

Приборы для измерения потерь в оптических кабельных системах.

Оптические кабельные системы играют все возрастающую роль в средствах телекоммуникации, связи и передачи данных. Их пропускная способность и очень малое затухание позволяют передавать огромные потоки данных на большие расстояния без потерь информации с минимальным количеством регенераторов или вообще без них. Скорости передачи при этом достигают фантастических величин. Это приводит к увеличению требований как к качеству среды передачи оптических сигналов, так и к техническим параметрам измерительных приборов для тестирования волоконных световодов.

Каковы же технические характеристики стандартизированной оптической проводки? Одним из наиболее совершенных методов построения информационных и локальных сетей является создание структурированных кабельных систем на основе международных стандартов, например европейского стандарта EN 50173. Требования данного стандарта предъявляются к следующим параметрам:

1. Затухание;
2. Ширина полосы пропускания;
3. Возвратные потери.

Затухание в оптическом волокне эквивалентно уменьшению светового сигнала, распространяющегося в этом волокне, по мере увеличения пройденного расстояния. Оно включает в себя все потери, возникающие при передаче: затухание в волокне, потери в соединителях, сварках и оптических кроссировочных шнурах.

Таблица 1. Максимальные значения потерь в оптических путях передачи.

Наименование	Расстояние, м	Затухание, дБ			
		Одномодовое		Многомодовое	
		1310 нм	1550 нм	850 нм	1300 нм
Горизонтальная проводка	90	2,2	2,2	2,5	2,2
Вертикальная проводка	500	2,7	2,7	3,9	2,6
Магистральная проводка (кампусная)	1500	3,6	3,6	7,4	3,6

Понятно, что даже небольшой выигрыш по затуханию при инсталляции кабеля приведет к значительному увеличению пропускной способности волокна, поскольку увеличение потерь эквивалентно увеличению оптической длины кабеля, и, следовательно, уменьшению верхней границы его полосы пропускания (и наоборот). В предельных случаях (при гигабитных скоростях передачи) играющую роль может приобрести даже небольшое снижение потерь, составляющее сотые доли децибел. Поэтому в высокоскоростных системах передачи точное знание затухания в кабеле и компонентах кабельной системы является определяющим для оценки его работоспособности и определения запаса оптической среды по скорости передачи и бюджету потерь. Кроме того, при расчете оптической кабельной системы, особенно в локальных сетях небольшой протяженности необходимо точно знать влияние среды распространения сигнала на энергетические возможности приемопередающей аппаратуры, то есть, правильно оценить влияние передаваемых сигналов на приемник и передатчик. В некоторых случаях дополнительное знание о величине переходных помех между волокнами может оказать помощь при оптимизации работы системы по энергетике передаваемых сигналов.

Ширина полосы пропускания многомодового волокна определяет скорость передачи данных. Полоса пропускания – это интервал частот, в котором значение АЧХ (амплитудно-частотной характеристики) волокна не меньше (больше или равно) половины её максимального значения. Это соответствует снижению уровня оптической мощности сигнала на границах полосы пропускания на 3 дБ. Для одномодового волокна (на длине волны 1550 нм) стандарт EN 50173 не ограничивает ширину полосы пропускания.

Таблица 2. Минимальные значения ширины полосы пропускания для стандарта EN 50173.

Длина волны, нм	Ширина полосы, МГц
850	100
1300	250

Возвратные потери имеют важное значение для качественной передачи, определяя величину возвратившейся к источнику излучения оптической мощности. Они представляют собой логарифмическое отношение отраженного и прямого сигналов и измеряются в децибелах с отрицательным знаком. Чем больше величина возвратных потерь (по абсолютному значению, то есть без учета знака), тем меньше вернувшаяся к источнику оптическая мощность и, следовательно, лучше условия работы источника оптического излучения. При этом снижается мощность фонового шума и увеличивается отношение сигнал/шум на дальнем конце линии, что приводит к более устойчивой работе приемопередающей аппаратуры. Это особенно важно для одномодовых систем, где большая величина вернувшейся в источник оптической мощности может вызвать перескок моды, и в системах кабельного телевидения, где мощность выходного сигнала может достигать 100 мВт (+20 дБм).

