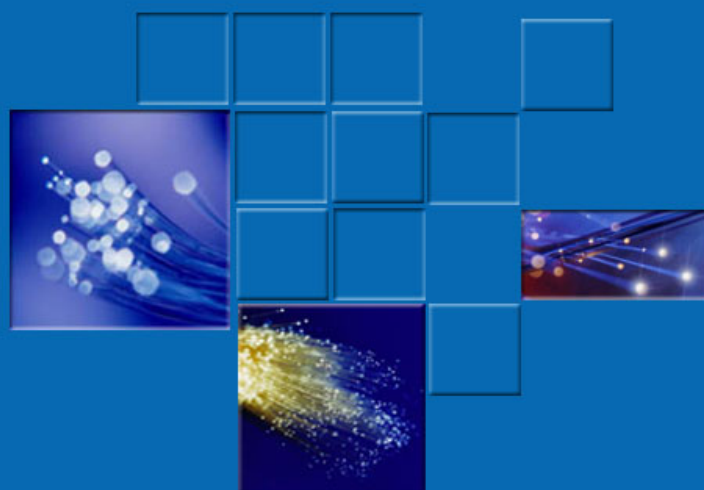


ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА

Компоненты, Технология, Измерения



ТЕХНИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА: КОМПОНЕНТЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ИЗМЕРЕНИЯ

СОДЕРЖАНИЕ

1. Основные понятия волоконной оптики

<u>1.1 Волоконный световод</u>	4
<u>1.1.1. Структура волоконного световода</u>	
<u>1.1.2. Профиль показателя преломления</u>	
<u>1.1.3. Моды</u>	
<u>1.1.4. Длина волны отсечки</u>	
<u>1.1.5. Диаметр модового поля</u>	
<u>1.1.6. Числовая апертура</u>	
<u>1.1.7. Затухание</u>	
<u>1.1.8. Дисперсия</u>	
<u>1.1.9. Ширина полосы пропускания</u>	
<u>1.2. Световоды для сетей передачи данных и телефонии</u>	11
<u>1.2.1. Основные параметры кварцевых волоконных световодов</u>	
<u>1.2.2. Многомодовые световоды</u>	
<u>1.2.3. Одномодовые световоды</u>	
<u>1.3. Оптический кабель</u>	14
<u>1.3.1. Типы оптических кабелей</u>	
<u>1.3.2. Кабели для внешней прокладки</u>	
<u>1.3.3. Внутриобъектовые кабели</u>	
<u>1.4. Источники и приемники излучения для волоконно-оптических систем</u>	15
<u>1.4.1. Лазеры и светодиодные источники</u>	
<u>1.4.2. Приемники оптического излучения</u>	

2. Компоненты

<u>2.1. Соединители</u>	19
<u>2.1.2. Оптические параметры соединителей</u>	
<u>2.1.2. Стандартные волоконно-оптические соединители</u>	
<u>2.1.3. Малоразмерные волоконно-оптические соединители</u>	
<u>2.2. Шкафы</u>	23
<u>2.2.1. Стандарты на конструктивы для телекоммуникационного оборудования</u>	
<u>2.2.2. Варианты исполнения телекоммуникационных шкафов</u>	
<u>2.2.3. Основные производители телекоммуникационных шкафов</u>	
<u>2.3. Кроссы</u>	27
<u>2.3.1. Настенные кроссы</u>	
<u>2.3.2. 19-дюймовые кроссы</u>	

3. Технологии сращивания оптического кабеля

<u>3.1. Неразъемные соединения – сварка оптических волокон</u>	28
<u>3.1.1. Преимущества сварки</u>	
<u>3.1.2. Сварочные аппараты</u>	
<u>3.1.3. Выбор сварочного аппарата</u>	
<u>3.2. Разъемные соединения с помощью соединительных элементов</u>	31
<u>3.2.1. Типы технологий оконцевания</u>	
<u>3.2.2. Механические соединители волоконных световодов</u>	
<u>3.2.3. Источники вносимых потерь</u>	

4. Измерение параметров волоконных световодов

<u>4.1. Измерение проходных потерь</u>	34
<u>4.1.1. Метод обрыва</u>	
<u>4.1.1. Метод вносимых потерь</u>	
<u>4.2. Измерение возвратных потерь</u>	36
<u>4.3. Измерение распределения потерь по длине волоконного световода</u>	36
<u>4.4. Измерение дисперсионных характеристик световодов</u>	37
<u>4.5. Измерение пространственного распределения светового излучения</u>	38

4.5.1. Измерение апертуры	
4.5.2. Измерение размеров модового пятна	
5. Приборы для тестирования волоконных световодов	
5.1. Измерители оптических потерь	40
5.1.1. Оптические тестеры	
5.1.2. Рабочие эталоны	
5.1.3. Измерительные аттенюаторы	
5.1.4. Система поверочных испытаний и калибровки Госстандарта РФ	
5.2. Оптические рефлектометры	45
5.2.1. Классификация	
5.2.2. Устройство	
6. Технологии	
1. Измерение проходных и возвратных потерь	46
2. Основы техники рефлектометрических измерений	48
3. Сращивание волоконных световодов механическими соединителями	57
4. Технологии оконцевания	63
7. Приложения	69
7.1. Степень защиты шкафов согласно EN 60 529/IEC 529	
7.2. Сварочные аппараты	
7.3. Поверочная система Госстандарта РФ	
7.4. Комплект инструментов для оконцевания оптического кабеля коннекторами	
Словарь терминов	76
Список литературы	79
Нормативные документы	80

1. Основные понятия волоконной оптики

1.1 Волоконный световод

Основным элементом волоконно-оптической кабельной системы является волоконный световод, служащий средой передачи оптического сигнала и изготовленный из высококачественного кварцевого стекла, обеспечивающего распространение световых сигналов. Существуют одно- и многомодовые световоды, в соответствии с количеством распространяемых вдоль оптической оси мод разновидностей электромагнитных волн. Многомодовые световоды имеют относительно большие поперечные размеры сердцевины, а одномодовые - относительно малые размеры.

Параметры многомодовых световодов	Параметры одномодовых световодов
$12,5\text{ мкм} < d < 100\text{ мкм}$	$2\text{ мкм} < d < 10\text{ мкм}$
$0,8\text{ мкм} < \lambda < 1,6\text{ мкм}$	$0,8\text{ мкм} < \lambda < 1,6\text{ мкм}$

где r - радиус сердцевины, λ - длина волны.

В многомодовом световоде одновременно распространяются несколько волн с различными углами падения и отражения (мод). Их проще изготавливать, легче сращивать и в них легче вводить световые лучи. В одномодовом световоде в идеальном случае распространяется только одна волна. Такой световод имеет значительно меньший коэффициент затухания по сравнению с многомодовым и большую пропускную способность, поскольку сигнал в них почти не искажается.

Кроме условного деления по количеству передаваемых мод, световоды в зависимости от структуры распределения показателя преломления по радиусу центральной жилы делятся на ступенчатые и градиентные. Ступенчатый световод имеет равномерное распределение показателя преломления по радиусу и длине центральной жилы (сердцевины), на границе с оболочкой его величина резко меняет свое значение (получается своего рода "ступенька" показателя преломления). Градиентный световод меняет значение показателя преломления, плавно уменьшаясь от центральной оптической оси сердцевины к границе с оболочкой. Оптические световоды чувствительны к механическим и климатическим влияниям (макро- и микроизгибам, перепадам температур и давлений и пр.). Эти качества определяют конструкцию оптического кабеля при использовании его в различных средах. Оптический кабель, содержит требуемое количество волоконных световодов, а его конструкция обеспечивает механическую защиту волоконных световодов в период монтажа и эксплуатации кабельной системы, от влияния окружающей среды и механических воздействий.

1.1.1. Структура волоконного световода

Волоконный световод – это коаксиальная диэлектрическая структура. Он состоит из центральной жилы (сердцевины), имеющей толщину не больше человеческого волоса и прочность стали. Ее окружает отражающая оболочка (другое название - плакировка) с иным показателем преломления, которая используется в качестве внутреннего зеркала, создающего на всей длине световода явление полного внутреннего отражения, позволяющего сигналам распространяться по световоду (при условии их попадания на границу сердцевина-оболочка под необходимым углом). Для указания размеров этих элементов используется единая маркировка, имеющая вид: "диаметр центральной жилы/диаметр оболочки (плакировки)".

1.1.2. Профиль показателя преломления

При переходе света через границу раздела двух сред, например из стекла в воздух, на границе раздела происходит отражение части падающего на нее света. Оставшаяся часть света переходит в другую среду, изменяя свое направление. Это явление называется *преломлением света*.

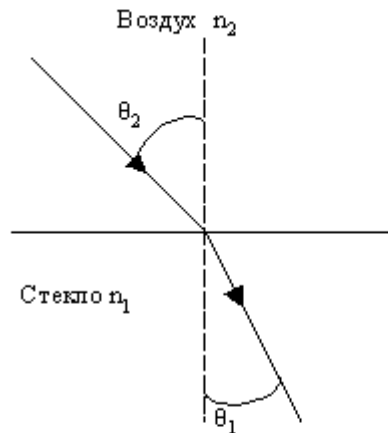


Рис.1. Преломление света при переходе границы “воздух-стекло”

На рисунке показан свет, перешедший из воздуха в стекло. Угол θ_2 называется углом падения, а угол θ_1 – углом преломления. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для данных двух сред, то есть

$$\sin \theta_2 / \sin \theta_1 = n$$

Постоянную величину « n » называют относительным показателем преломления или просто *показателем преломления*. Абсолютный показатель преломления – это показатель преломления какой-либо светопроводящей среды относительно вакуума, то есть отношение синуса угла падения к синусу угла преломления при переходе света из вакуума в данную среду.

В общем случае показатель преломления любой среды показывает во сколько раз уменьшается фазовая скорость v световой волны, распространяющейся в данной среде, по сравнению с фазовой скоростью c в вакууме. Он обозначается буквой n и является безразмерной величиной.

$$v = c/n$$

Среда с высоким значением показателя преломления называется *оптически плотной* средой. В волокне такой средой является сердцевина, выполняющая роль среды распространения света. Показатель преломления оболочки, окружающей сердцевину, немного меньше, чем у сердцевины и за счет этого на границе “серцевина-оболочка” происходит отражение света. На этом эффекте основано прохождение света по волокну.

Показатель преломления, связанный с диэлектрической проницаемостью на высоких частотах, может быть выражен через относительные магнитную (μ_a) и относительную диэлектрическую (ϵ_a) проницаемости. Фазовая скорость электромагнитных волн, распространяющихся в диэлектрической среде, определяется следующим выражением:

$$v = 1/(\mu_0 \mu_a \epsilon_0 \epsilon_a)^{1/2} = c/(\mu_a \epsilon_a)^{1/2}$$

где μ_0 и ϵ_0 - соответственно магнитная и диэлектрическая проницаемости свободного пространства. Поскольку магнитные эффекты в диэлектриках очень малы, то принимается, что $\mu_a = 1$, а в результате получается следующее выражение для n :

$$n = (\epsilon_a)^{1/2}$$

Показатель преломления оболочки постоянен, а сердцевины в общем случае представляет собой функцию поперечной координаты, которая называется профилем показателя преломления.

1. Основные понятия волоконной оптики

Профиль показателя преломления - это распределение показателя преломления вдоль радиуса волокна. Существует несколько типов волокон с разными. Если сердцевина световода имеет постоянное по диаметру значение показателя преломления, то такие световоды называются **световодами со ступенчатым профилем показателя преломления** (т. е. на границе "сердечник-оболочка" существует ступенька n). Если показатель преломления от центра к краю плавно уменьшается, то такие световоды называются **световодами с градиентным профилем показателя преломления (или градиентными световодами)**. Ход лучей в ступенчатом и градиентном световодах показан на Рис.2.

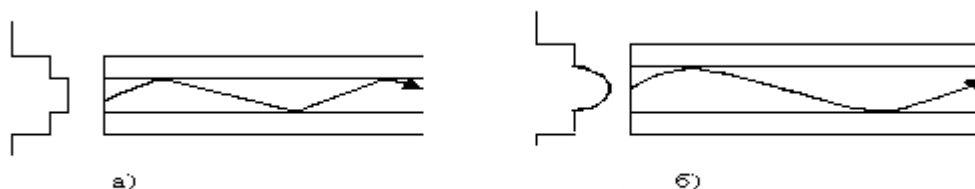


Рис.2. Ход лучей в ступенчатом (а) и градиентном (б) световоде.

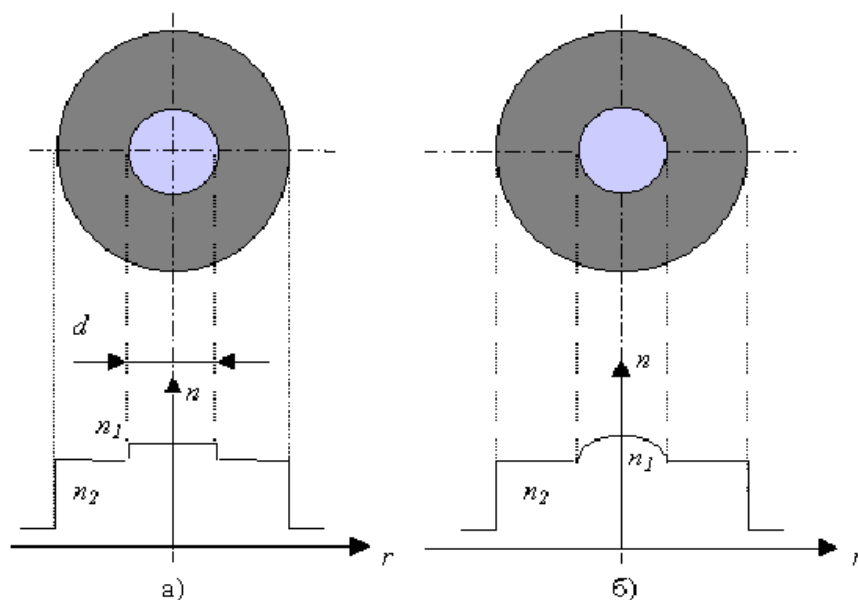


Рис.3. Профили показателя преломления: ступенчатый (а) и градиентный (б).

