



МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Боев М.А., доктор технических наук, профессор,
ЗАО "Москабельмет"

Нестерко В.А., аспирантка, ОАО "ВНИИ КП"



Ситуация с производством в России оптических кабелей (ОК) за последние годы изменилась к лучшему. Налицо все предпосылки для того, чтобы отказаться от импортных поставок.

Кабельные заводы оснащены современным оборудованием и способны поставлять ОК, отвечающие требованиям международных стандартов. При этом в отечественных ОК в основном применяют высококачественные материалы, включая оптические волокна (ОВ) лучших зарубежных фирм.

Оптическое волокно бывает двух видов - многомодовое и одномодовое. Постоянное стремление повысить скорость работы сетей связи и необходимость обеспечения их высокой пропускной способности при низких затратах заставляет разработчиков модернизировать ОВ. Некоторые из существующих ОВ с улучшенными эксплуатационными показателями приведены в табл. 1; здесь же представлены геометрические характеристики и значения максимальных коэффициентов затухания, коэффициентов широкополосности и максимальной дисперсии для употребляемых в настоящее время одно- и многомодовых ОВ на длинах волн 850, 1300 и 1550 нм.

В целом многомодовое волокно наиболее подходит для передачи данных на небольшие расстояния. Большой диаметр сердцевины - 50 или 62,5 мкм - позволяет использовать относительно недорогую аппаратуру связи. Одномодовое волокно лучше использовать для передачи информации на дальние расстояния (более 2 км), однако, оно требует применения более дорогих коннекторов и передатчиков.

Цифры в марке волокна (например, 50/125) обозначают диаметр сердцевины, по которой распространяется свет (50 мкм), и диаметр внешней оболочки волокна (125 мкм). Одинаковый внешний диаметр оболочек всех

видов указанных ОВ обеспечивает почти полную идентичность их механических свойств.

Стоит отметить, что оптические свойства волокон широко варьируются. При разработке волокон точно рассчитывают величину показателя преломления для каждого вида изделия, что позволяет пропускать свет по волокну с определенными характеристиками - такими, как ширина полосы пропускания и затухание.

Для сведения к минимуму модовой дисперсии в многомодовом волокне используется градиентный (параболический по форме) профиль показателя преломления. Такое техническое решение обеспечивает максимальную ширину полосы пропускания при достаточно низком уровне затухания. В случае многомодовых волокон ширина полосы пропускания является главным лимитирующим фактором при проектировании линий связи. Разработчики сегодня предпочитают использовать волокно с диаметром сердцевины 50 мкм, поскольку в окне прозрачности около 850 нм оно обладает почти трехкратным преимуществом по широкополосности по сравнению с волокном, имеющим диаметр сердцевины 62,5 мкм (то есть здесь ширина полосы пропускания составляет не 160, а 400 МГц*км).

Одномодовое волокно разработано для передачи только од-

ной моды света, поэтому в нем отсутствует модовая дисперсия, свойственная многомодовому волокну. Таким образом, применение одномодового волокна в системах ограничено величиной затухания и стоимостью системы, но не шириной полосы пропускания.

Поставщики ОВ применяют различные технологические процессы для изготовления волокна, и это - ключевой фактор с точки зрения получения неизменных геометрических размеров волокна и его передаточных характеристик. Так, компания Corning (США) использует процесс наружного осаждения (OVD), в то время как большинство других поставщиков применяют модифицированный процесс внутреннего осаждения (MCVD).

Выбор типа ОВ определяется используемой аппаратурой передачи сигналов и не влияет на конструкцию кабеля.

Отличительная особенность всех ОК - высокая чувствительность основного функционального элемента (ОВ) к механическим воздействиям и влияниям окружающей среды.

Перед изготовлением кабеля ОВ окрашиваются лаками - растворами пленкообразующих веществ в органических растворителях. Тонкие слои лака высыхают, образуя твердые прозрачные покрытия, назначение которых - защитить волокна от агрессив-

Таблица 1.

Геометрические и передаточные характеристики одно- и многомодовых оптических волокон, определенные при комнатной температуре.

