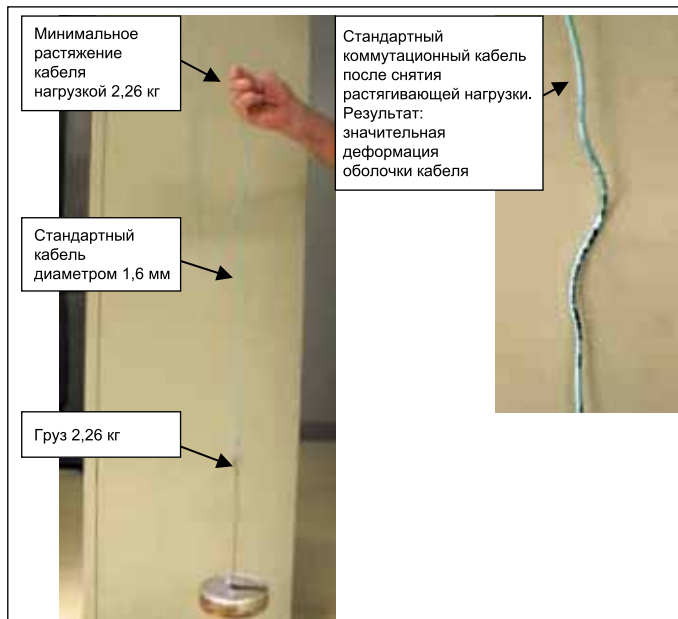


Рис. 2. Экспериментальная установка для моделирования нагрузки (2,26 кг), прилагаемой к оболочке стандартного коммутационного кабеля, при его ручной протяжке

для протяжки при прокладке кабеля) к изоляции, как если бы это были медные провода, то в действительности мы тянем за деталь из полимерного пластика, обладающего очень небольшой прочностью на разрыв. Тянутое усилие, приложенное к полимерной оболочке в течение определенного времени, растягивает полимер, но длина стеклянного волокна не изменяется. Это ослабляет механическую связь волокна с защитными элементами и полимерной оболочкой, что приводит к поперечному сморщиванию оболочки и нежелательному перемещению волокна в буферной оболочке при наличии избыточной длины на одной стороне растягиваемого кабеля и появлению растяжения на другом его конце. Как правило, результатом является рост затухания волокна из-за макроизгибов, а также превышение нормы на допустимую величину изгиба оптического волокна. Эти факторы могут существенно сократить срок службы кабеля.

При разработке волоконных кабелей диаметром 3 мм оболочки можно делать относительно толстыми — в некоторых случаях почти в 1 мм толщиной. Это обеспечивает небольшое увеличение прочности пластикового полимера, что соответствует увеличению величины продольной нагрузки, при которой полимер начинает растягиваться.

И ранее для монтажников большое значение имели характеристики пригодности кабеля к монтажу. Сейчас же требуется более плотная прокладка кабелей, по этой причине волоконные кабели должны иметь по возможности минимальный диаметр. Отсюда вытекают два следствия. Во-первых, толщину оболочки кабеля нужно уменьшить, насколько это возможно, и во-вторых, для протягивания кабеля требуется приложить меньшее усилие для размещения в кабелепроводах и лотках большего количества волокон. При этом оба этих фактора могут оказывать влияние на надежность и рабочие характеристики волокна.

Когда протягивают волоконные кабели меньшего диаметра, их оболочки растягиваются. Поскольку со временем они сморщиваются, появляется трение, достаточное для того, чтобы двигать волокна в защитной оболочке в обратную сторону. Это явление приводит к тому, что в некоторых местах волокно становится избыточным, то есть, когда кабель сжимается по длине, появляются микроизгибы. Если диаметр оптического кабеля был уменьшен до 1,6 мм, это явление было вызвано небольшим усилием — всего в несколько унций (1 унция = 28,35 г), а не усилием в несколько килограммов. Следовательно, по мере того как диаметр оптических кабелей становится меньше, техника обращения с ними во время прокладочных и монтажных работ должна становиться все более деликатной.

Эта новая категория теперь известна как «кабели с малым форм-фактором», поскольку они больше не могут проходить те же испытания, что и их большие по диаметру аналоги. Продольные нагрузки составляют от 10 до 4 кг, при этом требуется минимальное количество арамидных волокон и уменьшается толщина оболочки.

Перед нами стояла задача разработать новую типовую конструкцию волоконного кабеля для ряда изделий с малым форм-фактором, которые могли удовлетворять требованиям более уплотненной прокладки и обладать одновременно продольной прочностью, как у медного провода, что могло бы позволить производить прокладку и монтажные работы без повышения затухания кабеля и ухудшения других его характеристик. При решении этих задач принимались во внимание три основных фактора — прочность, осуществление соединений и тепловой баланс.