Вследствие того, что величина динамического диапазона, требуемого для измерения затухания отражения и возвратных потерь, составляет -30... -80 дБ, для таких измерений необходим лазерный источник с большой мощностью излучения. Кроме того, излучение лазера должно быть достаточно стабильно, поскольку измерения проводятся в течение продолжительного времени.

Таблица 3. Максимальные значения для возвратных потерь в оптических путях передачи стандарта EN 50173.

Вид волокна	Длина волны, нм	Возвратные потери, дБ
Одномодовое	1310	-26
	1550	-26
Многомодовое	850	-20
	1300	-20

Приборы для измерения потерь. Наиболее распространенным, дешевыми и популярными приборами для измерения потерь являются измерители оптической мощности, обычно используемые в паре с источником стабильного оптического излучения. При инсталляции и эксплуатации оптических сетей небольшой протяженности крайне невыгодно использовать дорогостоящие рефлектометры. Причины этого не только в высокой цене этих приборов, что делает каждое измерение баснословным по стоимости, но также и в их недостаточной точности при небольшом динамическом диапазоне. Короткие длины оптических кабелей, применяемых в локальных сетях, зачастую создают проблемы при тестировании их оптическим рефлектометром, которые проявляются не только в виде ложных отражений – бичом

при тестировании непротяженных оптических сетей, – но и недопустимо больших мертвых зонах для измерения, как затухания, так и определения места расположения неоднородности. Естественным выходом из такого положения служит применение оптического тестера, являющегося палочкой-выручалочкой для определения, как целостности волокон проложенного кабеля, так и оценки качества его инсталляции. Причем контроль может производиться прямо во время прокладки кабеля, что позволяет определять месторасположение возможных в будущем повреждений, то есть одновременно с инсталляцией появляется возможность контролировать качество монтажных работ и производить начальную диагностику состояния проложенного кабеля.

- **Измерители оптической мощности (ИОМ)** используются для измерения выходной мощности пассивных и активных компонентов волоконно-оптической системы. Обычно их изготавливают с возможностью индикации мощности как в абсолютных (Вт, мВт, мкВт, нВт), так и в относительных (дБ, дБм) единицах. Измеритель оптической мощности – это основной прибор для проведения волоконно-оптических измерений, весьма сходный с цифровым мультиметром в электронике. Благодаря разным типам фоточувствительных датчиков (обычно фотодиод, но может быть и фоторезистор, фототранзистор или фототиристор) измерители оптической мощности могут работать в различных спектральных диапазонах, необходимых для тех или иных применений. Так, в измерителях, предназначенных для тестирования волокна на линиях связи, используются кремниевые (хорошо работающие на длине волны 850 нанометров), германиевые (спектральный диапазон работы 1300 – 1500 нм) или арсенид-галлиевые (850-1550) фотодиоды. Измерители с последним типом фотодиодов могут измерять оптическую мощность во всех трех основных, так называемых, «окнах прозрачности» (участках спектра света, в которых потери сигнала в волокне минимальны), применяемых в связи и телекоммуникациях. Центральные длины волн этих окон расположены на 850 нм, 1300(1310) нм и 1550 нм.

Многие ИОМ могут отображать непосредственно потери в волокне или на отдельных компонентах оптической кабельной системы. Для этого в них предусмотрен режим измерения относительных уровней мощности, с помощью которого запоминается какой-либо опорный уровень (например, уровень мощности излучения источника света), а все последующие измерения проводятся относительно этого уровня. Следует иметь в виду, что в процессе определения оптической мощности может возникнуть некоторая погрешность (0,2-0,5 дБ), вызванная разными условиями ввода света от источника в измеряемое волокно и условиями вывода мощности в приемное волокно измерителя.

При выборе измерителя, наиболее подходящего для решения возникших задач, потенциальному пользователю желательно обращать внимание на следующие параметры:

1. Тип фотодетектора и адаптера (или наличие интерфейса – универсального оптического входа);
2. Динамический диапазон измерений;
3. Линейность прибора во всем динамическом диапазоне;
4. Возможность измерения относительных уровней (измерение затухания);
5. Наличие компенсации чувствительности фотодиода к длине волны.