В волокнах со ступенчатым профилем значение показателя преломления не изменяется вдоль радиуса, а на границе сердцевина-оболочка скачкообразно приобретает величину " n_2 " ($n_1 = \text{const}$). В волокнах с градиентным профилем значение показателя преломления уменьшается от середины к границе сердцевина-оболочка по закону:

$$n = \sqrt{n_1 [1 - 2\Delta(r/R)^q]}$$

где r - текущий радиус; R - радиус сердцевины; n_1 - показатель преломления в центре сердцевины; $q = (1, \infty)$ - показатель степени, определяющий изменение n ; $\Delta = 0,003 - 0,03$.

Показатель же преломления оболочки при этом во всех типах волокон постоянен. Необходимо заметить, что выполнение условия $n_1 > n_2$ является необходимым условием

1. Основные понятия волоконной оптики

распространения света в оптическом волокне (ОВ). В связи с этим для характеристики волокна используется соотношение, называемое **относительной разностью показателей преломления**:

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2$$

Величину $(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ называют числовой апертурой световода, о которой речь пойдет ниже.

Распространение света в ступенчатом световоде:

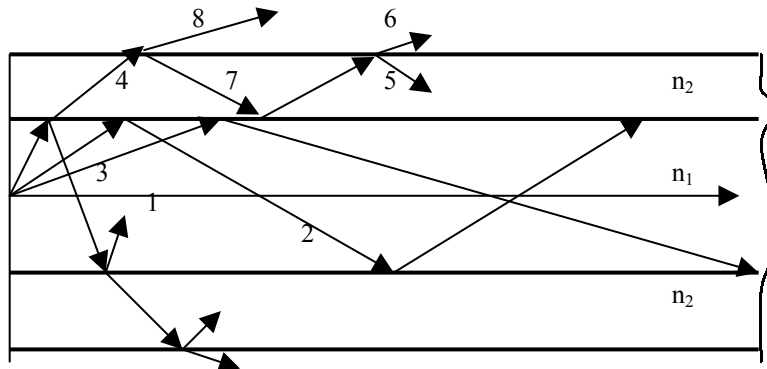


Рис.4. Распространение оптического излучения по ступенчатому волоконному световоду.

При попадании света на торец волокна, в нем могут распространяться два типа лучей: **направляемые и рефрагирующие лучи**. Направляемые лучи, отражаясь от границы сердцевинны с оболочкой, распространяются вдоль волокна (лучи 1, 2, 3). Поскольку после каждого отражения вся мощность направляемых лучей полностью возвращается в область сердцевинны, такие лучи могут распространяться на большие расстояния без затухания. Рефрагирующие лучи (луч 4) делятся на отраженные (луч 8) и преломленные (луч 7). Преломленная часть рефрагирующих лучей (луч 7), попадая в оболочку делятся на **лучи оболочки и излучаемые лучи**. Лучи оболочки (луч 5) (или вытекающие лучи, или оболочечные моды) при попадании на границу оболочка - окружающая среда, отражаясь, проникают в оболочку, где поглощаются.

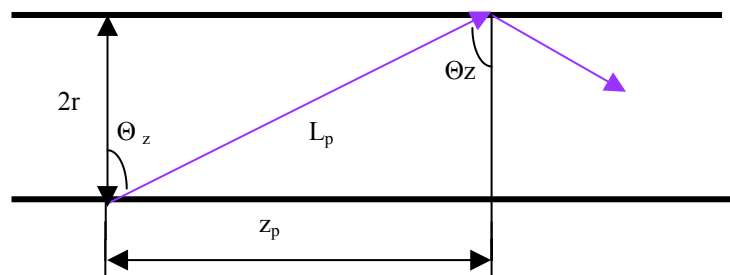


Рис.5. Длина пути L_p и полупериод Z_p траектории луча, распространяющегося в сердцевине волокна со ступенчатым профилем показателя преломления.

Та часть рефрагирующих лучей, которые излучаются из оболочки в окружающее пространство, называются излучаемыми лучами (луч 6). Наличие и преобладание какого-либо типа определяется углом их падения на границу раздела оболочки и сердцевинны.

Сердцевина, обладающая большим значением показателя преломления "n" является оптически более плотной средой, а оболочка с меньшим "n" - оптически менее плотной. При уменьшении угла Θ_z можно достичь состояния, при котором луч будет полностью отражаться от границы раздела сред, не переходя в другую среду. Угол, при котором возникает данный эффект, называется **критическим углом скольжения** $\Theta_{кр}$. Теперь можно сказать, что условием существования направляемых лучей является выполнение следующего неравенства:

$$0 \leq \Theta_z < \Theta_{кр}$$

1. Основные понятия волоконной оптики

а для рефрагирующих лучей: $\Theta_{кр} \leq \Theta_z \leq \pi/2$

Для всех углов скольжения, меньших критического, будут иметь место только отражения, а преломления (проникновение луча в оболочку) будут отсутствовать. Это явление называется **полным внутренним отражением** и именно на этом эффекте основан принцип передачи оптического излучения по ОВ.

В зависимости от траекторий распространения лучей в волокне, существуют осевые, меридиональные и косые лучи. Осевые лучи распространяются вдоль волокна параллельно его оси. Меридиональные лучи при распространении пересекают ось волокна. Между соседними отражениями эти лучи проходят по прямой линии, а направление луча после отражения определяется законом Снелля (или Снеллиуса):

$$n_1 \cos \Theta_z = n_2 \cos \Theta_t$$

где Θ_t - угол к поверхности раздела, под которым распространяется в оболочке преломленный луч.

Косые же лучи, отражаясь от границы с оболочкой, распространяются, не пересекая ось по сложной ломаной траектории, проекция которого на поперечное сечение волокна имеет вид многоугольника.

1.1.3. Моды

Свет по своей природе является электромагнитной волной, имеющей электрическую и магнитную составляющие. Обычно электрическая составляющая электромагнитной волны представляется в виде вектора E (вектор напряженности электрического поля), а магнитная составляющая - в виде вектора H (вектор напряженности магнитного поля). Различные комбинации этих векторов представляют собой типы волн, называемые модами. Таким образом, мода - это одна из составляющих света, распространяющегося в волокне, которая соответствует определенному типу электромагнитных колебаний. В некоторой степени, различные моды можно ассоциировать с разными траекториями лучей света. Каждая из мод распространяется со своими собственными значениями фазовой и групповой скоростей. Число мод, распространяющихся в световоде при многомодовом источнике излучения, зависит от диаметра сердцевинки d и длины волны λ . С увеличением диаметра и уменьшением длины волны число мод резко возрастает. По числу распространяющихся мод принята следующая классификация волокон:

- одномодовые, число мод $N=1$ при $d \approx \lambda$, тип волны - HE_{11} (так называемая фундаментальная мода - она распространяется во всех световодах и переносит основную часть энергии оптического сигнала; это мода самого низкого порядка);
- маломодовые, $N \leq 20$, при $d > \lambda$;
- многомодовые, $N > 20$, при $d \gg \lambda$ (в которых вместе с модами низкого порядка распространяются путем отражения от границы с оболочкой и моды высокого порядка).

При сравнительно большой толщине сердечника ($d \gg \lambda$) световод работает в многомодовом режиме, а при $d \approx \lambda$ - в одномодовом, т. е. один и тот же световод может использоваться в зависимости от длины волны, как в одномодовом, так и в многомодовом режиме.

Длина волны света, показатели преломления сердцевинки и оболочки, и геометрические размеры световодов объединяет **волноводный параметр** (встречается в литературе под следующими наименованиями: нормированная рабочая частота или волноводная частота или частота отсечки или нормализованный параметр частоты) V :

$$V = 2\pi(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} / \lambda,$$

где r - радиус сердцевинки волокна

Волноводный параметр определяет число групп мод, которые могут распространяться в волокне. Оно соответствует $Q = 2V/\pi$, т.е.

1. Основные понятия волоконной оптики

$$Q = 4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{1/2} / \lambda.$$

1.1.4. Длина волны отсечки

Каждый световод имеет свою собственную **длину волны отсечки** - т.е. ту минимальную длину волны (или частоту), ниже которой свет не будет распространяться в данном световоде. Например, при

$$V < 2,4048$$

в световоде будет распространяться только одна мода HE_{11} , то есть световод переходит в одномодовый (по-другому - мономодовый) режим. Отсюда можно рассчитать длину волны отсечки для световода определенного радиуса r .

С увеличением V появляется возможность существования других направляемых мод, которые принято называть **модами высшего порядка**. Число распространяющихся мод связано с волноводным параметром следующим выражением:

$$\text{Для ступенчатого световода: } N = V^2/2$$

$$\text{Для градиентного световода: } N = V^2/4$$

Это означает, что если градиентное и ступенчатое волокна с одинаковым диаметром сердцевин и одинаковым полным изменением показателя преломления осветить источником, одинаково возбуждающим все моды, то градиентное волокно будет пропускать только половину мощности, передаваемой ступенчатым волокном (то есть числовая апертура такого волокна меньше в два раза).

Поскольку волноводный параметр $V \sim r/\lambda$ (где r - это радиус сердцевин волокна), то это отношение и определяет режим работы световода.

1.1.5. Диаметр модового поля

Диаметр модового поля - это параметр, который определяет сечение волокна, где сосредоточена основная часть энергии света. Основная часть светового потока, распространяющегося по волокну, передается через сердцевину. Другая, меньшая часть передаваемого по волокну света распространяется по стеклянной оболочке, поэтому диаметр модового поля больше, чем физический диаметр сердечника.

Диаметр модового пятна в одномодовых волокнах определяется соотношением:

$$d_{\text{мод}} = d (0.65 + 1.619 V^{-1.5} + 0.87 V^{-6}),$$

$$\text{где } V \approx \pi d \lambda^{-1} \text{ NA},$$

NA - числовая апертура волокна.

В стандартном одномодовом волокне с $d = 8,3$ мкм и числовой апертурой $\text{NA} = 0,13$ на рабочей длине волны $\lambda = 1,55$ мкм диаметр модового пятна оказывается равным 9,5 мкм.

1.1.6. Числовая апертура

Числовая апертура - это параметр многомодового волокна, определяющий способность оптического волокна собирать свет, попадающий на его торец.

Все лучи, попадающие на торец волокна, входят в него под разными углами к оптической оси. Часть этих лучей, вошедшая под очень большим углом, сразу же выходит из сердцевин и поглощается в оболочке. Другая часть распространяется до противоположного конца волокна. Поэтому существует некий критический угол, при котором луч распространяется в сердцевине. Значению этого угла соответствует величина, которая носит название **номинальной числовой апертуры** (или **эффективной числовой апертуры**):

$$\text{NA} = n_0 \sin \theta_{\text{max}},$$

где n_0 - показатель преломления окружающей среды.

Кроме эффективной числовой апертуры существует **расчетная числовая апертура** - безразмерная величина, численно равная квадратному корню из разности квадратов показателей преломления сердцевин и оболочки:

$$\text{NA} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

1. Основные понятия волоконной оптики

Величина числовой апертуры колеблется от 0,1 до 0,5 в зависимости от диаметра волокна (меньшему диаметру соответствует и меньшая величина числовой апертуры).

1.1.7. Затухание

При распространении по волокну оптические сигналы теряют свою мощность. Это происходит из-за действия двух причин:

- поглощения света;
- рассеяния света.

Поглощение света связано со свойствами материала и с рабочей длиной волны. Поглощение света происходит при возбуждении в материале электронных переходов и резонансов, которые преобразуют часть энергии света в теплоту. Поскольку такие явления связаны с частотой (или длиной волны) света, то и поглощение также зависит от длины волны света. В зависимости от длины волны различают поглощение в ультрафиолетовом диапазоне и поглощение в инфракрасном диапазоне. Инфракрасное поглощение становится значительным на длинах волн выше 1,5 мкм, а ультрафиолетовое - на длинах волн до 1,4 мкм. Кроме них в оптическом волокне существует также поглощение, определяемое примесями в материале волокна. Наибольший вклад в величину затухания дают примеси гидроксильной группы ОН. Ниже приведена зависимость потерь в волокне от длины волны.

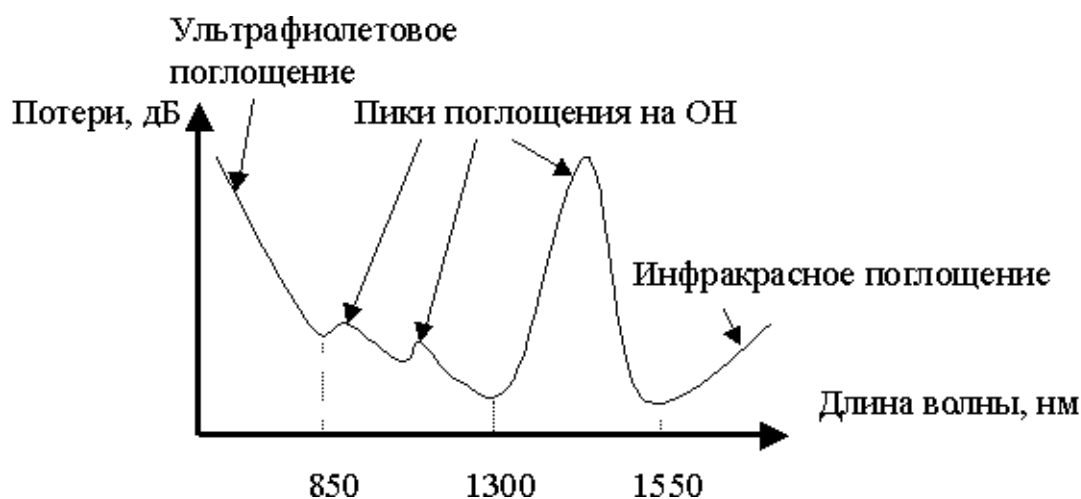


Рис.6. Зависимость потерь в волокне от длины волны.

На Рис.6 изображены 3 диапазона длин волн, которые используются в телекоммуникациях. Эти диапазоны получили название "окон прозрачности" из-за минимального в них затухания:

- ◆ 1 окно от 820 нм до 880 нм;
- ◆ 2 окно от 1280 нм до 1330 нм;
- ◆ 3 окно от 1520 нм до 1580 нм.

Между 2 и 3 окнами располагается участок с увеличенным затуханием, вызванным ионами гидроксильной группы ОН.

Рассеяние света частично происходит из-за свойств материала, но в основном определяется нарушениями геометрической формы оптического волокна. Оно происходит тогда, когда мода распространения света изменится таким образом, что часть оптической энергии покинет волокно. При этом не происходит никаких преобразований энергии излучения в другие виды энергии. Рассеянию также способствуют дефекты в сердцевине волокна и микроскопические неоднородности в материале.

