

3. Сравнительный анализ характеристик ОВ

Одномодовое волокно существенно превосходит многомодовое по многим параметрам. Главное преимущество – меньшая дисперсия и, следовательно, большая пропускная способность (скорость передачи информации). Главный недостаток одномодовых волокон – малый размер сердцевины и, следовательно, более высокие требования к источникам излучения, системам ввода света в волокно, к соединениям волокон и к другим пассивным элементам систем связи. Для достижения высокой эффективности ввода излучения волновод необходимо освещать источником с числовой апертурой и размерами, не превышающими числовой апертуры и диаметра сердцевины (диаметра поля моды) волокна.

В качестве источников света в передатчиках для ВОСП используются полупроводниковые светодиоды, суперлюминесцентные светодиоды и полупроводниковые лазеры. Светодиоды используются совместно с многомодовым волокном, а полупроводниковые лазеры с одномодовым.

По мере развития технологии производства пассивных и активных компонент ВОСП одномодовое волокно вытесняет многомодовое благодаря главному преимуществу: отсутствию межмодовой дисперсии и сохранению пространственной когерентности. Это позволяет обеспечивать очень высокую информационную пропускную способность одномодового волокна. Поэтому, при выборе волокна для обеспечения передачи информации на относительно большие расстояния выбор должен быть за одномодовым волокном.

Для целей связи на короткие расстояния, такой, как связь между компьютерами внутри зданий, может использоваться многомодовое волокно. Иногда для увеличения широкополосности такое волокно возбуждается излучением с апертурой значительно меньшей апертуры самого волокна, что значительно снижает межмодовую дисперсию.

а. Многомодовое волокно

Из многомодовых волокон для коммуникационных целей в настоящее время применяются только градиентные параболические волокна.

Хотя межмодовая дисперсия в многомодовом волокне является определяющим фактором, при использовании широкополосных (но более дешевых) источников излучения (светодиодов) хроматическая дисперсия также становится заметным фактором, ограничивающим пропускную способность волокна. В этом случае пропускная способность волокна не является характеристикой только самого волокна, т.к. она зависит и от параметров других элементов ВОСП. Для оценки пропускной способности волокна можно считать, что ее величина, измеряемая в [(Мбит/с)·км], равна удвоенной широкополосности волокна, измеряемой в [(МГц·км)].

В соответствии со стандартом FDDI широкополосность ОВ на длинах волн 850/1300нм составляет 160/500МГц·км. Такие значения соответствуют полному заполнению апертуры волокна излучением источника. Использование лазера с узким спектром и малой угловой апертурой позволяет увеличить ширину полосы модуляции передаваемого сигнала еще в несколько раз.

Таблица 3.1. Характеристики многомодового волокна

Вид волокна	Потери (дБ/км) 850нм	Потери (дБ/км) 1300нм	Потери (дБ/км) 1550нм	Ступеньки затухания (дБ/км)	Широкополосность МГц·км
Corning Inficor600	2.7	0.8	0.29	-	500
50/125CPC6	2.5	0.8		≤0.2	400-1000
62.5/125CPC6	3.0	0.7		≤0.2	200-800
Fujikura G50/125 1005	-	1.0	-	-	500
G50/125 1002	-	1.0	-	-	200
G50/125 3005	3.0	-	-	-	500
G50/125 3002	3.0	-	-	-	200

b. Сравнение ОВ по величине дисперсии

По величине хроматической дисперсии одномодовые волокна можно разделить на следующие типы:

- Стандартное одномодовое волокно (SF)
- Волокно со смещенной дисперсией (DSF)
- Волокно с ненулевой смещенной дисперсией (NZ DSF)
- Волокно со сглаженной дисперсией
- Специальное волокно

На Рис.3.1 показаны типичные примеры зависимости параметра D_{hr} от длины волны стандартного волокна, волокна со смещенной нулевой и ненулевой дисперсией и волокна со сглаженной дисперсией.