Достижение прочности, как у меди

Разработка волоконно-оптического кабеля диаметром 1,6 мм с прочностью медного была нашей первоочередной задачей. Монтажники должны иметь возможность протягивать кабель по прямой линии без необходимости соблюдать предосторожности по предотвращению повреждения оболочки. В то же время ее толщина должна быть равна примерно одной трети толщины обычной оболочки. Свободное пространство вокруг волокна необходимо уменьшать для того, чтобы максимально снизить диаметр кабеля. Однако кабель должен проходить все испытания на удары, прочность на разрыв и поперечную прочность.

При монтаже кабелей с малым форм-фактором волокно в действительности может перемещаться от одной стенки оболочки к другой, когда волокна-наполнители смещаются. Если это происходит, волокно оказывается менее защищено, что не соответствует концептуальной цели разработки новой конструкции.

Для защиты волокна использовалась специальная техника его обмотки вдоль продольной оси материалом с клеящейся матрицей. Обмотка осуществлялась в несколько слоев. Такая продольная обмотка обеспечивает центровку волокна. При этом только очень тонкая оболочка контактирует с обмоточной лентой. Это контактное соединение дает возможность монтажникам прикладывать необходимые для протяжки кабеля усилия или вручную укладывать кабель, не растягивая оболочку. Притом что лента и оболочка представляют собой, по сути, одно целое, с волоконным кабелем можно работать во многом так же, как с медным проводом (принимая во внимание прочность на разрыв).

В настоящее время доступны многочисленные типы микрокабелей, и во всех, как правило, используются арамидные нити, намотанные на волокно. Но ни в одном типе кабелей нет реального соединения волокна, наполнителя и оболочки. Наш кабель уникален, поскольку в нем используется арамидная лента вместо волокнистого наполнителя (рис. 3). Эту ленту можно наносить на волокно с помощью стандартного обмоточного оборудования, применяемого при изготовлении медных кабелей или проводов. Для разделки этих кабелей можно даже использовать ножницы Линемана: впервые стало возможным работать с волокном в оболочке без применения специального оборудования.

Следует заметить, что применение в нашей конструкции волокна типа RBR повышает удобство работы с новыми волоконными продуктами. RBR быстро становится стандартом в оборудовании сетей FTTN и центральных офисов/центров обработки данных. Кабели меньших поперечных размеров можно прокладывать с изгибами по трассам различной конфигурации, используемым для соединения модулей разного типа при разнообразных условиях проведения монтажных работ.

Соединение волоконно-оптических кабелей

Изгибы ленты и оболочки создают новую проблему при соединении. Одновременный изгиб двух элементов конструкции приводит к тому, что исчезает пространство, необходимое для того, чтобы волокно могло выдвигаться из разъема в обратном направлении (рис. 4). Следовательно, необходимо переработать конструкцию разъёмов специально для использования с этими новыми волокна-



Рис. 3. Новый геометрический упрочняющий элемент в сравнении со свободно уложенными упрочняющими волокнами

ми. При этом нужно принимать во внимание отсутствие возможности для волокна двигаться в обратном направлении в оболочке. Обычно в волоконно-оптических кабелях волокно может перемещаться в оболочке в обратном направлении на величину до 2 мм, что достаточно для монтажа разъемов.

В итоге были разработаны разъемы, конструкция корпусов которых компенсирует недостаточность свободного пространства в защитных оболочках. Эти разъемы соответствуют требованиям стандарта GRS 326 (или превосходят их).

Тепловой баланс

Поскольку лента и оболочка соединены и окружают стекло, необходимо было обеспечить способность кабеля работать при стандартной температуре эксплуатации. Каждый материал — стекло, лента и оболочка — имеют различные значения коэффициента теплового расширения. Это означает, что каждый материал внутри кабеля будет расширяться или сжиматься в различной степени при разных