1. Основные понятия волоконной оптики

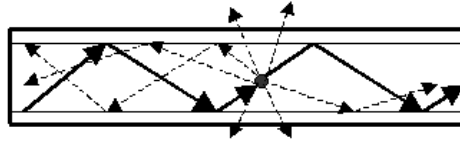


Рис.7. Рассеяние света на неоднородностях в волоконном световоде.

Распространение света от неоднородностей показателя преломления во всех направлениях называется рассеянием Рэлея. Часть света, отраженная от неоднородности в направлении источника излучения называется обратным рассеянием Рэлея, на исследовании которого основана работа оптических импульсных рефлектометров.

Поглощение и рассеяние особенно сильно влияют на сигнал при прохождении его по длинным линиям. На коротких отрезках волокна большой вклад в общие потери оптической энергии вносят потери в пассивных устройствах и потери на соединениях. Кроме них, существенны и потери на изгибах.

1.1.8. Дисперсия

Наряду с затуханием, другим фактором, воздействующим на сигнал, является дисперсия, проявляющаяся в размывании импульсов, то есть увеличении его фронтов при прохождении по волокну.

Существует 3 вида дисперсии:

- модовая дисперсия (или межмодовая дисперсия или модальная дисперсия);
- хроматическая дисперсия;
- поляризационная (внутри)модовая дисперсия (ПМД).

Модовая дисперсия является основным видом дисперсии в многомодовых волокнах со ступенчатым профилем показателя преломления. Она появляется из-за того, что различные моды излучения распространяются по волокну с одинаковой скоростью, но по разным траекториям и поэтому приходят к выходному концу волокна в разное время.

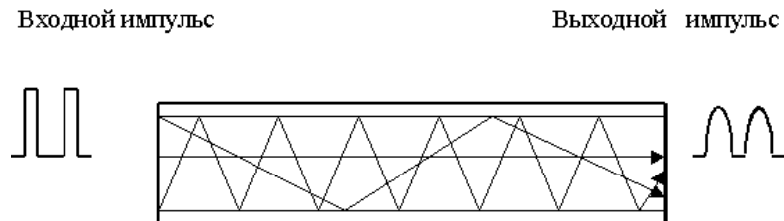


Рис.8. Механизм возникновения модовой дисперсии.

При передаче импульсов, расположенных близко друг к другу, они начинают накладываться друг на друга, что приводит к ошибкам при их приеме.

Хроматическая дисперсия преобладает в одномодовых волокнах и состоит из:

- материальной дисперсии;
- внутримодовой дисперсии.

Материальная дисперсия возникает из-за взаимодействия света с молекулами среды. Так как такое взаимодействие зависит от частоты, то и скорость распространения электромагнитных волн (а свет есть электромагнитная волна) также зависит от частоты, т.е. от частотного спектра электромагнитных волн передаваемого импульса. Электрическая составляющая электромагнитной волны поляризует молекулы диэлектрика (в данном случае стекла), в результате чего они начинают колебаться с частотой волны. Колеблющиеся заряды излучают новые волны той же частоты, которые интерферируют с породившей их волной таким образом, что результирующая волна получает суммарный фазовый сдвиг относительно исходной волны. Таким образом, общий фазовый сдвиг оказывается пропорциональным пройденному волной расстоянию и для разных частот оказывается неодинаковым.

1. Основные понятия волоконной оптики

Внутримодовая дисперсия является основным видом дисперсии для одномодовых световодов. Основная причина ее возникновения - зависимость скорости распространения волны от показателя преломления и длины самой волны. Так как световой импульс состоит из определенного спектра длин волн, то каждая из них имеет разную скорость, и все они приходят к концу волокна в разное время.

Поляризационная модовая дисперсия проявляется в одномодовом волокне из-за неидеальности его геометрических размеров и присутствия механических напряжений. Из-за эллиптичности волокна поляризованные световые волны, отличающиеся типом поляризации, распространяются с разными групповыми скоростями, что приводит к дисперсии и вызывает ошибки при приеме информации. Максимальное влияние ПМД оказывает на высокоскоростные системы. Поляризационная модовая дисперсия в основном появляется из-за нарушения цилиндрической (круговой) симметрии сердцевины и оболочки. В идеале эта симметрия делает волокно совершенно изотропным. Поэтому, если с помощью нарушения круговой симметрии ввести некоторую анизотропию волокна, то ПМД можно изменять, то есть появляется возможность управления ею в процессе изготовления. Также можно изменять ПМД в развертываемом волокне путем создания несимметрично распределенного механического напряжения.

1.1.9. Ширина полосы пропускания

Волоконно-оптическую систему связи можно рассматривать как линейную систему с ограниченной полосой пропускания.

Информационная емкость оптического волокна характеризуется его полосой пропускания и коэффициентом широкополосности. Полоса пропускания представляет собой область частот, в которой значение амплитудно-частотной характеристики волокна составляет не менее половины ее максимального значения, что соответствует снижению уровня оптической мощности на 3 дБ. Оптическое волокно характеризуется коэффициентом широкополосности, который определяется по формуле:

$$K = B \cdot L,$$

Где B – ширина полосы пропускания, МГц, а L – длина измеряемого волокна. Коэффициент широкополосности равен полосе пропускания волокна длиной 1 км и выражается в мегаГерцах, умноженных на километр.

Полоса пропускания ограничивает максимальную верхнюю частоту сигналов, передаваемых по волокну ограниченной длины. Так, если ширина полосы пропускания 100 МГц*км, то это означает, что сигналы с частотой 100 МГц можно передать и без ошибок принять на другом конце участка длиной 1 км. Тогда сигнал с верхней частотой 200 МГц можно передать на расстояние лишь 0,5 км, а сигнал с верхней частотой 50 МГц - на расстояние 2 км. Ширина полосы пропускания определяется следующим выражением:

$$B = 0,44/\tau$$

где B - ширина полосы пропускания; τ – величина уширения импульсов:

$\tau = (t_{\text{вых}}^2 - t_{\text{вх}}^2)^{1/2}$, где $t_{\text{вых}}$, $t_{\text{вх}}$ (нс) – длительность входного и выходного импульсов по уровню 0,5.

1.2. Световоды для сетей передачи данных и телефонии

Волокно в сети связи выступает в качестве передающей среды и, следовательно, является одним из основных компонентов, определяющих рабочие параметры системы в целом. В компьютерных сетях и линиях связи применяются два основных класса волокна: многомодовое и одномодовое. Многомодовое волокно используется, как правило, в локальных компьютерных сетях, где длина передающего канала не превышает 2 км. Преимущество систем на многомодовом волокне в относительно низкой стоимости активного оборудования, так как большой диаметр сердцевины волокна позволяет использовать относительно недорогие источники оптического излучения на светоизлучающих диодах, а также недорогие коннекторы. Область применения многомодовых волокон ограничивается шириной полосы пропускания, определяемой в МГц*км. Основным фактором, ограничивающим полосу пропускания в многомодовых волокнах, является межмодовая дисперсия. Этот фактор отсутствует в одномодовых волокнах, поддерживающих распространение лишь одной основной

1. Основные понятия волоконной оптики

моды оптического излучения. Одномодовые волокна используются для передачи высокоскоростных потоков данных на большие расстояния: в телефонии, кабельном телевидении, между удаленными друг от друга на расстояние от 2 до 10 км сегментами компьютерной сети и т.д. Реализация одномодового оптического канала передачи данных требует более дорогого активного оборудования с излучателями на основе одномодовых лазеров и более точных и, следовательно, дорогих коннекторов. Наиболее распространенными являются два типа многомодовых волокон с диаметрами сердцевины 50 и 62,5 мкм. Одномодовые волокна для линий связи имеют сердцевину 9,5 мкм. Диаметр оболочки всех этих типов волокон составляет 125 мкм.

1.2.1. Основные параметры кварцевых волоконных световодов

Оптические волокна и кабели тестируются производителями по следующим параметрам:

1. Оптические характеристики на рабочих длинах волн:
 - А) коэффициент затухания;
 - Б) диаметр модового поля;
 - В) коэффициент поляризационной модовой дисперсии;
 - Г) длина волны отсечки в волокне.
2. Геометрические характеристики:
 - А) диаметр оболочки;
 - Б) неконцентричность сердцевины/оболочки;
 - В) диаметр покрытия;
 - Г) неконцентричность покрытия;
 - Д) радиус собственной кривизны волокна.
3. Механические свойства:
 - А) параметр динамической усталости;
 - Б) параметр статической усталости;
 - В) механическая прочность, гарантированная при перемотке;
 - Г) сила снятия покрытия;
4. Устойчивость волокна к воздействию окружающей среды.
 - А) диапазон рабочих температур;
 - Б) температурная зависимость затухания;
 - В) термовлагоциклирование;
 - Г) действие погружения в воду;
 - Д) старение.
5. Рабочие характеристики:
 - А) диаметр сердцевины;
 - Б) числовая апертура;
 - В) длина волны нулевой дисперсии;
 - Г) наклон кривой дисперсии в точке обращения в ноль;
 - Д) разброс показателей преломления;
 - Е) эффективный показатель преломления для группы волн.

В настоящее время в России используются волокна различных производителей. Наиболее часто используются волокна производства Fujikura (Япония), Corning (США), Lucent (США), Alcatel (Франция), реже – Furukawa (Япония), Plasma и другие.

1.2.2. Многомодовые световоды

Стандартные многомодовые световоды

Наиболее широкое применение многомодовые волокна нашли в компьютерных сетях, включая СКС. Наиболее широкое применение нашли два типа волокна: с диаметром сердцевины 50 и 62,5 мкм. Это кварцевые световоды с градиентным профилем показателя преломления. Эти волокна ориентированы на использование в двух окнах прозрачности: 850 и 1300 нм. Применение в составе СКС регламентируется стандартами TIA/EIA-568-A и ISO/IEC-11801. В соответствии со стандартами для сетей типа Fast Ethernet длина многомодовых линий не превышает 2 км, в качестве источников используются светодиоды.

Широкополосные многомодовые световоды

Новые разработки в области многомодовых световодов ориентированы на высокоскоростные приложения, преимущественно Gigabit Ethernet. Принципиальное отличие систем Gigabit

1. Основные понятия волоконной оптики

Ethernet в том, что в большинстве передающих блоков в качестве излучателя используется лазер, а не светодиод. Лазеры со структурой VCSEL как по быстродействию, так и по мощности значительно превосходят стандартные светодиоды. Использование лазеров со структурой VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) по экономическим соображениям предпочтительно в спектральном окне 850 нм. В этом окне влияние межмодовой дисперсии в стандартных многомодовых световодах проявляется особенно сильно. Это побудило фирмы – производители волоконных световодов к разработке новой серии многомодовых световодов. Геометрические параметры новых волокон соответствуют общепринятым стандартам: 50/125 и 62.5/125. Изменены дисперсионные характеристики, так что полоса пропускания на выбранной длине волны (850 или 1300 нм) оказывается существенно выше. Новые волокна имеют торговые марки, определенные производителем. Тестирование волокон, как правило, проводится и для Gigabit Ethernet, и для стандартных светодиодных источников.

Наиболее широкий выбор волокон для высокоскоростных приложений предлагает компания Corning, это волокна серии InfiniCor. Компании Alcatel и Lucent Technologies также освоили выпуск широкополосных волокон. Параметры волокон представлены в таблице 1.

Табл.1. Мномомодовые волокна разных производителей.

Производитель	Марка волокна	Тип	Затухание, дБ/км		Коэффициент широкополосности, МГц*км *)		Дальность передачи для GBE, км **)	
			850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм	850 нм	1300 нм
Corning	62.5/125	62.5/125	3,0	0,7	160	500	-	-
Corning	50/125	50/125	2,5	0,8	400	400	-	-
Corning	InfiniCor 300	62.5/125	3,0	0,7	>160	>500	300	550
Corning	InfiniCor 600	50/125	2,5	0,8	500	500	600	600
Corning	InfiniCor 1000	62.5/125	3,0	0,7	>160	>500	500	1000
Corning	InfiniCor 2000	50/125	2,5	0,8	500	500	600	2000
Alcatel	GigaLite	62.5/125	3,2	0,9	500	500	550	-
Alcatel	GigaLite	50/125	2,4	0,7	700	1200	750	-
Lucent Technologies	LazrSpeed	50/125	2,5	0,8	-	-	600	600

*) – для светодиодных (LED) источников

**) – для лазерных (VCSEL) источников

GBE – Gigabit Ethernet

Световоды с улучшенными дисперсионными характеристиками полностью совместимы со стандартными волокнами того же типа (такого же диаметра сердцевины). Многие кабельные заводы уже выпускают кабели с широкополосными световодами, преимущественно это кабели для внутриобъектовой прокладки.

1.2.3. Одномодовые световоды

Стандартные одномодовые световоды

Одномодовые световоды имеют ступенчатый профиль показателя преломления. Сердцевина волокна легирована двуокисью германия. Особенностью одномодового волокна является тот факт, что часть энергии сигнала передается вне световедущей сердцевины. Поэтому при маркировке кабелей с такими волокнами указывается диаметр не сердцевины, а модового пятна: 9.5/125. Волокна предназначены для работы в двух окнах: 1310 и 1550 нм. В первом окне за счет минимума дисперсии обеспечивается наибольшая скорость передачи, тогда как во втором – максимальная дальность без усиления благодаря малым (0,25 дБ/км) потерям. Благодаря высокой широкополосности одномодовые световоды используются в телефонных линиях большой протяженностью, в сетях кабельного телевидения. В компьютерных сетях одномодовые волокна используются только на магистральных участках длиной несколько километров. Это связано с довольно высокой стоимостью одномодовых излучателей.

1. Основные понятия волоконной оптики

Стандартные одномодовые волокна выпускаются всеми производителями кварцевых световодов. На отечественном рынке представлены световоды таких фирм, как Corning (США), Fujikura (Япония), Lucent Technologies (США), Plasma и т.д. Допуски на параметры световодов весьма жесткие, так что волокна разных производителей легко стыкуются между собой.