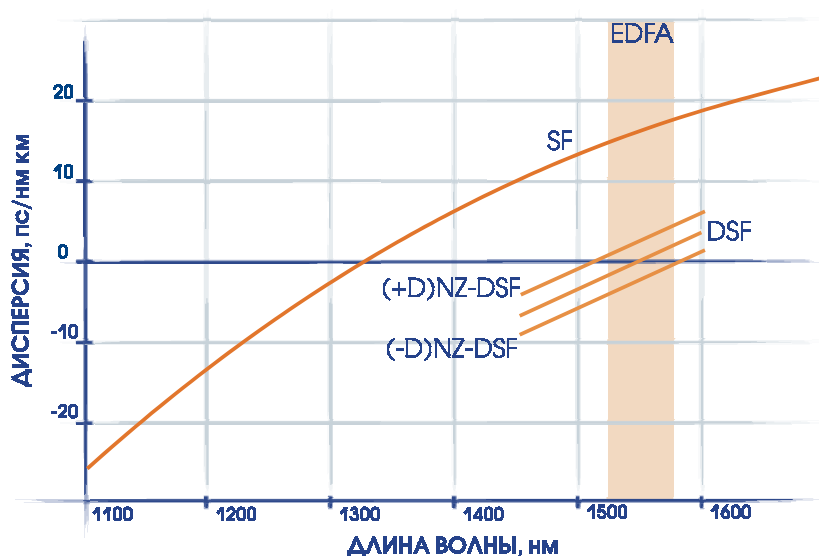


Рис.3.1. Хроматическая дисперсия в ОВ разных типов.

Одномодовое волокно со ступенчатым профилем показателя преломления, удовлетворяющее рекомендации ITU G.652 называется стандартным волокном (SF). Длина волны нулевой дисперсии такого волокна равна 1310 нм, что делает его оптимальным для работы во втором окне прозрачности. Хроматическая дисперсия на длине волны 1550 достаточно высока – около 18 пс/нм·км. Столь высокое значение дисперсии затрудняет работу в режиме высоких скоростей передачи информации (более 10 Гбит/с), т.к. требует использования устройств компенсации дисперсии.

Таблица 3.2. Характеристики стандартных ступенчатых волокон

Вид волокна	Числовая апертура	Δ , %	Диаметр пятна 2ω , мкм	Λ_{zd} , мкм	Наклон кривой ДГС, пс/(км·нм ²)
Corning SMF-28	0.13	0.36	9.3	1.312	0.090
Fujikura SM	-	-	9.5	1.31	0.09
AT&T Matched-clad	0.12	0.33	9.3	1.312	0.088
LITESPEC GSM-13	0.12	0.33	9.3	1.312	0.087
Alcatel AFC 3	0.12	-	9.1±0.5	1.31±0.01	0.092

Для повышения скорости передачи информации по одному каналу в третьем окне прозрачности (1550нм) было разработано волокно со смещенной нулевой дисперсией (DSF), в котором за счет специально подобранного профиля показателя преломления сердцевины длина волны нулевой дисперсии равна 1550нм. Характеристики такого волокна регламентируются рекомендациями ITU G.653. Однако именно это волокно оказалось неудачным для систем со спектральным разделением каналов (DWDM) из-за влияния эффекта четырехволнового смешения. Этот эффект заключается в возникновении комбинационных частот, приводящих к взаимным помехам каналов. На Рис.3.2 показано влияние дисперсии на величину паразитных световых сигналов на комбинационных частотах в результате четырехволнового смешения.

В волокна с дисперсией в одном случае 0пс/нм·км и 2,5пс/нм·км во втором случае вводится излучение четырех спектральных каналов с мощностью 2мВт в каждом. На выходе волокна длиной 50км с ненулевой дисперсией излучение на дополнительных длинах волн не наблюдается. В волокне той же длины с нулевой дисперсией эффективно идет четырехволновое смешение и ясно видны более 20 дополнительных пиков. Из необходимости ослабления нелинейных эффектов ясно вытекает специфическое для систем со спектральным уплотнением каналов требование к оптическому волокну – отличная от нуля, но не очень большая дисперсия на длинах волн несущего излучения; при этом изменение дисперсии с длиной волны должно быть минимальным.