Наименования и код ОВ	Многомодовое		Одномодовое			
	1	0	2	6	4	3,5
Рекомендация МСЭ-Т	G-651		G-652	G-652	G-654	G-653 G-655
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ						
Диаметр отражающей оболочки, мкм	125±1	125±1	125±1	125±1	125±1	125±1
Диаметр по защитному покрытию, мкм	250+15	250+15	250+15	250+15	250+15	250+15
ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ						
Рабочая длина волны, нм	1300	1300	1310 1550	1275...1620	1550	1550
Максимальный коэффициент затухания, не более, дБ/км, на длине волны:						
1300 нм						
1310 нм	0,7	0,7	-	0,36	-	-
1385 нм	-	-	0,36	0,36	-	-
1550 нм	-	-	-	0,32	-	-
	-	-	0,22	0,22	0,2	0,22
Коэффициент хроматической дисперсии, не более, пс/(нм ² км), в интервале длин волн:						
1285 - 1330 нм			3,5	3,5		
1525 - 1575 нм			18	18	20	2,5-6,0
1565 - 1620 нм (G.655)			-	-	-	4,0-8,6
1550 нм (G.653)			-	-	-	3,5
Коэффициент широкополосности, не более, м ² и ² /км, на длине волны, нм						
850	400; 600; 800	160; 250; 400				
1300	800; 1000; 1200; 1500	500; 600; 800	-	-	-	-

***0** – Многомодовое градиентное ОВ с диаметром сердцевины 62,5 мкм, предназначено для применения на длине волны 1300 нм.

1 – Многомодовое градиентное ОВ с диаметром сердцевины 50 мкм, предназначено для применения на длине волны 1300 нм (Рекомендация МСЭ-Т G.651).

2 – Одномодовое ОВ с длиной волны нулевой дисперсии около 1310 нм, предназначено для применения на длине волны 1550 нм (Рекомендация МСЭ-Т G.652).

3 – Одномодовое ОВ с длиной волны нулевой дисперсии около 1550 нм (Рекомендация МСЭ-Т G.653).

4 – Одномодовое ОВ с длиной волны нулевой дисперсии около 1310 нм и минимизированное по затуханию на длине волны около 1550 нм, предназначено для применения на этой длине волны (Рекомендация МСЭ-Т G.654).

5 – Одномодовое ОВ с ненулевой смещенной дисперсией на длине волны около 1550 нм и минимизированное по затуханию на этой длине волны (Рекомендация МСЭ-Т G.655).

6 – Одномодовое ОВ AllWave с рабочим диапазоном длин волн 1275-1620 нм (удовлетворяет требованиям Рекомендации МСЭ-Т G.652).

ных агентов. Окрашенные волокна разнообразны по цвету - так проще определить волокно в кабеле.

Следующая задача производителя ОК - определить, как можно максимально защитить ОВ, учитывая требования по эксплуатации и рациональному использованию материалов элементов кабеля.

Для этого поверх волокна накладывают вторичное защитное полимерное покрытие [1]. Защитное покрытие может быть положено на ОВ в виде плотного полимерного слоя или в виде свободно наложенной полимерной трубки. В последнем случае внутри трубки может быть несколько ОВ.

Материалы, которые могут быть использованы для вторичного покрытия ОВ, должны обладать следующими свойствами:

- легко перерабатываться, но иметь высокое сопротивление плавлению;
- малым коэффициентом теплового расширения;
- малой послеэкструзионной усадкой и хорошей размерной стабильностью;
- высоким значением модуля изгиба и хорошим сопротивлением скручиванию;
- сопротивлением коррозионному растрескиванию, исходящему от наполнителей и растворителей (спиртов и катенов), употребляемых при сращивании торцов ОВ;
- низким влагопоглощением;
- хорошим сопротивлением гидролизу;
- высоким сопротивлением сжатию и достаточным сопротивлением истиранию.

Поскольку все больше и больше кабелей прокладывают в среде с высокими температурой и влажностью, очевидна необходимость разработки материалов с повышенным сопротивлением гидролизу и низкой послеэкструзионной усадкой. Таким требова-

ниям отвечают полибутилентерефталат (ПБТ) и полиамид (ПА), предлагаемые фирмой "Дегусса-Хюльс". В случае конструкции ОК с центральной трубкой возможно использовать эти материалы в комбинации. Центральную трубку изготавливают двухслойной: первый слой из полиамида (этот материал обладает низким коэффициентом трения, превосходным сопротивлением гидролизу и стойкостью к химикатам), а второй, наружный - из ПБТ (характеризуется низким водопоглощением, низким коэффициентом теплового линейного расширения $1,3 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ и малой послеэкструзионной усадкой).