Одномодовые световоды со смещенной дисперсией

Строящиеся в настоящее время магистральные волоконно-оптические линии предполагают использование усилителей на активных волокнах для компенсации потерь в световодах и спектрального уплотнения для расширения полосы пропускания. Для повышения дальности передачи оптического сигнала целесообразно использование окна прозрачности кварцевого стекла вблизи 1550 нм, характеризуемого минимальными потерями. В этой же области усилители на активных волокнах имеют высокий коэффициент усиления и практически равномерную спектральную зависимость усиления. Последнее обстоятельство очень важно для возможности применения спектрального уплотнения оптических каналов. Спектральное уплотнение позволяет в десятки раз повысить скорость передачи информации, а следовательно, экономическую рентабельность линий связи. Специально для систем со спектральным уплотнением, так называемых DWDM (Density Wavelength Domain Multiplexing), разработаны световоды с малыми значениями дисперсии в области 1550 нм. Эти световоды имеют W-образный профиль показателя преломления в отличие от ступенчатого профиля стандартных одномодовых волокон. Изменение профиля показателя преломления позволяет сместить точку нулевой дисперсии в область больших длин волн. Такие волокна получили название волокон со смещенной дисперсией.

Волокна со смещенной не нулевой дисперсией обеспечивают:

- Малую величину дисперсии в окне прозрачности 1550 нм
- Высокую скорость передачи по отдельным каналам (до 10 Гбит/с)
- Возможность применения спектрального уплотнения (DWDM)
- Большую длину регенерационного участка
- Совместимость со стандартными одномодовыми световодами

Световоды со смещенной дисперсией выпускаются несколькими производителями и имеют соответствующие торговые марки. Компания Corning выпускает световоды типа LEAF. Lucent Technologies предлагает волокна Truwave, оптимизированного для окна прозрачности 1550 нм, и Allwave, волокна с малыми потерями во всем диапазоне от 1310 до 1550 нм.

Табл.2. Волоконные световоды SMF-28 и LEAF производства Corning

Технические параметры волокон фирмы CORNING Inc.	SMF-28™	LEAF®
Рабочая длина волны, нм	1310 1550	1530..1625
Коэффициент затухания, дБ/нм, не более:		
- на длине волны 1310 нм	0,34	-
- на длине волны 1550 нм	0,20	0,22
- на длине волны 1625 нм		0,25
Коэффициент хроматической дисперсии, пс/нм·км, не более:		
- в интервале длин волн (1285-1330) нм	3,5	-
- в интервале длин волн (1530-1565) нм	18	2,0...6,0
- в интервале мин волн (1565-1625) нм		4,5...11,2
Наклон дисперсионной характеристики в области длины волны нулевой дисперсии, пс/нм²·км, не более:		
- в интервале длин волн (1285-1330) нм	0,092	
Длина волны отсечки, нм, не более	1260	-
Диаметр модового поля, мкм;		
- на длине волны 1310 нм	9,2±0,4	-

1. Основные понятия волоконной оптики

- на длине волны 1550 нм	10,5±1,0	9,2...10,0
Геометрия стекла:		
- собственный изгиб волокна		>4,0 м
- диаметр отражающей оболочки		125,0±1,0 мкм
- неконцентричность сердцевины		<0,5 мкм
- некруглость оболочки		1,0 %

1.3. Оптический кабель

Итак, тип волокна определяет характеристики системы связи. Однако, с практической точки зрения, следует говорить не о волокнах, а об оптических кабелях, т.к. условия прокладки и эксплуатации диктуют требования механической защиты волокон. Существует огромное разнообразие типов и конструкций кабеля, выбор которых должен быть обусловлен в первую очередь условиями эксплуатации. Ниже приводятся некоторые соображения по выбору типа кабеля.

Оптический кабель - это группа оптических волокон, объединенных в одной конструкции и снабженных упрочняющими и защитными элементами. Он включает в себя следующие основные компоненты:

- оптические волокна в оболочке с защитными покрытиями;
- сердечник кабеля;
- упрочняющие элементы кабеля;
- защитные покрытия кабеля.

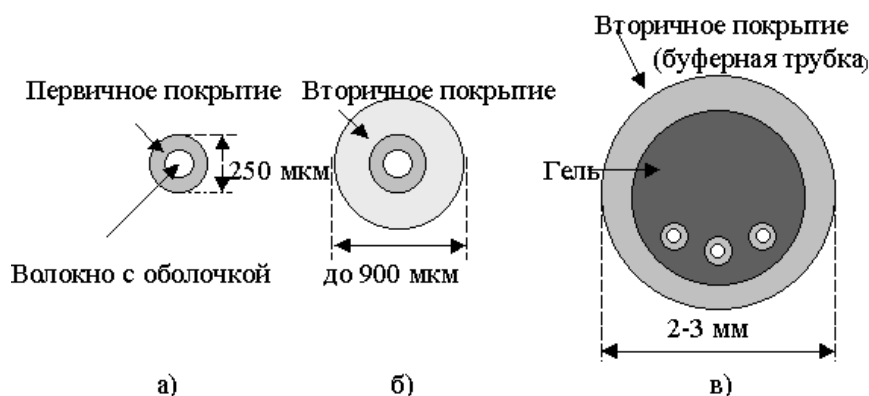


Рис.9. Волокно в первичном покрытии (а), плотно прилегающем вторичному покрытию (б) и вторичном покрытии в виде буферной трубки (в).

Поверх стеклянной оболочки волокна защищаются первичным покрытием, изготовленным чаще всего из акрила. Диаметр волокна с первичным покрытием 245 ± 10 мкм. Поверх первичного покрытия наносится вторичное покрытие, которое может, как плотно прилегать к нему, так и быть свободным. Полимерное буферное покрытие имеет 900-мкм наружный диаметр. В случае свободного вторичного покрытия оно называется свободным буферным покрытием или свободной трубкой.

Сердечники кабеля могут быть разной конструкции. Наиболее часто встречаются три вида сердечников:

- повивный;
- с использованием трубок;
- с профилированным сердечником.

1. Основные понятия волоконной оптики

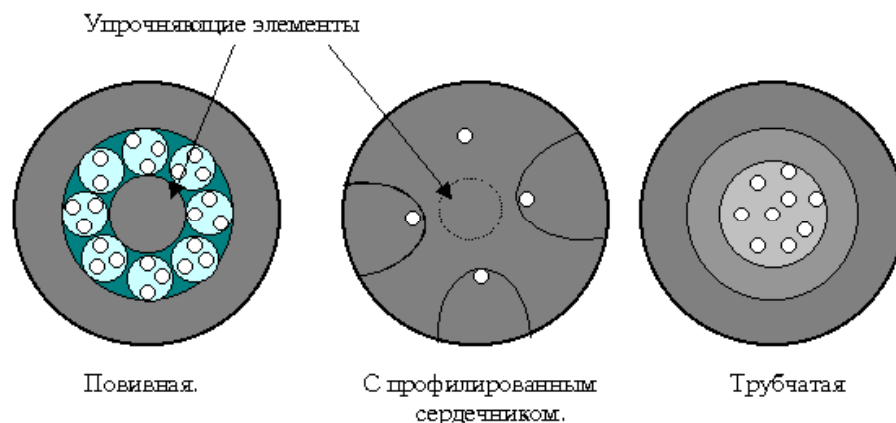


Рис.10. Конструкции волоконно-оптических кабелей.

В роли упрочняющих элементов обычно выступают покрытые медью стальные провода или стержни из пластмассы повышенной прочности. При необходимости кабель дополнительно упрочняется с помощью повива из кевларовых нитей или стекловолоконных лент. Задачей упрочняющих элементов является защита волокна от больших продольных механических напряжений, возникающих при прокладке и эксплуатации кабеля и вызывающих растяжение волокна.

Защитные оболочки служат для сохранения формы кабеля при больших поперечных напряжениях и защиты от внешней среды. Обычно они выполняются из полиэтилена. Поверх полиэтилена на кабель накладывается алюминиевая (стальная) лента или гофрированная стальная трубка. На нее наносится еще один слой полиэтилена.

Подробных параметров на конструкции кабелей в международных (IEC) и в европейских (CENELEC) стандартах не существует. Обычно определяются функциональные требования, соответствие которым проверяется посредством механических тестов и тестов на устойчивость к воздействиям окружающей среды.

1.3.1. Типы оптических кабелей

Существующие в настоящее время оптические кабели по своему назначению разделяются на 3 основные группы: магистральные, зоновые и городские кабели. Кроме того, существуют подводные, объектовые и монтажные ОК.

1.3.2. Кабели для внешней прокладки

Магистральные оптические кабели применяются для связи на протяженных расстояниях при большом числе каналов. Для хорошей работы на магистралях они должны иметь малое затухание и небольшую дисперсию и обладать большой пропускной способностью. Для обеспечения таких требований в таких кабелях применяется одномодовое волокно с диаметром сердцевины 9,5 мкм и оболочки 125 мкм. Рабочие длины волн при этом располагаются в окнах прозрачности 1,3 и 1,55 мкм.

Магистральные бронированные кабели

Для прокладки в городской канализации, трубах, коллекторах чаще всего используются кабели в броне из гофрированной стальной ленты или тонкой стальной оцинкованной проволоки. Для облегчения разделки таких кабелей под внешнюю оболочку закладывается высокопрочная синтетическая разрывная нить (rip-cord), которая при вытягивании делает на оболочке продольный разрез, открывая доступ к кабельному сердечнику. Стандартный диапазон изменения рабочих температур кабелей этого типа составляет от -60 ... +70 °C.

Для прокладки непосредственно в открытый грунт применяются кабели с броней из стальной оцинкованной проволоки. Специальные конструкции с броней из проволоки диаметром до 3 мм могут прокладываться в грунтах всех категорий, включая скальный, а также на дне водоемов.

Кабели для подвески

Для подвески, которая чаще всего осуществляется на опорах контактной сети, используются полностью диэлектрические самонесущие кабели и кабели, встроенные в грозозащитный трос. Самонесущий оптический кабель (self-supporting loose tube cable) используется для подвески на опорах линий связи, контактной сети железных дорог и линий электропередачи напряжением не

1. Основные понятия волоконной оптики

выше 110 кВ. Кабель подвешивается на опорах с помощью специальных зажимов. Длина пролета обычно составляет 60 м и более. Температурный диапазон от -60 до + 70 °С делает возможным использование таких кабелей в условиях низких температур.

Кабели для водных переходов

Подводные оптические кабели предназначены для обмена информацией между узлами связи, разделенными большими водными преградами. Такие кабели имеют двойной слой гидроизоляции и двойной бронепокров. Для глубоких водных преград конструкция кабеля специально рассчитывается.

1.3.3. Внутриобъектовые кабели

Объектовые кабели используются для связи внутри различных объектов. Их применяют во внутренних сетях кабельного телевидения, в учрежденческой и видеотелефонной связи, а также в бортовых информационных системах подвижных объектов, таких как самолет или корабль.

Распределительные кабели

Все чаще используются распределительные кабели (distribution cable), предназначенные для прокладки как внутри зданий и сооружений, так и в городской канализации, имеющие покрытие типа LSOH (Low Smoke Zero Halogen) - без выделения дыма при горении и с нулевым содержанием галогенов. Благодаря сравнительно высокой прочности (допустимое растягивающее усилие типично составляет 2000-3000 Н), легкости и гибкости этот кабель находит широкое применение в городских коммуникациях. Благодаря наличию 900-микронного покрытия волокон этот кабель удобно оконцовывать непосредственно на объекте и использовать в виде многожильных кабельных шнуров. Стандартный рабочий температурный диапазон распределительных кабелей составляет -40 ... +70 °С. При необходимости защиты от грызунов в зданиях и канализации могут применяться распределительные кабели с дополнительным армированием стекловолоконными нитями.

Кабели для внутриобъектовой прокладки

Кабели для внутриобъектовой прокладки (patch cables) предназначены для коммутации приборов и оборудования и разводки небольшой протяженности в декоративных коробах внутри помещения. Такие кабели отличаются повышенной гибкостью, облегченной конструкцией за счет использования однослойного диэлектрического покрытия, а также отсутствия элементов защиты от влаги. Дополнительную защиту обеспечивает 900-микронное покрытие волокон и армирование кевларовыми нитями. Эти кабели имеют одноволоконный (simplex) и двухволоконный (duplex) варианты. Диапазон рабочих температур варьируется от -20 до + 70 °С.

1.3.4. Маркировка кабеля

В настоящее время в России оптический кабель производится несколькими заводами и маркируется в соответствии с техническими условиями. Пример маркировки, наносимой на кабель производства “Севкабель-Оптик”:

X1 X2 X3 X4 X5 X6 X7 X8 X9 X10 X11 x12
[код завода] [тип кабеля] [число волокон] [тип волокон] [число волокон в модуле]

Пример кодового обозначения кабеля: СЕВ-ДПТ-016 Е 4

1.4. Источники и приемники излучения для волоконно-оптических систем

1.4.1. Лазеры и светодиодные источники

Основные требования к генераторам излучения – обеспечение требуемой мощности в волоконном световоде и долговременной временной стабильности параметров излучения. Обычно в качестве источников используются полупроводниковые лазерные диоды или светодиоды, причем первые из них используются в основном в одномодовых системах, а вторые - в многомодовых линиях связи небольшой протяженности. *Лазерные диоды* мощнее и угловая апертура их излучения меньше, поэтому мощность в волоконном световоде выше, чем в случае использования светодиода. Однако стоимость лазеров выше, что влияет на стоимость прямо-передающей аппаратуры в целом.

Достижимая на практике мощность излучения от лазерного источника в одномодовом волоконном световоде позволяет передавать данные на расстояния до 250 км. Для повышения временной стабильности параметров излучения применяют соответствующие технические

1. Основные понятия волоконной оптики

решения. Резонатор лазера просветляется с одной стороны для согласования волноводных параметров с волоконным световодом и уменьшения отражений между выходной гранью лазера и торцом волокна, что снижает амплитудные и фазовые шумы источника. С другой стороны резонатора устанавливается фотодиод обратной связи. Обратная связь по фототоку позволяет контролировать выходную мощность лазера и компенсировать флуктуации, вызванные температурной чувствительностью полупроводниковой структуры. Совокупность этих мер позволяет обеспечить стабильность энергетических параметров источника в течение длительного времени. Внешний вид полупроводникового лазера, сопряженного с волоконным световодом, показан на рис.11.

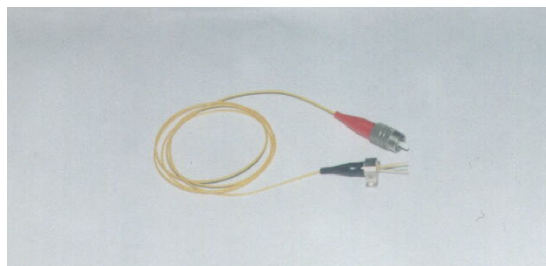


Рис.11. Лазер, сопряженный с волокном.