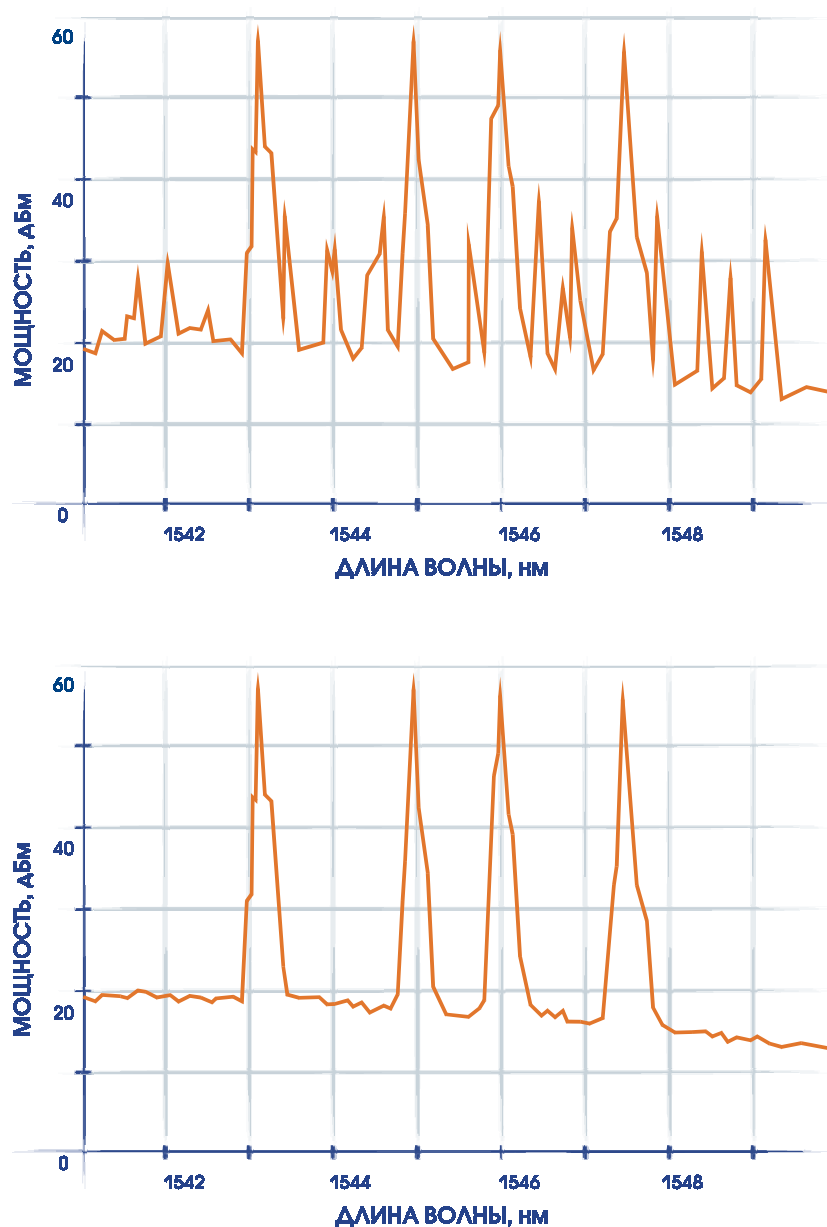


Рис.3.2. Четырехволновое смешение в волокне с нулевой и ненулевой дисперсией.

Для подавления нелинейных эффектов, в первую очередь эффекта четырехволнового смешения, были разработаны волокна, в которых длины волн нулевой дисперсии выведены за пределы рабочего диапазона.

Такое волокно называется волокном с ненулевой смещенной дисперсией (NZ DSF) и оно описывается рекомендациями ITU G.655.