В России ПБТ выпускался под маркой ПБТ-Э. Однако для производства отечественных кабелей он так и не нашел применения из-за низкого качества.

Вместе с тем широко используется отечественный материал - полиэтилен (ПЭ), соответствующий ГОСТу 16 336-77, однако, он уступает по характеристикам ПБТ.

Пустоты в кабеле обычно заполняют гидрофобом (гелеобразным составом), чтобы защитить ОВ от воздействия влаги и механических напряжений при производстве и эксплуатации ОК.

Для производства ОК зарубежные фирмы предлагают широкий выбор гидрофобных наполнителей, качество которых подтверждено не только многолетней эксплуатацией на отечественных заводах, но и рекомендациями зарубежных поставщиков кабельного оборудования, которые проводят опробование поставляемого технологического оборудования и рекомендуют технологические режимы только для определенных видов материалов.

К материалам предъявляются требования, которые должны выполняться. Это три основные защитные функции:

- буферное действие;
- амортизирующее действие;
- водоблокирующее действие.

Таковыми функциями обладает тиксотропный наполнитель торговой марки "РЕОГЕЛЬ" (фирма HONEYWELL SPECIALTY WAX & ADDITIVES), представленный на недавней выставке "Технология кабельного производства - 2001" в ОАО "ВНИИКП".

Материалы сохраняют свою вязкость при повышенных температурах - до плюс 150°C, не становятся жидкими или текучими и остаются мягкими при температурах ниже 60°C.

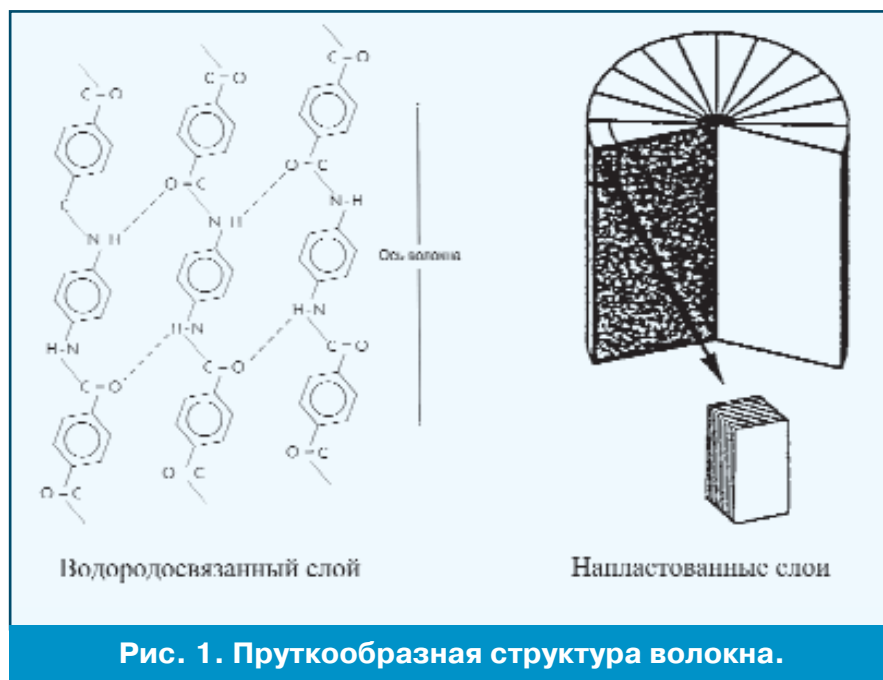


Рис. 1. Прутковая структура волокна.

Таблица 2.

Основные физические свойства материалов для упрочняющих элементов ОК.