Светодиодные полупроводниковые источники, применяемые в локальных компьютерных сетях, характеризуются более широкой диаграммой направленности, практически изотропной в азимутальном направлении. Уровень мощности, вводимой в стандартный многомодовый волоконный световод, в среднем на порядок ниже, чем в предыдущем случае. Так как длины сегментов компьютерных сетей на многомодовых кабелях в соответствии с действующими стандартами не превышают 2 км, этой мощности вполне достаточно для стабильной работы сетевого оборудования.

Новый класс источников предложен для высокоскоростных систем передачи данных – источники типа VCSEL. Эти источники занимают промежуточное положение между лазерами и светодиодами: их параметры выше, чем у последних, а стоимость ниже, чем у лазеров, см. Табл.3.

Табл.3. Сравнение параметров лазерного VCSEL и светодиодного источников.

Источник	Лазер типа VCSEL	Светодиод (LED)
Рабочая длина волны, нм	850	850
Ширина спектра, нм	0,5	50
Ток модуляции, мА	10	60
Выходная мощность, дБм	0	-15
Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	2000	125

С точки зрения практического использования важна не столько мощность оптического излучения, введенного в световод, а такой параметр, как динамический диапазон, измеряемый в дБ. Динамический диапазон - интервал между мощностью источника оптического излучения и порогом чувствительности измерителя оптической мощности. Динамический диапазон определяет максимальное затухание оптического сигнала, которое может быть измерено данным комплектом приборов.

1.4.2. Приемники оптического излучения

Приемники в оптических сетях должны обеспечивать низкий порог чувствительности, достаточно большой динамический диапазон регистрации оптического сигнала. К измерительной аппаратуре кроме указанных предъявляются требования высокой линейности, широкого спектрального диапазона измерений, равномерной чувствительности в заданном спектральном диапазоне или на длинах волн калибровки.

Основным элементом измерителя является фотодиод, основной характеристикой которого является чувствительность R , которая определяется как отношение фототока к падающей оптической мощности и измеряется в А/Вт: $R \sim \eta \cdot \lambda$, где η - квантовая эффективность (отношение количества электронов на выходе фотодиода количеству падающих на его фоточувствительную

1. Основные понятия волоконной оптики

площадку квантов света), λ - длина волны оптического излучения. Для идеального фотодиода $\eta = 1$. Спектральные зависимости чувствительности для некоторых типов фотодиодов представлены на Рис. 12.

В ближнем ИК диапазоне высокая квантовая эффективность у кремниевых фотодиодов. В области длин волн 1,0 ... 1,6 мкм высокой квантовой эффективностью характеризуются фотодиоды на Ge. Фотодиоды на основе тройных (InGaAs) и четверных (InGaAsP) соединений при прочих равных условиях могут использоваться в более широком спектральном диапазоне. Этим обусловлено все возрастающее применение в тестерах именно таких фотоприемников и эта тенденция только усиливается в связи с развитием систем со спектральным уплотнением. Компенсация неравномерности спектральной чувствительности фотодиодов достигается за счет соответствующих схем обработки. Обычно равная чувствительность устанавливается в точках калибровки, например, 850, 1310 и 1550 нм. В приборах более высокого класса калибровка компенсации неравномерности может осуществляться с заданным шагом по длине волны, например, 1 нм или 5 нм.

Применяемые в настоящее время фотоприемники имеют довольно широкую фоточувствительную площадку: типовой размер такой площадки фотодиода на основе InGaAs - 1 мм, на Si и Ge - 5 мм. Эти размеры существенно больше размеров модового пятна на выходе волоконного световода, что позволяет использовать одни и те же измерители как на одномодовых, так и на многомодовых линиях. Максимальная допустимая для точных измерений мощность определяется границей линейности характеристики измерителя (с учетом неравномерного характера распределения мощности на выходе световода).

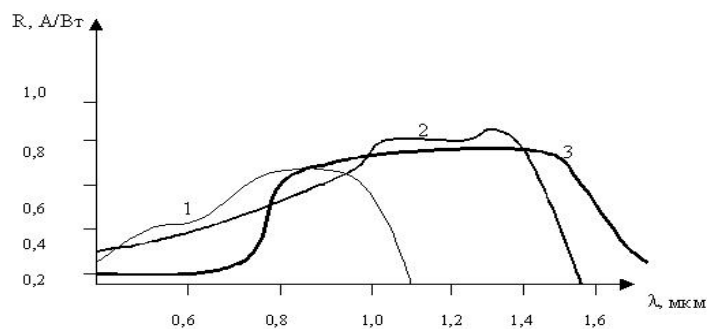


Рис.12. Спектральная зависимость чувствительности фотоприемников на основе Si (1), Ge (2), InGaAs (3)

2. Компоненты

2.1. Соединители

Соединитель в волоконной оптике – комплект коннекторов, стыкуемых в розетке. В настоящее время на отечественном рынке наиболее часто предлагаются соединители стандартов ST, FC и SC. Что их объединяет и в чем различие? Каковы критерии качества оптического соединения?

Эти соединители имеют “традиционный” керамический наконечник диаметром 2,5 мм. Керамика (окись циркония) имеет коэффициент теплового расширения, близкий к стеклу, что обеспечивает стабильность параметров соединения в широком температурном диапазоне, обычно это от –40 до +80°C. Наконечник имеет выпуклую торцевую поверхность с радиусом закругления около 20 мм. Соединители подпружинены, так что при стыковке коннекторов в розетке торцы наконечников прижимаются друг к другу с усилием (порядка 10 Н). Возникающий при такой стыковке физический контакт (РС) волокон исключает воздушный зазор между ними, тем самым снижает влияние Френелевского отражения.

2.1.1. Оптические параметры разъёмного соединения

Основные параметры соединения:

- Величина вносимых потерь
- Уровень обратных отражений

Качество соединения в большой степени зависит от наконечника. Для одномодовых кабелей используются наконечники с малым допуском внутреннего отверстия, в которое вклеивается волокно (обычно не более 1 мкм). Тип стыковки корпуса коннектора в розетке также влияет на величину вносимых потерь.

Уровень обратных отражений определяет уровень шумов в одномодовых линиях. Этот параметр имеет особо важное значение в линиях дальней связи и сетях кабельного телевидения.

Величина обратных отражений зависит от качества полировки. Последнюю обозначают:

PC (physical contact) – обратные отражения не более – 35 дБ относительно передаваемого сигнала, SPC (super physical contact) – 45 дБ, UPC (ultra physical contact) – 55 дБ, APC (angled physical contact) – 65 дБ. Стандартная машинная полировка обеспечивает уровень обратных отражений не хуже –40 дБ.

Использование дополнительных циклов полировки на мелкозернистых пленках позволяет получить SPC и UPC контакты. Последний весьма чувствителен к внешним воздействиям, таким, как пыль, случайные соприкосновения с твердой поверхностью и не допускает даже стандартной очистки безворсовой салфеткой, только сжатым воздухом. Принципиальное отличие соединителей APC от остальных – торец наконечника скошен под углом 8 или 9° к оси. Такая конструкция обеспечивает уровень обратных отражений порядка – 60 дБ даже без дополнительных циклов полировки в течение длительного времени использования.

Для контроля качества полировки в ходе технологического процесса контролируются такие параметры, как смещение вершины торца (offset) и заглубление волокна (fiber undercut). Смещение вершины торца означает рассогласование вершины закругленного торца наконечника и оси волокна. По требованиям спецификации IEC допускается смещение до 50 мкм. В противном случае соединение не обеспечивает надежного физического контакта. Заглубление волокна – разница между уровнем торца наконечника и самим волокном. При правильной полировке волокно оказывается углублено в наконечнике на уровень 50 ... 125 мкм. При стыковке таких коннекторов усилие прижима равномерно распределяется между волокном и наконечником. Если волокно оказывается глубже, теряется физический контакт, если наоборот, выступает – угроза потери параметров соединения в процессе эксплуатации.

Измерение параметров соединения проводится с помощью приборов:

- Оптический тестер для измерения проходных потерь,
- Измеритель обратных отражений (или дополнительный блок к тестеру),
- Интерферометр для проверки качества полировки (смещение вершины торца и заглубление волокна).

Методы измерения оптических параметров соединения будут подробно рассмотрены ниже.

2.1.2. Стандартные волоконно-оптические соединители

Соединитель ST был разработан в Bell Labs. (Lucent Technologies) в середине 80-х годов. Удачная конструкция коннектора ST обусловила ему самую широкую поддержку производителей. Коннектор снабжен подпружиненной втулкой типа байонет, повернув которую на четверть оборота можно просто и надежно зафиксировать соединение (Рис.13). Для защиты от прокручивания в момент установки применяется боковой ключ, входящий в паз розетки. Средние потери на соединении 0,2 дБ. Соединитель прост и надежен в использовании. В настоящее время широко используется в локальных компьютерных сетях, в частности СКС.



Рис.13. Соединитель ST.

Простота конструкции имеет свои отрицательные стороны. Соединение чувствительно к рывкам за кабель, механическим воздействиям на корпус. К недостаткам можно отнести и большую область, занимаемую одним соединителем (байонетное соединение требует вращательного движения, что подразумевает охват пальцами руки всего соединителя).

Соединитель FC был разработан в NTT (Япония). Соединитель ориентирован преимущественно на применение в одномодовых линиях (дальняя связь, кабельное телевидение). Конструкция разъема обеспечивает развязку подпружиненного наконечника относительно корпуса, что повышает надежность соединения.



Рис.14. Соединитель FC.

Соединение винтовое: коннектор снабжен накладной гайкой M8x0,75 и ключом (Рис.14). Многокомпонентная конструкция соединителя FC допускает вращение наконечника в процессе установки, что позволяет снизить вносимые потери до 0,2 дБ и ниже. Этот же факт обуславливает высокую стоимость соединителя. К недостаткам также можно отнести и большую область, занимаемую одним соединителем (соединение требует вращательного движения, что подразумевает охват пальцами руки всего соединителя).

Соединители FC широко используются в соединениях с минимальными обратными отражениями: SPC, UPC, APC.

Соединитель SC (subscriber connector – абонентский коннектор) применяется с 1990 года. Особенность конструкции коннекторов SC – фиксация в корпусе розетки без поворота корпуса (push-pull). Это предохраняет наконечники соединителей от прокручивания при стыковке. Независимое крепление наконечника относительно корпуса коннектора (pull-proof) обеспечивает надежность соединения при механических воздействиях на корпус коннектора и рывках за кабель (Рис.15).

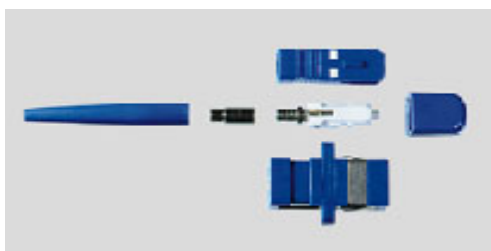


Рис.15. Соединитель SC.

Коннекторы SC имеют пластмассовый корпус, так что их механическая прочность уступает коннекторам ST. Соединители SC выпускаются как для многомодовых, так и для одномодовых применений, в симплексном и дуплексном вариантах. Пластмассовый корпус позволяет использовать цветовую маркировку разъемов. Одномодовые коннекторы имеют обычно голубой, бежевый, а многомодовые – черный, серый цвет. Коннекторы со скошенным наконечником (APC) имеют зеленый корпус и такой же хвостовик.

Преимущество соединителей SC – возможность более плотного монтажа, цветовой маркировки. Стандарт ANSI/TIA/EIA-568-A предполагает использование соединителя SC как основного типа коннектора.

2.1.3. Малоразмерные волоконно-оптические соединители

В последнее время и отечественным инсталляторам приходится сталкиваться с соединителями нового поколения – SFF (Small Form Factor). Основное назначение новых соединителей – доведение волоконно-оптического кабеля непосредственно до рабочего места (Fiber to the Desk) в компьютерных сетях. Основное их отличие – размеры, стоимость, возможность установки вместо существующих электрических соединителей (например, RJ-45).

Малоразмерные соединители уже активно устанавливаются в магистральных, вертикальных и горизонтальных системах. Инсталлировано более 30 млн. шт. Лидер по числу установок - разъем LC, 2/3 от общего количества. На втором месте MT-RJ, дальше идут VF-45 (SG) и Opti-Jack (FJ).

Соединитель MT-RJ создан на основе MT в апреле 1997 года. В его разработке участвовал консорциум компаний AMP Tyco Electronics), Fujikura, Hewlett-Packard Agilent Technologies), Siecor и Conec. Основное преимущество MT-RJ – его



Рис.16. Соединитель MT-RJ

В
(теперь
(теперь
размер.

2. Компоненты

Дизайн коннектора разработан на основе популярного разъема RJ-45 (Рис.16). Для уменьшения усилий по внедрению новой конструкции соединитель MT-RJ сделан так, чтобы требовались минимальные изменения существующих коммутаторов и концентраторов.

Разъем MT-RJ имеет розеточную и коннекторную части. Розеточная часть легко устанавливается вместо розеток стандарта RJ в горизонтальной разводке (в коробах и кроссовых панелях). Размер розеточной части MT-RJ вдвое меньше стандартного дуплексного SC, что обеспечивает высокую плотность коммутации. Стоимость MT-RJ – половина дуплексного SC.

MT-RJ разработан для одномодовых и многомодовых применений. Базовый наконечник – дуплексный. Отверстия для двух волокон разнесены на 0.75 мм, так что разъем можно использовать как для многомодовых (50/125 и 62.5/125), так и для одномодовых (9.5/125) волокон для гигабитных приложений. Вносимые потери для многомодового соединения менее 0.2 дБ, что даже ниже допустимых стандартом TIA/EIA-568-B.3. Потери для одномодового соединения остаются высокими: 0.5 дБ.

Другая важная особенность соединителя MT-RJ – обратная защелка, выполненная в том же стиле, что и у разъема RJ. Она расположена на задней части соединителя, защелкивается без усилий и предотвращает риск случайного отсоединения.

Разъем MT-RJ может устанавливаться в “полевых” условиях. Технология оконцевания розеточной части – “no polish”. Для монтажа используется специальный набор инструментов, содержащий 5 приспособлений. Волокна кабеля разделяются, скалываются и фиксируются в устройстве типа механического соединителя Corelink. Время оконцевания 1...2 мин. Патчкорды используются готовые.

Соединитель LC предложен компанией Lucent Technologies в 1995 году как альтернатива SC. Разъем спроектирован для сетей Gigabit Ethernet, идеально подходит для высокоскоростных приложений, сетей типа SONET/SDH.