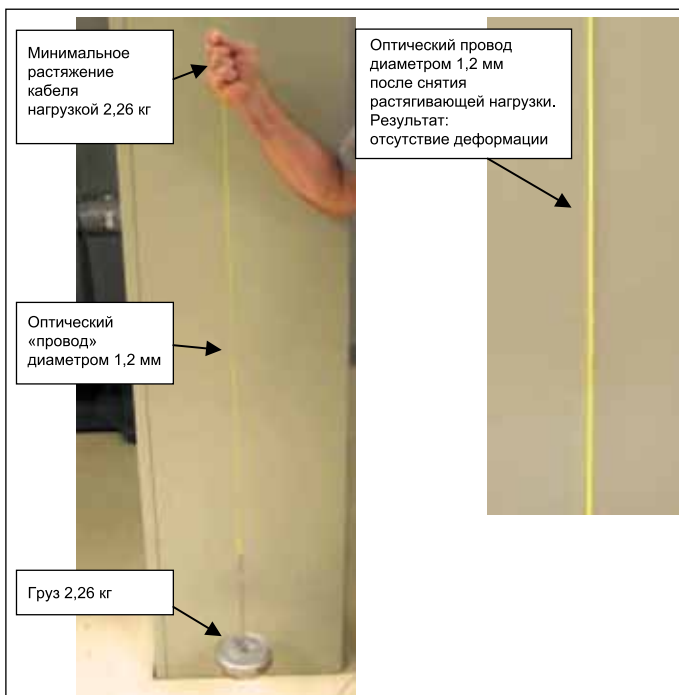


Рис. 4. Экспериментальная установка для моделирования нагрузки (2,26 кг), прилагаемой к коммутационному кабелю диаметром 1,2 мм, при ручной протяжке кабеля

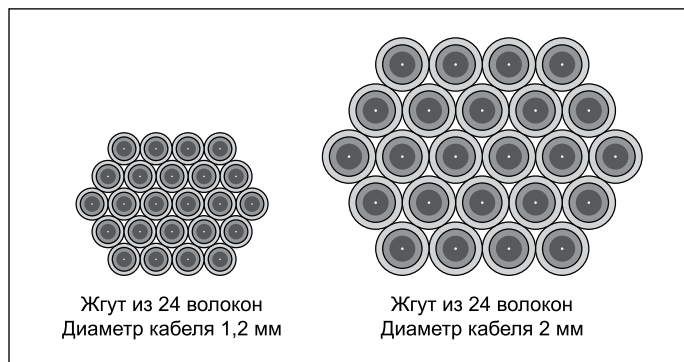


Рис. 5. Сравнение кабелей диаметром 1,2 и 2 мм

значениях температуры. Например, пластмасса обычно расширяется и сжимается на величину, которая на два (или более) порядка больше, чем у стекла.

Разрабатывая наше новое волокно, мы использовали тот факт, что арамидное волокно имеет отрицательный коэффициент линейного расширения. При жестком соединении всех компонентов конструкции вместе большая часть влияния различного изменения коэффициентов линейного расширения была виртуально нейтрализована. В итоге, что касается расширения и сжатия, кабель ведет себя почти так же, как стекло, в диапазоне от -40 до $+70$ °C при минимальных изменениях затухания волокна. Обычно кабели, используемые для прокладки в зданиях, работают при температуре от 0 до $+50$ °C (в соответствии с требованиями стандартов).

Заключение

Сейчас оптическое волокно все чаще применяется там, где раньше преимущественно использовалась медь, поэтому нельзя недооценивать необходимость для волоконных кабелей иметь такие же, как у медных кабелей, возможности осуществления прокладных и монтажных работ. Оптические кабели должны обладать достаточной прочностью для протяжки через кабельную канализацию, для их скрутки и изгибания — аналогично медным кабелям — без заметного влияния на их рабочие характеристики.

Уменьшить пространство, занимаемое кабелями, можно при разработке новых конструкций, в которых устранен воздух и свободное пространство внутри кабеля (рис. 5). Замена волокон-наполнителей из арамида обмоточной лентой и соединение элементов конструкции кабеля в одно целое являются новыми шагами в эволюции малогабаритных оптических микрокабелей. Это, в свою очередь, расширяет область применения систем передачи для большего числа пользователей, так как обеспечиваются оптимальные значения плотности и гибкости при эксплуатации волоконных кабелей на предприятиях, в учреждениях и т. п.

Автор выражает благодарность за помощь Кену Нардону (Ken Nardone), Генри Райсу (Henry Rice), Биллу Якобсену (Bill Jacobsen) и Али Фахду (Aly Fahd) за предоставление данных и информации об испытаниях для этой статьи.

Примечание. Статья опубликована в *Proceedings of the 61st IWCS Conference (2012 г.)* и в Интернете: <http://iwcs.omnibooksonline.com/data/papers/2012/P-2.pdf>.

Литература

1. TIA-455A Fiber Optic test procedures.
2. Telcordia GR-409-core issue 2.
3. Telcordia GR-326-core issue 4.
4. ITU 657.A 2009-11.
5. Griffoem W. Reliability of Bend Insensitive Fibers. Draka Communications. Proceedings of the 58th IWCS.
6. Cattelan S. Macrobending Loss in Bend Insensitive Fibers: A Statistical parameter? Prysmian SpA, Proceedings of the 58th IWCS.