	Русар	Кевлар 49	Кевлар "Ит"	Стекло К	Сталь
Удельная прочность, сН/текс	230	205	235	-	-
Модуль упругости при растяжении, ГПа	130	120	75	70	200
Относительное удлинение при разрыве, %	2,7	1,9	3,6	4,5	2,0
Поглощение влаги, %	5	3,5	7	0,1	0
Плотность, г/см ³	1,45	1,44	1,44	2,60	7,85

При длительном хранении не становятся более вязкими (их легко можно закачивать в кабель) и быстро восстанавливают первоначальную структуру, находясь в кабеле.

Основные компоненты, входящие в состав заполнителей, не оказывают вредного воздействия на другие материалы в кабеле, с которыми они контактируют.

Конструкции ОК должны обеспечивать повышенную прочность в продольном направлении. Поэтому в кабели вводят упрочняющие элементы.

Материалы для упрочняющих элементов должны иметь высокую прочность на разрыв, большой модуль упругости. Кроме того, выбор материалов для упрочняющих элементов зависит от требуемого радиуса изгиба кабеля, допустимого уровня нагрузок, которым может быть подвергнут кабель в процессе изготовления. Чтобы достигнуть высокой гибкости, необходимо использовать не сплошные упрочняющие элементы, а составленные из большого количества отдельных компонентов. Этим требованиям удовлетворяют стальная проволока, арамидные нити, стеклопластик. От грызунов защищает гофрированная стальная лента с пластиковым покрытием марки ZETABON фирмы The Dow Chemical Company.

Стеклопластиковые элементы представляют собой армированный материал. Арматурой служит техническая стеклонить, а матрицей - эпоксидный компаунд или какие-либо другие материалы. Диэлектрические свойства наряду с хорошей механической

прочностью делают его чрезвычайно подходящим для изготовления ОК.

Стеклопластики не токсичны, не взрывоопасны, при их переработке не бывает токсичных отходов, требующих утилизации. На сегодня представлен отечественный продукт, описанный в статье [2].

Активные действия зарубежных фирм (таких, как Du Pont) на российском рынке отдают перспективу использования отечественных арамидных нитей. Эти фирмы предлагают широкий ассортимент нитей с различной линейной плотностью, например, нитей "Кевлар".

"Кевлар" - одно из наиболее важных из разработанных к настоящему времени искусственных органических волокон.

Волокна нити "Кевлар" состоят из длинных молекулярных цепей, полученных из полипарафенилентерефталамида. Цепи обладают высокой ориентацией с прочными межцепными связями, что дает уникальное сочетание свойств волокон (рис. 1).

"Кевлар" широко применяют в качестве материала для периферийных и центральных силовых элементов, обеспечивающих снятие напряжения и защиту от коробления волоконно-оптических кабелей, а также для упрочняющих элементов воздушных и специальных кабелей дальней связи.

Широкое применение нашли нити из параамидного волокна фирмы Du Pont, так как обладают низкой степенью удлинения в широком температурном диапазоне, а также превосходными

физическими и диэлектрическими свойствами при минимальных массе и объеме (табл. 2). Аналогичные свойства у отечественных нитей марки "Русар" [2].

При нормальных технологических условиях обработки и использования волоконные изделия "Кевлар" по существу нетоксичны и представляют минимальный риск для здоровья человека и для окружающей среды.

К защитным оболочкам ОК предъявляется широкий диапазон требований. Они должны обеспечивать достаточную жесткость, механическую прочность к удару и к долговременным нагрузкам, хорошие барьерные свойства по отношению к влаге (иногда и к другим растворителям) и в то же время - достаточную производительность оборудования. В последнее время этот перечень часто дополняется требованиями нераспространения горения и трекинговостойкости. В большинстве случаев используется ПЭ, а для внутренних кабелей наряду с этим - поливинилхлоридный пластикат (ПВХП) и полиуретан. В качестве основных характеристик горючести ПВХП-композиций рассматривают такие показатели, как кислородный индекс (КИ) и удельная теплота сгорания.

Одной из важнейших функций содержащих сталь оболочек ОК остается защита от грызунов. Для этого успешно применяют внешние оболочки из ПА. Тем не менее, полимерный материал не в состоянии предоставить 100-процентную защиту от грызунов. Подобная защита может быть обеспечена только стальным ар-

мированием, что, однако, придаст кабелю высокую жесткость.