Таблица 3.3. Характеристики волокон со смещенной дисперсией

Вид волокна	Диаметр поля моды 2 ω , мкм	Λ_{ZD} , нм	Макс. Дисп. 1535-1575нм (пс/км·нм)	Наклон кривой ДГС, пс/(км·нм ²)
Corning SMF-DS	8.1±0.65	1.550	±1.5	0.075
Corning SMF-LS	8.40±0.5	1.530-1.560	2.0-5.0	0.07
Corning SMF-LS Submarine	8.4±0.5	1.585	-6.0	0.07
Corning LEAF	9.6±0.4	-	2.0-6.0	0.11
Corning LEAF Submarine	9.3±0.3	1575	-3.0	0.11
LITESPEC GSM-13	8.0	1.555	-1.8	0.072
Fujikura DSM G 8/125 03	8.0	-	3.5	0.09
AT&T True Wave	8.4	1.530	4.2	0.095
Alcatel AFC 3 TeraLight	9.2	1.440	7.9	0.058
Lucent TrueWave RS	8.5±0.6	-	6.0	0.05

Нулевая дисперсия может быть смещена либо в сторону коротких волн относительно длины волны 1550нм, либо в сторону длинных волн. У волокон первого типа в третьем окне прозрачности положительная дисперсия, у волокон второго типа – отрицательная. В соответствии с этим они обозначаются (+D) NZ DSF и (-D) NZ DSF. У волокон с ненулевой смещенной дисперсией величина дисперсии достаточна для подавления четырехволнового смешения и при этом сохраняется возможность высокой скорости передачи информации без применения компенсации хроматической дисперсии (до 10Гбит/с на канал на расстояния до 500км). Поэтому волокна такого типа наилучшим образом подходят для использования в системах со спектральным разделением каналов.

В высокоскоростных системах связи при использовании узкополосных источников излучения становится заметным влияние поляризационной модовой дисперсии.

с. Сравнение ОВ по затуханию

Наибольший интерес для целей передачи информации представляет световое излучение с длинами волн 850нм, 1.31мкм и 1.55мкм, поскольку они расположены между зонами поглощения и затухание на этих длинах волн минимально. Области вблизи этих длин волн известны как первое, второе и третье окна прозрачности. Многомодовое волокно вплоть до настоящего времени работает с использованием первого и второго окон прозрачности. В дальнейшем оно, возможно будет использоваться и в третьем окне прозрачности. Поэтому желательно выбирать волокно с минимальными потерями во всех трех окнах прозрачности.

Стандартное одномодовое волокно используется во втором и третьем окнах прозрачности. Одномодовые волокна со смещенной и сглаженной дисперсией оптимизируются для работы в расширенных спектральных диапазонах в области третьего окна прозрачности. Эти диапазоны оптимизированы для работы с эрбиевыми и рамановскими усилителями. Диапазон длин волн 1530 – 1565нм называется С – полосой, а диапазон длин волн 1565 – 1625нм называется L – полосой.

Таблица 3.4. Типичные значения потерь в одномодовых волокнах

Вид волокна	Затухание 1383нм (дБ/км)	Затухание 1300нм (дБ/км)	Затухание 1550нм (дБ/км)	Степеньки затухания (дБ)	Затухание 1625нм (дБ/км)
Corning Leaf	1.0	0.5	0.25	0.1	0.25
Corning LEAF Submarine	2.0	-	0.23	0.1	-
Corning SMF-LS Submarine	-	-	0.22	0.1	-
Corning SMF-28	2.1	0.4	0.3	0.1	-
Corning SMF-LS	2.0	0.5	0.25	0.1	-
Alcatel AFC 3	-	0.34	0.21	-	-
Alcatel AFC 3 TeraLight	-	-	0.21	-	0.25
Lucent TrueWave RS	1.0	0.4	0.22	0.1	0.27
Fujikura DSM G 8/125 03	-	0.5	0.3	-	-

d. Анализ геометрических, механических и других характеристик ОВ

Геометрические характеристики оказывают существенное влияние на качество сращивания и скорость сварных работ. Важность их определяется тем, что по оценкам фирмы Corning до 9% общей стоимости сетей и до 30% стоимости трудозатрат на установку системы приходится на сварку волокна.