LC – соединитель для одного волокна, имеет традиционный цилиндрический наконечник (Рис.17). Применяется там, где необходима высокая плотность монтажа. Преимущество LC над другими малогабаритными соединителями – минимальное вносимое затухание, около 0.1 дБ. Это делает его удобным для одномодовых применений.

Технология установки LC позволяет проводить монтаж на объекте.

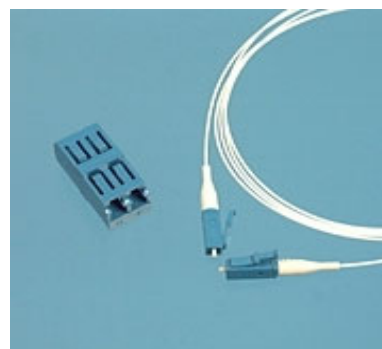


Рис.17. Соединитель LC

Соединитель VF-45 (SG) предложен компанией 3М в 1998 году как составная часть новой технологии Volitin. Основная цель разработки – снижение стоимости системы передачи данных “оптика до рабочего места”. Технология Volitin включает соединители VF-45 как центральный компонент. Стоимость одного разъема VF-45 в пять раз меньше стандартного дуплексного соединителя SC. Замена интерфейсов сетевых плат, концентраторов, коммутаторов, концентраторов снижает их габариты и стоимость. Таким образом, компания 3М предложила законченную систему, применение которой позволяет существенно снизить расходы на установку полностью оптической СКС. Соединитель VF-45 также состоит из двух частей: коннектора и розетки (Рис.18). Габаритные размеры соответствуют RJ-45. В разъеме VF-45 только 4 Technology оконцевания использует метод юстировки в V-канавке. Это позволяет избежать использования дорогостоящего наконечника и клея. того, время установки разъема сокращается до 2 минут. Стоимость монтажа разъема VF-45 в 7 раз меньше дуплексного SC. Для монтажа используется специальный набор инструментов. Соединители VF-45 предназначены преимущественно для многомодовых применений. Вносимые потери 0.5 дБ (максимально 0.75 дБ).



Рис.18. Соединитель VF-45.

Соединитель Opti-Jack (FJ) – первый промышленный малоразмерный дуплексный соединитель. Предложен компанией Panduit в



Рис.19. Соединитель Opti-Jack (FJ)

2. Компоненты

декабре 1996 года. Разъем разработан по типоразмеру RJ-45 для подключения оптического кабеля к рабочему месту, повышения плотности коммутации портов. Применение разъемов Opti-Jack дает реальное сокращение затрат на активное оборудование (концентраторы, коммутаторы), обеспечивает высокую механическую защиту соединений в стандартных офисных условиях.

Разъем Opti-Jack, как и MT-RJ, состоит из розеточной и коннекторной частей (Рис.19). Коннектор Opti-Jack сделаны на стандартных наконечниках 2.5 мм. Это единственный малоразмерный соединитель, оконцевание которым в “полевых” условиях производится стандартным набором инструментов, таким же как для разъемов типа ST, SC, FC.

Табл.4. Основные параметры малоразмерных волоконно-оптических соединителей

Соединитель	MT-RJ		LC		Opti-Jack		VF-45	
Параметр	ММ	SM	ММ	SM	ММ	SM	ММ	SM
Прямые потери, дБ, не более (типовые)	0,19 (0,11)	0,22 (0,14)	0,17 (0,1)	0,19 (0,13)	<0,75 (0,35)	<0,75 (0,3)	<0,75 (0,2)	<0,75 (0,2)
Обратные потери, дБ, не более (типовые)	-36 (-42)	-47 (-50)	-20	-45	-20	-40	-20 (-30)	-26 (-56)
Число циклов соединения	500	500	200	500	500	500	500	500
Прирост прямых потерь, дБ	0,2	0,2	0,2	0,2	0,04	0,1	0,3	0,3

2.2. Телекоммуникационные шкафы

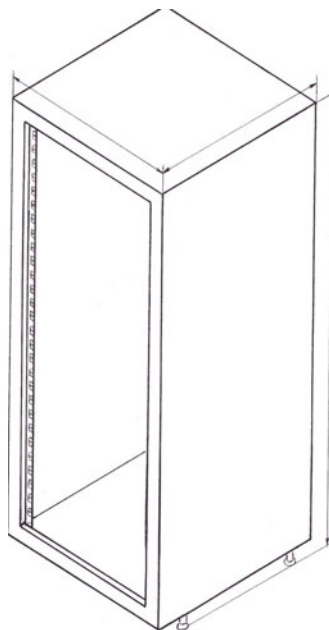
При создании новых сетей часто возникает необходимость компактного размещения на ограниченной площади технического помещения телекоммуникационного, сетевого, лабораторного, контрольно-измерительного и специального оборудования. Поэтому уже на этапе проектирования новых сетей встает вопрос выбора не только активного и пассивного оборудования, но и конструктива.

Подбирая телекоммуникационный шкаф или стойку, необходимо обеспечить:

- * соответствие стандарта конструктива стандарту устанавливаемых блоков;
- * устойчивость конструктива к долговременной нагрузке;
- * вентиляцию для избежания перегрева активного оборудования;
- * защиту от неблагоприятных внешних воздействий окружающей среды при необходимости;
- * удобство монтажа и обслуживания оборудования;
- * защиту от несанкционированного доступа;
- * современный дизайн и т.д.

2. Компоненты

Немаловажную роль в подборе конструктива играет выбор дополнительных аксессуаров для монтажа и обслуживания оборудования, возможность оперативной поставки. Как правило, все эти вопросы приходится решать в комплексе.



2.2.1. Стандарты на конструктивы для телекоммуникационного оборудования

В настоящее время на российском телекоммуникационном рынке наибольшее распространение получили конструктивы 19-дюймового и метрического стандартов, но встречается монтажное оборудование и других типоразмеров, например 23-дюймового и СКУ (стоечные унифицированные каркасы). Основные размеры стандартов на конструктивы для телекоммуникационного оборудования приведены в табл. 5.

Стандарт IEC 297 (в Германии ему соответствует DIN 41494, в России ГОСТ 28601.2--90) охватывает все нормативы на размеры 19-дюймовых корпусов от платы до полностью укомплектованного шкафа. Базовой единицей измерения в IEC 297 является дюйм (1" = 25,4 мм). Ширина блоков для установки в шкафы и стойки составляет 19 дюймов, или 482,6 мм. Однако под посадочные места для модулей отведена не вся ширина блоков, а только 16,8 дюйма, или 426,72 мм. Все вертикальные посадочные размеры в шкафах кратны 44,45 мм, что равно 1,75 дюйма. Эта единица называется Unit (U), а в немецкой документации – Hohen Einhein (HE). При выборе конструктива эти величины являются определяющими. Следует отметить, что стандартизированы не только внутренние посадочные размеры шкафов, но и их внешние габариты. Стандартами на 19-дюймовые конструктивы определен типоряд на высоту 800/1000/1200/1400/1600/1800/2000/2200 мм, ширину 550/600/700/800/900/1000 мм и глубину шкафа 400/600/800/900 мм. Наиболее распространены следующие сочетания ширины и глубины шкафов - 600x600, 600x800 и 800x800 мм. Иногда производители активного оборудования выпускают телекоммуникационные шкафы под габаритные размеры своего оборудования. Согласно стандарту IEC 297-1 крепежные отверстия на монтажных направляющих располагаются по два на каждый юнит высоты. Шаг отверстий переменный и соответствует 1U (1,25"+0,50"=1,75"). Крепление оборудования производится на передних направляющих. При большом весе и габарите блоков могут задействоваться также и задние направляющие. 19-дюймовый стандарт самый распространенный и поддерживается всеми производителями телекоммуникационных шкафов.

Метрический стандарт **IEC 917** базируется на международных стандартах ISO 1000 и ISO 31/1. При разработке IEC 917 специалисты пытались учесть все лучшее, что было в 19-дюймовом стандарте. Однако метрический стандарт пока не получил широкого распространения.

2. Компоненты

Все размеры блоков и шкафов в IEC 917 построены на координатной сетке 25 мм по трем осям. Более мелкие элементы конструкции, например модули, могут использовать координатную сетку 2,5 мм, а иногда даже 0,5 мм. Шкафы, изготовленные специально под метрический стандарт, как правило, встречаются редко. В России наибольшее распространение получили шкафы, выполненные в соответствии с европейским стандартом ETS 300 119, который можно рассматривать как частный случай IEC 917. Особый интерес представляют конструктивы, предусматривающие возможность установки как 19-дюймовые, так и метрические блоки. Метрический стандарт встречается гораздо реже, чем 19-дюймовый, поэтому нашел поддержку значительно меньшего числа производителей: Rittal, Перспективные Технологии, Морион.

23-дюймовый типоразмер в качестве базовой единицы измерения также использует дюйм. Этот типоразмер отличается от предыдущего случая шириной устанавливаемых блоков и масштабом их вертикальных размеров. Ширина блоков и их посадочный размер составляют соответственно 584,20 и 500 мм. Все вертикальные размеры устанавливаемого оборудования кратны 2 дюймам, то есть 50,8 мм. Крепежные отверстия расположены с постоянным шагом 1 дюйм. Наиболее распространенными являются в этом случае конструктивы с размерами 800х800 мм. Пример производителей, поддерживающих этот типоразмер: ADC, Перспективные Технологии и другие.

Типоразмер СКУ (стоечные унифицированные каркасы) – российская разработка. Ширина блоков составляет 600мм, расстояние между крепежными отверстиями – 578 мм, период крепежных отверстий 160 мм. Поддерживается исключительно российскими производителями телекоммуникационного оборудования: Морион (Пермь), Дальняя связь (С.-Петербург), Супертел (С.-Петербург), ЭЗАН (Московская обл.) и некоторыми другими.

Таблица 5. Основные размеры стандартов на конструктивы

Стандарт	Ширина блоков, мм	Расстояние между крепежными отверстиями, мм	Посадочный размер блоков, мм, не более	Период крепежных отверстий, мм
19-дюймовый	482,60	465,1	450	44,45 (1,75"=1,25"+0,5")
23-дюймовый	584,20	566,7	500	50,8 (2,0"=1,0"+1,0")
Метрический	533	515	500	25

Защита от внешней среды

Защита телекоммуникационного оборудования от влияния окружающей среды характеризуется конструктивным исполнением шкафа и определяется уровнями IP-защиты согласно стандартам EN 60529 и IEC 529. Уровень IP-защиты имеет буквенное обозначение с двухзначным кодом (Прил. 7.1), например IP 45. Первая цифра кода означает степень защиты человека для обеспечения безопасной эксплуатации оборудования и защиты самого оборудования от попадания внутрь посторонних предметов и пыли, вторая – степень защиты от попадания воды внутрь оборудования.

Для офисных шкафов обычно достаточно класса защиты не выше IP 22, поэтому такие конструктивы наиболее часто используются. Если же шкафы устанавливаются в производственных, подвальных помещениях, где возможно скопление пыли и протекание воды, требуется более высокий класс защиты, например IP 55.

Защиту собственно конструктива от влияния окружающей среды обеспечивает покрытие шкафа. Наиболее распространенный вариант покрытия: порошковое на основе эпоксидных смол. Полный цикл обработки поверхности включает следующие этапы: обезжиривание, фосфатирование, анодную электрофорезную грунтовку, текстурную окраску напылением. Такое покрытие обеспечивает наилучшую антикоррозионную и ударопрочную защиту. Обработанная по полному циклу поверхность устойчива не только к воздействию воды, но также к минеральным маслам и смазкам, растворителям и слабым кислотам.

2.2.2. Варианты исполнения телекоммуникационных шкафов

2. Компоненты

Телекоммуникационные шкафы бывают настенные и напольные. Настенные шкафы выпускаются в нескольких вариантах по высоте от 4U до 15U. Настенные шкафы рассчитаны на малый вес нагрузки, зачастую предполагают установку оборудования только на передние направляющие, а вентиляторы – непосредственно на крышку шкафа. Глубина настенных шкафов варьируется от 300 до 500 мм. Напольные шкафы в свою очередь предлагаются от 18U до 47U, глубиной 600 или 800 мм. Напольные шкафы используются для установки телекоммуникационного оборудования, кроссов, серверов, разводки кабелей.

Типы конструкций телекоммуникационных шкафов



Рис. 22.

Трехсекционный шкаф

По типу сборки телекоммуникационные шкафы можно разделить на разборные и сварные. Сварные шкафы отличаются высокой жесткостью и прочностью конструкции. К этому типу, как правило, относятся многосекционные (шкафы-книжки, рис.22) и герметичные шкафы. Другими словами, это шкафы для специальных применений. Шкафы этого типа поставляются только в собранном виде и имеют сравнительно большой вес. Разборные шкафы поставляются в самой широкой гамме типоразмеров, не только в собранном, но и в разборном виде для удобства транспортировки. В свою очередь, разборные шкафы можно разделить на 3 класса по типу конструкции: корпусные, каркасные и рамные. В первом случае несущим элементом является сам корпус шкафа. Другими словами, жесткость шкафа и его устойчивость к нагрузке определяются корпусом. Любые окна в корпусе, например монтажные отверстия в боковых панелях шкафа, должны рассчитываться так, чтобы жесткость конструкции существенно не снижалась. Соединение телекоммуникационных шкафов в единую линию осуществляется также за элементы корпуса. Пример корпусной конструкции – напольные шкафы производства компании AESP, хотя некоторые детали соединены сваркой, что делает их неразборными.

Более технологичным и широко используемым вариантом является каркасная конструкция (Рис.23). В роли несущего элемента шкафа выступает его каркас. Эта конструкция характеризуется повышенной жесткостью, рассчитана на большую нагрузку по сравнению со шкафами корпусного типа. Шкаф каркасной конструкции можно использовать в разных вариантах: с боковыми панелями и без них, с передними и задними дверями и совсем без дверей. Жесткость конструкции при снятых боковых панелях практически не меняется. Это удобно при монтаже телекоммуникационного оборудования, так как обеспечивается максимальный доступ. Сочленение шкафов в единую линию осуществляется за элементы каркаса. Шкафы этого класса производят ведущие западные компании Rittal, Schroff и другие.

Рамная конструкция обладает наибольшей жесткостью из всех перечисленных разборных конструкций шкафов. В основе конструкции лежит система на двух трубчатых рамах, соединенных по центру. Последний тип наиболее удобен для объединения шкафов в единую линию. Этот тип поддерживается таким производителем, как Willsher & Quick.