Наиболее важным элементом ИОМ является оптический детектор, который определяет почти все характеристики прибора. В качестве детектора обычно применяется фотодиод, вход которого оборудуется адаптером определенного вида (для одного типа коннектора) или универсальным интерфейсом, который благодаря сменным

адаптерам может соединяться с широким диапазоном выпускаемых стандартных коннекторов.

Другим основным параметром прибора является динамический диапазон. Он определен наиболее высоким и наиболее низким уровнями принимаемого сигнала, между которыми погрешность показаний прибора не выходит за те рамки, которые приведены в сопроводительной технической документации. Поэтому, чем больше динамический диапазон измерителя, тем более широкий спектр задач он может помочь решить. Однако платой за это может стать весьма высокая стоимость и пониженные значения других технических параметров.

Теперь о линейности измерителя. В хорошем измерителе равным приращениям оптической мощности соответствует одинаковое приращение показаний прибора. Для того чтобы выполнялось такое условие, необходимо иметь фотодиод с линейной зависимостью фототока от мощности оптического излучения и хорошую схему обработки преобразованного в электрический вид оптического сигнала. При нарушении линейности измерителя показания прибора не отражают истинный уровень принимаемого сигнала. Особенно важна линейность при измерении очень малых и очень больших уровней сигнала, то есть на границах динамического диапазона, где возможности линейного детектирования ограничиваются линейным участком ваттамперной характеристики фотодиода.

На малых уровнях к измеряемой оптической мощности добавляются собственные шумы фотодиода и тепловые шумы электронных элементов входных цепей. При этом ошибка измерения может достигнуть величины 50% и более, в зависимости от отношения величины сигнал к уровню шумов. Свой взнос в показания вносят условия окружающей среды и механические воздействия. Кроме того, внутренние электронные схемы обработки сигнала также могут вносить погрешность в показания. Для проверки погрешности, заложенной в прибор при изготовлении, и контроля ее величины с течением времени, измерительные приборы оптического диапазона должны проходить первичную поверку при выпуске из производства (с отметкой в паспорте на прибор или вкладышем о первичной поверке). В процессе эксплуатации из-за старения электронных компонентов и условий работы технические характеристики прибора могут измениться. Поэтому надо предъявлять их на ежегодную поверку в органах стандартизации. Поверку измерительной техники для оптического волокна производят такие организации как ВНИИОФИ, г. Москва или ТЕСТ-С.-Петербург).

Возможность непосредственного измерения затухания является одним из достоинств большинства измерителей оптической мощности. При наличии такой функции освобождается много времени, затрачиваемого в противном случае, на записи и расчеты потерь. При выборе ИОМ желательно оценить необходимость такой функции, если ее наличие влияет на стоимость прибора.

Таблица 4. Сравнительные технические характеристики измерителей оптической мощности различных предприятий-производителей.

Производитель	ЗАО «Перспективные технологии»		ЛОНИИР	КБВП	W&G	EXFO
Марка	ПТ2000	ПТ2010	Алмаз21	FOD 1202	OLP18	FOT 10A
Тип приемника	InGaAs	InGaAs	InGaAs	InGaAs	InGaAs	Ge
Динамический диапазон (дБ)	+3...-60	+10...-70	+3...-60	+3...-60	+26...-60	+6...-60
Погрешность измерения относительных уровней (дБ)	0,2	0,13	0,2	0,25	0,13	0,2
Возможность усреднения	+	+	+	-	-	Н/д

Диапазон длин волн, нм	800...1600	800...1600	800...1600	Н/д	800...1600	Н/д
Основная относительная погрешность измерения на длине волны калибровки, дБ	0,5	0,25	0,5	Н/д	Н/д	Н/д
Возможность усреднения результатов измерения	-	+	-	-	-	-
Наличие порта RS232 для связи с компьютером	-	+	-	-	-	-
Время непрерывной работы от одного комплекта батарей, час	≥ 50 компл. аккумуляторов	≥ 40 комплект аккумуляторов	40	Н/д	12	Н/д
Габариты (мм)	120x60x22	120x60x22	195x100x41	150x90x30	185x95x49	Н/д
Вес, г.	200	200	Н/д	300	500	Н/д