При рассмотрении долгосрочной работоспособности волоконно-оптических сетей в число важнейших параметров входят такие показатели механической надежности волокна как прочность и удобство работы с волокном (легкость разделки, снятия покрытия и др.).

Прочностные характеристики оптического волокна определяют надежность и долговечность оптического кабеля. Поэтому они особенно важны при эксплуатации в сложных географических условиях, при повышенных механических природных или производственных воздействиях. Повышенным механическим воздействиям природного происхождения подвергаются оптические кабели на подвесных линиях, подводные кабели, кабели, уложенные в открытый грунт. В этих случаях следует выбирать волокно с наилучшими показателями прочности.

Приложение 1. Показатель преломления

Показателем преломления называется коэффициент, равный отношению скорости света в вакууме к скорости света в материальной среде (например, стекле). Различают фазовый показатель преломления n , равный отношению скорости света в вакууме к фазовой скорости света в среде, и групповой показатель преломления n_g , равный отношению скорости света в вакууме к групповой скорости света в среде. Показатель преломления в оптической среде, за исключением вакуума, зависит от длины волны. Зависимость показателя преломления (фазового) n от длины световой волны λ описывается эмпирической формулой Солмейера (см. приложение 2).

Приложение 2. Формула Солмейера.

Зависимость показателя преломления (фазового) n от длины световой волны λ описывается эмпирической формулой Солмейера:

$$n^2 = 1 + \frac{Ne^2}{\pi mc^2} \sum_k \frac{f_k \lambda_{ok}^2 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_{ok}^2},$$

где N – плотность частиц (число частиц в единице объема), m и e – масса и заряд электрона соответственно, λ_{ok} – резонансные длины волн, f_k – силы осцилляторов. Для чистого кварцевого стекла при 20°C формула Солмейера имеет вид:

$$n^2 - 1 = \frac{0.6961663\lambda^2}{\lambda^2 - (0.0684043)^2} + \frac{0.4079426\lambda^2}{\lambda^2 - (0.1162414)^2} + \frac{0.8974794\lambda^2}{\lambda^2 - (9.89616)^2}.$$

Резонансные длины волн равны 0.068мкм (вакуумная ультрафиолетовая область), 0.1162мкм (та же область) и 9.896мкм (средняя инфракрасная область). В широком спектральном диапазоне, включающем обычный ультрафиолет, видимую область и ближнюю инфракрасную область, кварцевое стекло прозрачно и формула Солмейера применима с очень высокой точностью.

Литература

1. ГОСТ Р МЭК 793-1-93. Волокна оптические. Общие технические требования. М., Издательство стандартов, 1994.
2. ITU-T Recommendation G.655. Characteristics of a non zero dispersion-shifted single-mode optical fibre cable. Geneva, 1996.
3. ITU-T Recommendation G.650. Definition and test methods for the relevant parameters of single-mode fibres. Geneva, 1993.
4. ITU-T Recommendation G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre cable. Geneva, 1993.
5. ITU-T Recommendation G.653. Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre cable. Geneva, 1996.

6. ITU-T Recommendation G.654. Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre cable. Geneva, 1997.
7. G.P.Agraval. Fiber-optic communication systems. 2nd ed., John Wiley&Sons, Inc., 1997.
8. Л.С.Корниенко, О.Е.Наний. Физика лазеров. Ч.1, М., Издательство МГУ, 1996.
9. Р.Р.Убайдуллаев. Волоконно-оптические сети. М., Эко-трендз, 1998.
10. J. Crisp. Introduction to Fiber Optics, MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall, 1999.
11. G.Mahlke, P.Gossing. Fiber Optic cables: fundamentals, cable engineering, systems planning, 3 ed., MCD Verlag, 1997.
12. С.Г.Акопов, Д.Шарле. Главный компонент преодолевает барьеры. Мир связи. Connetct!, №5, стр.98-101 (1998); №6, стр.144-146 (1998).

© OPTICTELECOM 2002