Материал конструкции шкафов – сталь. Это обеспечивает жесткость конструктива и устойчивость его к нагрузкам, но увеличивает вес шкафов, особенно напольных. Для снижения веса некоторые элементы каркаса могут быть изготовлены из алюминия.



Рис. 23.

Напольный шкаф
каркасной
конструкции

Телекоммуникационные стойки используются для установки телекоммуникационного оборудования в случаях, когда механической защиты оборудования не требуется. Телекоммуникационные стойки подразделяются на открытые и закрытые. Наиболее распространенными благодаря простому исполнению и меньшей стоимости являются стойки открытого типа, которые, в свою очередь, делятся на одно- и двухрамные. Преимущества однорамной стойки - простота конструкции, обуславливающая легкость в сборке и транспортировке (Рис.24). Недостаток - неустойчивая конструкция. Основание стойки требует жесткого крепления к полу. Иногда применяется дополнительное крепление к стенам кронштейнами за верхние части конструкции стойки. Телекоммуникационные стойки изготавливаются в основном из алюминиевых профилей. Крепежные отверстия непосредственно под винт или такие же, как и у шкафов.

Двухрамные стойки предназначены для размещения более крупных блоков оборудования. Наиболее часто используются стойки глубиной 300 и 600 мм. Возможны и промежуточные варианты, например 450 мм. Стойка-шкаф - это по сути открытая двухрамная стойка, допускающая

2. Компоненты

дополнительную комплектацию до обычного телекоммуникационного шкафа. Верхняя крышка, боковые панели, передняя и задняя двери устанавливаются по желанию.

При выборе поставщика телекоммуникационных шкафов также необходимо обратить внимание на выбор аксессуаров для монтажа оборудования. Желательно, чтобы весь необходимый набор аксессуаров был от одного производителя. Это гарантирует установку аксессуаров в шкаф. Наиболее востребованными являются полки и телескопические направляющие для установка оборудования, блоки



Рис.24.
Открытая
стойка

вентиляторов и розеток, кабельные каналы и держатели. Некоторые аксессуары, например светильники, блоки розеток, кабельные держатели, могут устанавливаться в любые 19-дюймовые шкафы и стойки. Этого нельзя сказать о полках и вентиляторных блоках, установка которых может зависеть от формы 19-дюймовых направляющих и расстояния между ними. При выборе стационарных и выдвижных полок необходимо также обратить внимание на допустимую для них нагрузку. Многие производители поддерживают ряд моделей полок, рассчитанных на разную нагрузку, так что достаточно просто можно подобрать соответствующие варианты. Выдвижные полки обычно допускают нагрузку до 50 кг.

2.2.3. Основные производители телекоммуникационных шкафов

В настоящее время на российском рынке представлены конструктивы как зарубежных, так и отечественных производителей. Лидирующие позиции в производстве телекоммуникационных шкафов занимает компания Rittal (Германия). Она предлагает весь спектр телекоммуникационных шкафов: настенные, напольные, с разными вариантами IP-защиты. Вся продукция компании соответствует 19-дюймовому или метрическому стандартам. В России пользуются спросом напольные 19-дюймовые шкафы компании Rittal, имеющие каркасную конструкцию. Корпус шкафа стальной, стойки каркаса выполнены из алюминия. Комплектация шкафа подбирается по каталогу. Широкий выбор деталей конструкции и аксессуаров дает возможность индивидуальной комплектации каждого шкафа. Продукция этой фирмы имеет эффектный узнаваемый дизайн, высокое качество, в то же время довольно высокие цены.

Более доступны по цене и активно продвигаются на российском рынке шкафы производства Shcoff, Vero, AESP, Willsher & Quick. Компания AESP (Германия) поддерживает только 19-дюймовый стандарт. Этим производителем предлагаются и напольные и настенные шкафы. Напольные шкафы корпусного типа, четыре варианта исполнения по сочетанию ширины и глубины: 600х600, 600х800, 800х600 и 800х800 мм. Шкафы производства AESP имеют боковые кабельные каналы, что с одной стороны, повышает жесткость конструкции, а с другой стороны исключает возможность перестановки в шкафах шириной 800 мм направляющих на 23 дюймовый стандарт. Удобство напольных шкафов этого производства в возможности монтажа блоков вентиляторов в верхние и нижние панели шкафов, что расширяет рабочий объем шкафа.

Шкафы других производителей, например Legrand, Olencom, Scanfil, также встречаются, но реже.

Отличительная особенность российских производителей – скромный дизайн при доступной для широкого потребителя цене. Большой спрос быстро развивающегося телекоммуникационного рынка обусловил появление на российском рынке сразу нескольких отечественных производителей конструктивов. Среди российских производителей следует отметить такие компании, как ССКТБ ТОМАСС (Москва), Перспективные Технологии и Метек (С.-Петербург), Морион (Пермь), Контур (Томск).

Таким образом, в настоящее время конструктивы на российском телекоммуникационном рынке представлены в широком ассортименте: от обычных офисных до специальных с высокой степенью IP защиты. Отечественные производители предлагают модели, пользующиеся наибольшим спросом. Это надежные по исполнению конструктивы, имеющие преимущество над импортными аналогами по цене, но зачастую уступающие им по дизайну. Присутствие западных производителей позволяет подобрать модели "для особых случаев", когда необходимо обеспечить герметичность, защиту от вторжения и т.д.

2.3. Кроссы

Оптические кроссы служат для подключения одного или нескольких многоволоконных оптических кабелей. Оптические кроссы предлагаются в настенном и 19-дюймовом вариантах.

2.3.1. Настенные оптические кроссы

2. Компоненты

Это наиболее широкий класс, включающий от миниатюрных офисных до крупногабаритных. Стандартов на внешние размеры кроссов не существует, поэтому производители исходят из требований удобства монтажа и выгодного дизайна изделий. Конструкция кросса должна соответствовать технологии оконцевания кабеля коннекторами, соблюдать нормы изгиба волокон и кабелей, допускать перекоммутацию без риска повреждения волокон.



Рис.25. Настенный кросс с полной комплектацией

Внушительными внешними размерами отличаются кроссы для монтажа магистральных кабелей с большим числом *одномодовых* волокон (Рис.25). Корпус обычно изготавливается из стали с порошковым покрытием, предусматривается надежное крепление на стену и замок, защищающий от несанкционированного доступа. Розеточная панель располагается внутри и разделяет кросс на монтажный и коммутационный отсеки. Магистральный кабель вводится в монтажный отсек, одножильные

соединительные шнуры подключаются к розеткам с другой стороны. Кроссы для подключения одномодовых кабелей имеют большой монтажный отсек, позволяющий разместить сплайс-пластину для сварных соединений, витки волокон кабеля и при необходимости – модулей с соблюдением требований на радиус их изгиба. Для тяжелых бронированных кабелей при необходимости предусматривается крепление силовых элементов. Иногда монтажный отсек снабжается крышкой с защелкой. Такое решение предохраняет волокна и сварные соединения от случайного повреждения, но утяжеляет конструкцию. При необходимости монтажа кросса в подвальных или производственных помещениях используются конструктивы с защитой от влаги и пыли. Класс IP-защиты соответствует стандартам (Прил. 7.1). Наиболее удобны для монтажа кроссы с полной комплектацией, в которых предусмотрен все необходимое: розетки, полувилки для подварки волокон кабеля, гильзы для защиты сварных соединений, сплайс-пластины, маркировочные этикетки и даже карта разводки. Комплектность кросса оборачивается качеством его монтажа и удобством обслуживания.

Кроссы для многомодовых кабелей отличаются простотой и изяществом. Их назначение диктуется преимущественным использованием многомодовых кабелей – компьютерные сети внутри офисных помещений. Технология оконцевания кабеля коннектором позволяет обойтись без сплайс-пластин, а облегченные кабели для внутренней прокладки имеют полимерную защиту волокон, а следовательно, допускают изгиб с малым радиусом, что позволяет существенно уменьшить размеры кроссов (Рис.26). Этому сопутствует малая емкость кроссов, так как кабели для компьютерных сетей имеют обычно от 2 до 8 волокон. Дизайн кроссов в этом случае играет далеко не последнюю роль, так как они размещаются не только в служебных, но и офисных помещениях. Наименьшие размеры имеют кроссы для подключения непосредственно к рабочему месту. Их дизайн выполнен в стиле пластиковых коробов. Кроссы для горизонтальной разводки крупнее, могут закрываться на ключ.

Рис.26. Настенный кросс в стиле пластиковых коробов

2.3.2. 19-дюймовые кроссы

Кроссы для установки в 19-дюймовые шкафы и стойки отвечают общепринятым требованиям на эти конструктивы. Емкость кроссов высотой 1U составляет от 8 до 24 портов. Максимальное число розеток в одном кроссе обычно не превышает 96.

Если ширина и высота кросса определена 19-дюймовым стандартом, то его глубина продиктована технологическими особенностями монтажа оптики. Кроме того 19-дюймовые кроссы обычно уже имеют сплайс-пластины или возможность их установки. Вследствие этого глубина кроссов составляет не менее 300 мм.



Рис.27. 19-дюймовый кросс в полной комплектации

Для удобства монтажа кабеля монтажный отсек кросса может быть выдвигаемым (Рис.27). В некоторых моделях выдвигаемыми (поворотными) сделаны отдельные модули на несколько портов. Как и в предыдущем случае для монтажа одномодового кабеля наиболее удобны кроссы с предустановкой всех комплектующих.

2. Компоненты

3. Технологии сращивания оптического кабеля

При работе с оптическим кабелем используют два основных типа соединений: разъемные и неразъемные. Неразъемное соединение применяется для постоянного сращивания двух волоконных световодов. Неразъемное соединение традиционно обеспечивается методом сварки, а также некоторыми типами механических оптических соединителей. Разъемные соединения – это соединения при помощи оптических коннекторов. С помощью коннекторов стыкуются между собой и с приемо-передающей аппаратурой отдельные участки оптического кабеля. Некоторые типы механических соединителей также позволяют получить разъемное соединение и используются для ремонтно-восстановительных работ. В любом случае основное назначение всех оптических соединений – обеспечить надежный контакт волоконных световодов с минимальными вносимыми потерями и обратными отражениями при высокой надежности соединения.

3.1. Неразъемные соединения – сварка оптических волокон

Затухание в магистральных оптических линиях связи определяется потерями в строительных длинах и местах сращивания кабелей. Необходимость снижения затухания сигнала обуславливает ужесточение требований к качеству соединения волокон. Наименьшие потери обеспечивает сварка оптических волокон.

Сварка – исторически первый способ монтажа. В настоящее время при монтаже одномодовых оптических кабелей сварка оптических волокон благодаря своим преимуществам практически не имеет достойной альтернативы как при сращивании строительных длин кабеля, так и при его разделке на конечных точках трассы.

3.1.1. Преимущества сварки

Сварка – сращивание волокон методом термического сплавления в дуге электрического разряда между электродами. Преимущества сварки:

- Минимальные потери при сращивании волокон, недоступные при других методах стыковки волокон.
- Минимальные обратные отражения на стыке благодаря отсутствию воздушного или какого-либо другого зазора между торцами волокон.
- Высокая надежность соединения волокон.

Процесс соединения волокон методом сварки состоит из трех этапов:

подготовка волокон

непосредственно процесс сварки

механическая защита места сварки

Первый этап включает: разделку кабеля, зачистку волокон, получение качественного скола.

Этот этап очень важен, так как качество скола оказывает прямое влияние на величину потерь на сварке. Поэтому все сварочные аппараты комплектуются прецизионными скалывателями.

Второй этап включает: юстировку волокон, сведение, очистку торцов предварительным разрядом, проверку прочности сварного соединения, измерение потерь на сварке. И, наконец, на третьем этапе на месте сварки методом термоусадки фиксируется защитная муфта – гильза КДЗС.

3.1.2. Сварочные аппараты

Сварка волокон осуществляется при помощи сварочного аппарата. Сварочные аппараты для волоконной оптики представляют собой технику высокого класса, включающую в себя механические, оптические, электронные блоки, обеспечивающие решение комплекса задач. Каждый отдельный блок осуществляет специализированные функции и может быть реализован различными способами, что служит основой для классификации сварочных аппаратов.

В зависимости от технических возможностей сварочные аппараты подразделяются на три основных класса: автоматические, полуавтоматические и с ручным управлением. Наилучшие результаты, как и следовало ожидать, достигаются при использовании полностью автоматических сварочных аппаратов. Эти аппараты обеспечивают:

- Максимальное удобство и простоту обслуживания
- Достижение минимальных потерь на сварке

3. Технологии сращивания оптического кабеля

- Наибольшую надежность работы и повторяемость результатов при различных условиях эксплуатации.

Реальные условия эксплуатации аппаратов требуют достижения максимально возможных результатов не только и не столько в стационарных, сколько в “полевых” условиях - в условиях реальных объектов, на трассе прокладки оптического кабеля. Необходим учет таких факторов, как различие климатических условий, различие волокон при сращивании строительных длин кабеля, уменьшения влияния человеческого фактора (обслуживающего персонала). Если какие-либо факторы нельзя полностью устранить, их влияние должно быть оценено и учтено в начале процесса сварки.

На качество сварки непосредственное влияние оказывает качество подготовки торцов. Практически все сварочные аппараты позволяют оценить качество торцов, угол скола. Автоматические аппараты в случае превышения измеренных углов скола критических значений выдают заключение о невозможности сварки с требуемыми параметрами. Это обязывает оператора повторить операцию подготовки торцов свариваемых волокон.

Качество сварки зависит от различных параметров свариваемых волокон, степени легирования, определяющей величину показателя преломления, от размера модовых пятен волокон, ухода сердцевин волокон от его геометрической оси. Влияние первых двух факторов аппаратными средствами устранить не удастся. В тоже время третий из перечисленных факторов должен компенсироваться аппаратом. С этой целью разработаны различные методики юстировки волокон.

Следующая классификация аппаратов – по методам технических решений, реализованных в конструкциях аппаратов различных фирм-производителей. Эта классификация достаточно условна и оставляет право выбора за пользователем.

Классификация по способу юстировки:

- V-образные канавки
- 2-х координатные
- 3-х координатные.

В аппаратах с ручным управлением волокна зажимаются в V-образных канавках. Точность юстировки, а следовательно, уровень потерь на сварке, зависят от точности выполнения этих канавок.