• **Источники оптического излучения (ИОИ)** предназначены для ввода в оптическую систему стабильного светового потока известной мощности и длины волны. Измеритель мощности калибруется при этом для работы на длине волны источника. Для гарантированной точности измерения потерь в волокне, источник должен как можно более точно имитировать рабочие характеристики передающего оборудования:

1. Работу на соответствующей длине волны от источника предпочтительно такого же типа (светодиод или лазер);
2. Стабильную по времени и температуре выходную мощность и спектральные характеристики в течение всего времени проведения измерений;
3. Параметры коннектора и выходного волокна должны соответствовать параметрам компонентов передатчика системы;
4. Величина выходной оптической мощности должна быть достаточной для проведения измерений в самом худшем случае, имеющемся в оптической кабельной системе.

Существует три разновидности источника оптической мощности:

1. Лазерный диод. Он излучает свет, спектр которого заключен в узком диапазоне 1-5 нанометров. Такой спектр близок к монохроматическому, то есть имеющему единственную основную (центральную) длину волны. Но чаще всего с каждой стороны центральной длины волны имеются несколько отчетливых дополнительных длин волн. Лазерные диоды наиболее часто применяются для измерений протяженных одномодовых волокон с потерями, превосходящими 10 дБ. При измерении многомодового волокна лучше использовать светодиодный источник, особенно на коротких длинах волн и при небольшой протяженности кабеля. Уровень мощности излучения источников с лазерными диодами составляет обычно от –6 дБм до

+3 дБм (в волокне). В некоторых случаях (для оригинальных или нестандартных применений) эта величина может выходить за указанные пределы, например, источники излучения приборов, предназначенных для кабельного телевидения.

2. Светодиод. Такой источник имеет более широкую спектральную характеристику, чем лазер, ширина которой находится в пределах 50-200 нанометров. Излучение светодиода некогерентно (моды излучения не синхронизированы по частоте и фазе), но более стабильно по мощности. Выходная мощность таких источников невелика (порядка $-10 \div -30$ дБ в волокне), поэтому ее может не хватить при определении потерь в наихудших случаях. Светодиодные источники обычно используются на коротких длинах волокон и в локальных многомодовых сетях.

3. Источник белого света. В качестве источника белого света можно использовать лампу с вольфрамовой нитью. Такой источник можно применять для измерения небольших потерь на длине волны 850 нм в сочетании с измерителем, оборудованным кремниевым фотодиодом или на длине 1300 нм в комбинации с трехкомпонентным InGaAs-фотодиодом. Источник белого света можно также использовать для контроля целостности волокна и идентификации волокон, а также при решении научных или исследовательских задач. Для других целей источник белого света не применяется. В настоящее время в сетях связи вместо источника белого света часто применяется светодиодный или лазерный излучатель видимого света красного диапазона.

Комбинация ИОМ и ИОИ образуют оптический тестер. В случае заключения этих приборов в один общий корпус они называются оптическим мультиметром. Такие приборы из-за высокой их стоимости оборудуются универсальными интерфейсами, а источник оптического излучения имеет сменные оптические головки на разные длины волн. Основным недостатком мультиметров является то, что для проведения качественных измерений необходимо иметь комплект из двух приборов, а это увеличивает срок их окупаемости и значительно удорожает стоимость измерений.

Таблица 5. Сравнительные технические характеристики источников оптического излучения различных предприятий-производителей.

Производитель	ЗАО «Перспективные технологии»	ЛОНИИР	КБВП	Wavetek	ANDO	EXFO
Марка	ПТ10ХУ	Алмаз11	FOD 2107	OLS-6	AQ4251	FOT 700
Тип источника	Лазер	Лазер	Лазер	Лазер	Лазер	Лазер
Длина волны, нм	850, 1310, 1550	850 1310 1550	1550	1310 1550	1310 1550	1310 1550
Уровень выходного сигнала (дБ)	≥ -6	≥ -3	-3	-7	-7	-4