К ОК, прокладываемым в подземных сооружениях, предъявляется требование нераспространения горения в пучке кабелей. Помимо нераспространения горения как такового, оболочка кабелей должна обеспечивать минимальное выделение дыма и токсичных веществ при пожаре. Эти задачи решаемы - при наполнении ПЭ высокой плотности гидроксидами металлов. Если кабель попал в зону пожара, происходит эндотермическая реакция разложения гидроксидов с выделением воды. При этом отмечается снижение температуры в зоне реакции и некоторое "разбавление" окружающего воздуха (кислорода) парами воды, что также задерживает распространение горения. Кроме того, ни базовый полимер (ПЭ), ни пламегасящий

компонент (гидроксиды металлов) не выделяют значительного количества дыма и токсичных веществ - это существенно облегчает задачу спасения людей из горящего сооружения. Примером служит ПЭ марки FR4810 производства компании Borealis.

При подвеске ОК к опорам электропередач возникает вопрос трекинговости оболочки кабеля. Он также разрешается путем введения в ПЭ специальных наполнителей, изменяющих электрические свойства оболочки. Примером такой марки ПЭ, успешно применяемой для подвешиваемых к опорам ЛЭП оболочек ОК, может служить композиция ПЭ средней плотности ME6080 производства компании Borealis [3].

На начальной стадии производства ОК материалы, необходимые для изготовления кабеля,

проходят тщательный входной контроль.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гроднев И.И. и др. Оптические кабели: конструкции, характеристики, производство и применение./И.И. Гроднев, Ю.Т. Ларин, И.И. Теумин. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 176 с., илл.

2. Ларин Ю.Т., Овчинникова И.А. Оптические кабели для прокладки в полевых условиях. - "ИНФОРМОСТ" - "Радиоэлектроника и Телекоммуникации", №18, 2001 г. - с. 36-39.

3. Кабели, провода и материалы для кабельной индустрии: Технический справочник. Сост. и редактирование: Кузнев В.Ю., Крехова О.В. - М.: Издательство "Нефть и газ", 1999. - 304 с.



НОВОСТИ КОМПАНИЙ

Компания **Samsung Electronics** заключила международное дистрибьюторское соглашение с российской телекоммуникационной компанией **"Вимком Оптик"** и начинает широкие поставки в Россию и другие страны СНГ полного спектра пассивного оборудования для волоконно-оптических сетей и линий связи. В первую очередь акцент будет сделан на поставки оптических соединительных компонентов, таких как: коннекторы, адаптеры, некоторые типы кабеля и соединительные шнуры. В дальнейшем планируется также начать поставки и другого пассивного оптического оборудования: оптических муфт, оптических кроссов, оптических оконечных модулей, оптических распределительных коробок и оптических распределительных шкафов.

Характерной особенностью продукции, выпускаемой подразделением волоконной оптики компании **Samsung Electronics**, является ее исключительно высокое качество, базирующееся на передовых технологиях производства оптического волокна и ферулов и превосходящее по некоторым параметрам, качество продукции ведущих американских и западноевропейских производителей. При этом цена на продукцию **Samsung Electronics** вполне соизмерима с ценами на аналогичное оборудование тайваньских и гонконгских поставщиков, производимое, как правило, в континентальном Китае.

Согласно заключенному дистрибьюторскому соглашению, компания **Samsung Electronics** предоставила эксклюзивные права на дистрибуцию данного оборудования российской телекоммуникационной компании **"Вимком Оптик"**, уже более 10 лет работающей на рынке пассивной оптики, и активно развивающую свою дилерскую сеть в российских регионах и странах СНГ.

Samsung Electronics - южнокорейская компания, специализирующаяся на производстве широкого спектра электронного оборудования, включая волоконно-оптическое оборудование, телекоммуникационное оборудование, сетевое оборудование и бытовую электронику.

ЗАО "Вимком Оптик ТС" - российская компания, специализирующаяся в области создания сетей передачи данных и телекоммуникационных систем на основе передовых технологий, включая волоконно-оптические решения. Кроме того, она является поставщиком сетевого, телекоммуникационного и волоконно-оптического оборудования ведущих мировых производителей, а также компонентов волоконно-оптических систем собственного производства.