Нестабильность выходного уровня (дБ)	0,1	0,1	0,05	Н/д	0,05 (за 5 минут)	0,1 (за 8 часов)
Ширина спектра излучения, нм	≤ 5	≤ 5	Н/д	Н/д	≤ 5	≤ 5
Время непрерывной работы от одного комплекта источников, час	30	30	24	Н/д	15	Н/д
Габариты (мм)	120x60x22	195x100x4 1	150x90 x30	185x95x4 9	265x88x4 3	235x125 x60
Вес, г	200	Н/д	300	500	450	860

Вспомогательные устройства. Кроме чисто измерительных приборов, для проведения ремонтных и контрольно-измерительных работ очень желательно иметь под рукой и вспомогательные устройства, значительно облегчающие работу. К таким устройствам относятся волоконно-оптические переговорные устройства или телефоны, измерители расстояния до места обрыва волокна и визуальные определители дефектов линии.

Волоконно-оптические переговорные устройства обычно применяются на линиях большой протяженности, но в некоторых случаях без них не обойтись и при работе на коротких линиях. Такая необходимость появляется при работе в местах с трудными условиями прохождения радиоволн, например, в условиях сильных радиопомех или под непроницаемыми для радиоволн экранами (например, под землей). Переговорные устройства обычно работают по двум волокнам или по одному волокну с разделением каналов по длине волны (на одной длине волны по одному волокну действуют оптические телефоны ПТ 4000, в которых реализован принцип автоматической тангенты, переключающей передающую среду от одного абонента к другому). Производятся и телефоны, совмещенные с оптическим тестером в одном корпусе. К таким приборам относятся новая разработка ЗАО "Перспективные технологии" (г. Санкт-Петербург) ПТ 3000 и ОТУ-30 ("Оптические телекоммуникации"). Ниже приведены основные технические параметры оптических телефонов.

Таблица 6. Технические параметры волоконно-оптических телефонов.

КОМПАНИЯ	МОДЕЛЬ	ВИД	ПЕРЕКРЫВАЕМОЕ РАССТОЯНИЕ(КМ)	РЕЖИМ РАБОТЫ
Перспективные технологии	ПТ 4000	Портативный	До 200	Дуплекс
	ПТ 3000	Портативный	До 200	Дуплекс
Оптел	ОТУ-30	Портативный	До 150	Дуплекс
ЛОНИИР				

EXFO	FOT-920	портативный	От 55 до 200	Полный дуплекс
	VCS-10	портативный	От 6 до 38	Полудуплекс
	VCS-15A	портативный	От 115 до 200	Полный дуплекс
	VCS-20A	портативный	От 55 до 200	Полный дуплекс

Номенклатура измерителей до места повреждения оптического волокна, представленных на российском рынке ограничивается прибором FR2 производства компании "Wilkom" (США) и прибором ВЛ-3 "Обрыв" Института Информационных Технологий (г.Минск, Белоруссия). Прибор FR2 работает на длине волны 1310 нм с погрешностью измерений ± 2 м (с диапазоном измерений 30м...20км), и предназначен для измерения длины линии, расстояния до неоднородности, а в случае обрыва линии - расстояния до места обрыва. Технические данные на этот прибор представлены в каталоге компании "Перспективные технологии". Прибор ВЛ-3 "Обрыв" служит для оперативного обнаружения повреждений оптического кабеля. Он работает на длине волны 1550 нм с погрешностью 30 м (при диапазоне измерений 60 м...120 км).

Визуальные определители дефектов линии (другое название - визуальный локатор дефектов) предназначены для выявления неоднородностей, присутствующих в линии на расстоянии до 4-5 километров. Они представляют собой источник красного света, работающий на длине волны 630-670 нанометров. Свет этого диапазона хорошо проходит сквозь буферные покрытия 125, 250, 900 мкм и даже через защитную оболочку 3 мм. Некоторые из таких локаторов работают только в непрерывном режиме, а другие, кроме того, могут излучать и световые импульсы. С помощью этих приборов можно производить и идентификацию целых волокон в многоволоконном кабеле, а также контролировать целостность отдельных волокон, пигтейлов и оптических шнуров. Визуальные локаторы дефектов выпускает компания КБВП (модель FOD 111) и EXFO (модели FLS-235B и FLS-230A).