В автоматических сварочных аппаратах используются 3-х координатные системы юстировки. Многомодовые волокна юстируются по внешней оболочке. Этот способ без проблем реализуется во всех аппаратах. Одномодовые волокна необходимо юстировать по их сердцевинам. В зависимости от способа мониторинга профиля показателя преломления различают следующие способы юстировки волокон в автоматических аппаратах:

- Система PAS (Profile Alignment System)
- Система LID (Light Injection and Detection).
- Тепловое (ИК) излучение электрической дуги.

В первом случае используется внешний источник излучения, освещающий волокно в двух ортогональных плоскостях. Свет преломляется при прохождении через волокно и полученное изображение регистрируется ПЗС-фотоприемниками. Картина изображения позволяет юстировать волокна по профилю показателя преломления.

Во втором методе юстировка осуществляется по максимуму света, проходящего через стык свариваемых волокон. С этой целью применяется дополнительный источник света, излучение от которого вводится на изгибе в одно из волокон и выводится из другого также на изгибе и регистрируется фотоприемником.

В третьем случае используется тепловое излучение электрической дуги. В результате разогрева становится видна сердцевина волокна, так называемое тепловое изображение свариваемых волокон. Преимущество этого способа в возможности вносить коррективы в юстировку непосредственно в процессе сварки.

Принцип юстировки определяет также способ оценки потерь на сварном соединении. Наиболее точные оценки могут быть получены при LID – методе, так как алгоритм их расчета наиболее близок к методу определения потерь оптическим тестером. В случае PAS – системы потери рассчитываются косвенно, поэтому значения, полученные непосредственно на сварочном аппарате, могут расходиться с величинами, измеренными, например, при помощи тестера.

3. Технологии сращивания оптического кабеля

В автоматических сварочных аппаратах используются трехкоординатные системы юстировки. Принцип контроля в плоскости, перпендикулярной оптической оси волокна, показан на рис. . Волокно освещается с двух ортогональных направлений и с помощью оптической системы зеркал изображение направляется на регистрирующую ПЗС-камеру. На монитор сварочного аппарата изображение юстируемых волокон в двух плоскостях выводится одновременно или последовательно. Одновременное представление обоих изображений делает картину более наглядной. В тоже время непосредственного влияния на качество сварки этот фактор не оказывает.

К числу факторов, непосредственно влияющих на качество сварки, относится дуга, обеспечивающая нагрев торцов волокон до температуры плавления кварца (около 2000 град.), точнее – параметры дуги. Визуально сварщиком – оператором контролируется стабильность разряда, направленность, устойчивость дуги. При возникновении отклонений от нормы электроды заменяют на новые. Типично на одном комплекте электродов можно провести несколько сотен сварок. Если визуальный контроль дуги дает положительный результат, аппарат считается готовым к работе. Управление параметрами дуги при сварке в автоматических сварочных аппаратах задается программным образом. Управление дугой реализуется двумя способами: программным способом и в реальном масштабе времени. В первом случае параметры дуги задаются выбранной программой сварки, причем предусматривается компенсация таких внешних условий, как температура, давление, влажность окружающей среды. Выбранные начальные значения определяют программу, которая не может быть изменена в процессе сварки. Во втором случае реализуется автоматическая регулировка дуги непосредственно в процессе сварки. Под влиянием дуги волокно разогревается и становится видна структура волокна - тепловое изображение свариваемых волокон. Анализ этого изображения позволяет при необходимости вносить коррективы в процессе сварки. В некоторых аппаратах предусмотрена возможность подачи дополнительного корректирующего разряда в случае, если результат сварки после ее тестирования не вполне удовлетворяет ожиданиям. Второй способ в настоящее время считается более эффективным.

3.1.3. Выбор сварочного аппарата

На отечественном рынке в настоящее время представлен широкий выбор сварочных аппаратов. Наибольшее распространение получили автоматические аппараты, обеспечивающие наиболее высокие параметры соединения волокон. Лидирующие позиции занимают Fujikura (Япония), JDS FIBEL (Япония), Ericsson (Швеция). Сравнение параметров автоматических сварочных аппаратов приведено в Прил. 7.2.

При прочих равных условиях приоритет имеют аппараты последних лет выпуска. Эти аппараты рассчитаны на сварку всех используемых типов волокон, обладают самым широким набором встроенных программ, обеспечивают наименьшие потери при сварке волокон, имеют большой цветной дисплей с большим коэффициентом усиления, что обеспечивает наилучший контроль процесса подготовки волокон и места сварки.

Быстродействие сварочного аппарата определяется преимущественно временем юстировки. Когда изображения свариваемых волокон в двух ортогональных плоскостях наблюдаются поочередно, время юстировки значительно возрастает. Такое техническое решение используется в аппаратах производства фирмы Ericsson, а также аппаратах более раннего выпуска, например, FSM40S (Fujikura), S174 (FIBEL). Это связано с тем, что изображения в ортогональных плоскостях наблюдаются с помощью одного объектива и подвижного зеркала. Для настройки второго изображения необходимо время на перемещение зеркала и юстировку объектива. Длительность сварки с учетом юстировки таким способом составляет обычно 45 с. В сварочных аппаратах нового поколения используются два объектива и изображения волокон в обеих плоскостях выводятся на экран одновременно. Это сокращает время сварки вдвое по сравнению с предыдущим случаем.

Надежность сварочного аппарата в условиях России в силу удаленности трасс прокладки кабеля от сервис - центров играет далеко не последнюю роль. Продолжительность работы аппарата без технического обслуживания зависит от расположения оптической системы наблюдения. При ее расположении вблизи электродов происходит постепенное загрязнение элементов оптической системы, требующее вмешательства специалистов. Кроме того, в аппаратах с подвижным зеркалом попадание грязи на устройство его перемещения приводит к повреждению.

3. Технологии сращивания оптического кабеля

Все сервис - центры по обслуживанию сварочных аппаратов находятся в Москве. Аппараты производства Fujikura обслуживаются в ТКС, FITEL – ВИЛКОМ, Ericsson – Syrus System.

3.2. Разъемные соединения с помощью соединительных элементов

3.2.1. Типы технологий оконцевания

Для коммутации оптических кабелей с прямо-передающей аппаратурой, получения разъемного соединения используются соединительные изделия для волоконных световодов (п.2.1).

Установка соединителей осуществляется как в стационарных производственных условиях, так и в условиях объекта. Оконцевание одномодовых кабелей требует применения более дорогих одномодовых коннекторов и более требовательно к процессу их установки, поэтому производится преимущественно в производственных условиях. Многомодовые кабели, особенно используемые в локальных компьютерных сетях, могут быть оконцованы стандартными коннекторами непосредственно на объекте по одной из следующих технологий.

Эпоксидная вклейка (Epoxy Crimp Polish). Технология предполагает вклейку волокна в наконечник коннектора, кримпирование с последующей полировкой торца разъема. Время оконцевания зависит от типа клея и кабеля. В условиях объекта оконцевание одного порта занимает около 10 минут. Преимущество – наиболее надежная технология, используется для многомодовых и одномодовых кабелей, самые доступные по цене коннекторы. В условиях стационарного производства эта технология занимает лидирующее положение. Недостаток – большое время установки коннектора, необходимость использования печки для сушки клея.

Лайт кримп (Light Crimp). Волоконный световод вводится в наконечник коннектора и механически фиксируется, после чего следует этап полировки. Технология используется для монтажа многомодовых кабелей в условиях объекта. Достоинство метода – отсутствие клея, меньше времени на установку, чем в случае клеевой технологии. Недостаток – волокно не зафиксировано в наконечнике коннектора, что ухудшает качество соединения.

Хот мелт (Hot Melt). Наконечник коннектора для этой технологии уже содержит клей-расплав. Световод вводят в наконечник, коннектор нагревают, фиксируя волокно, и после охлаждения полируют. Недостаток – температурная и временная (эффект старения) нестабильность характеристик. Стоимость коннекторов в 2 – 3 раза выше, чем в первом случае.

Лайт кримп плюс или ноуполиш (Light Crimp Plus). Коннектор представляет собой комбинацию коннектора и механического сплайса. Отрезок волокна уже вклеен в наконечник по технологии эпоксидной вклейки и торец коннектора отполирован в производственных условиях. Волоконный световод с качественно сколотым торцом вводится в капилляр, заполненный оптическим гелем, до контакта с вклеенным волокном и механически фиксируется в коннекторе. Достоинство технологии – минимальное время установки коннектора в условиях объекта. За это приходится платить: коннекторы в среднем в 4 – 5 раз дороже клеевых. Кроме того, фактически на одно соединение приходится три стыка волокна вместо одного. Типичные потери при такой технологии составляют 0.3 дБ.

Выбор технологии оконцевания определяется суммарными затратами на работы на выбранном объекте. При малом числе портов предпочтение обычно отдают менее затратным по времени технологиям – лайт кримп и лайт крим плюс. Так, например, время установки клеевого соединителя ST составляет 7 – 8 минут, в то время как другие технологии позволяют сократить его до 2 – 3 мин. При разделке многожильного кабеля и большом числе портов эпоксидная вклейка может оказаться выгоднее благодаря меньшей стоимости коннекторов. Описание технологий оконцевания оптического кабеля коннектором приводится в разделе Технологии.

3.2.2. Механические соединители волоконных световодов

Механические соединители применяются преимущественно для ремонтно-восстановительных работ как временная альтернатива сварки волокон. В отличие от сварки технология установки механических соединителей предельно проста и не требует использования дорогостоящего оборудования. Кроме того, в пользу этого метода говорит скорость монтажа: установка соединителя после подготовки волокон занимает меньше минуты. При этом соединители обеспечивают низкие проходные и обратные потери. Большинство соединителей рассчитаны на работу в широком температурном диапазоне: от – 40 до + 80 °С. Сращивание волокон этим методом может проводиться как на трассе с укладкой соединителей в муфты, так и в конечных пунктах линий связи с установкой соединителей в кроссах. Наиболее широкое применение

3. Технологии сращивания оптического кабеля

нашли три типа механических соединителей – сплайсов: ultrasplice (ACA, США), corelink (AMP, теперь Tyco Electronics, США), fibrlok (3M, США). Преимущество ultrasplice – установка не требует никаких специальных приспособлений. Однако фиксация волокон винтовыми зажимами не всегда гарантирует длительную надежность соединения. Соединители corelink и fibrlok имеют удобную и надежную фиксацию волокон методом защелки. Существенный недостаток fibrlok – отсутствие возможности повторного монтажа.

Адаптеры для обнаженного волокна применяются как альтернатива разъёмным соединителям. Адаптеры рассчитаны на многократное использование благодаря механическому методу фиксации волокна. Установка и демонтаж адаптера занимают меньше минуты. Вносимые потери в этом случае больше, чем при установке механических соединителей. Адаптеры позволяют быстро протестировать еще не оконцованный коннекторами кабель, подключить к линии диагностическую аппаратуру в случае обрыва кабеля и т.д.

3.2.3. Источники вносимых потерь

Существует несколько основных причин появления потерь в соединениях, причем все механизмы их появления относятся как к разъёмным, так и к неразъёмным соединениям в равной мере. Основные виды рассогласования оптических волокон приведены ниже:

1. Поперечное осевое смещение

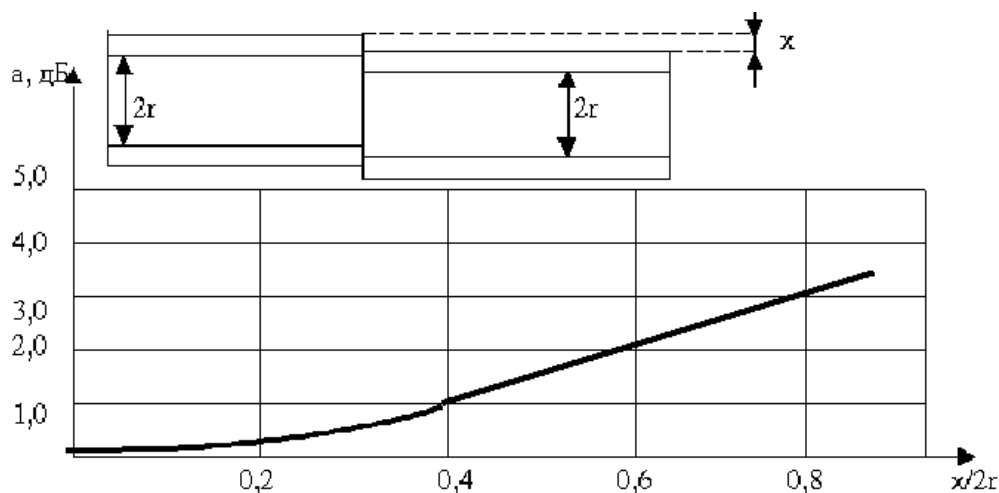


Рис.28. Зависимость потерь от поперечного смещения осей световодов

2. Продольное осевое смещение (зазор)

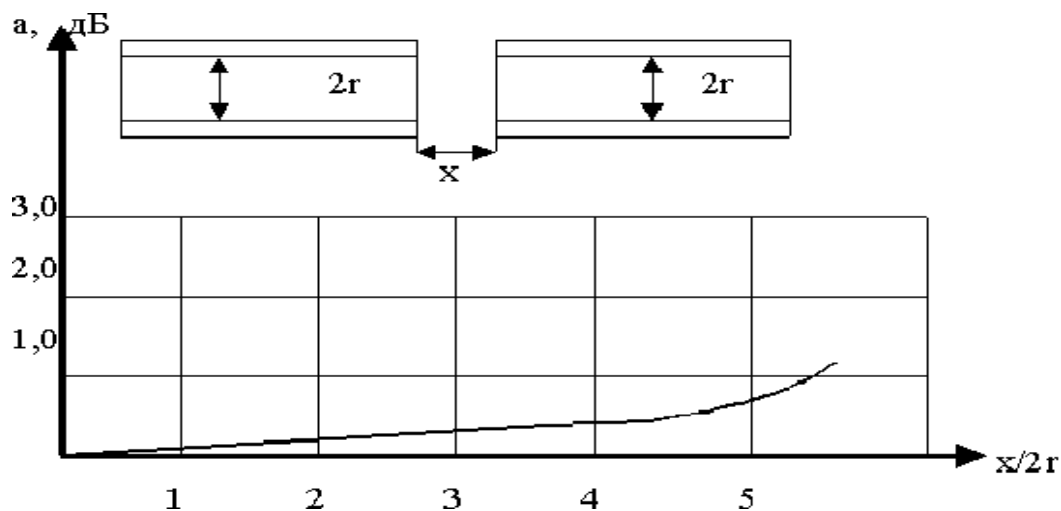


Рис.29. Зависимость потерь от продольного осевого смещения

3. Угловое рассогласование

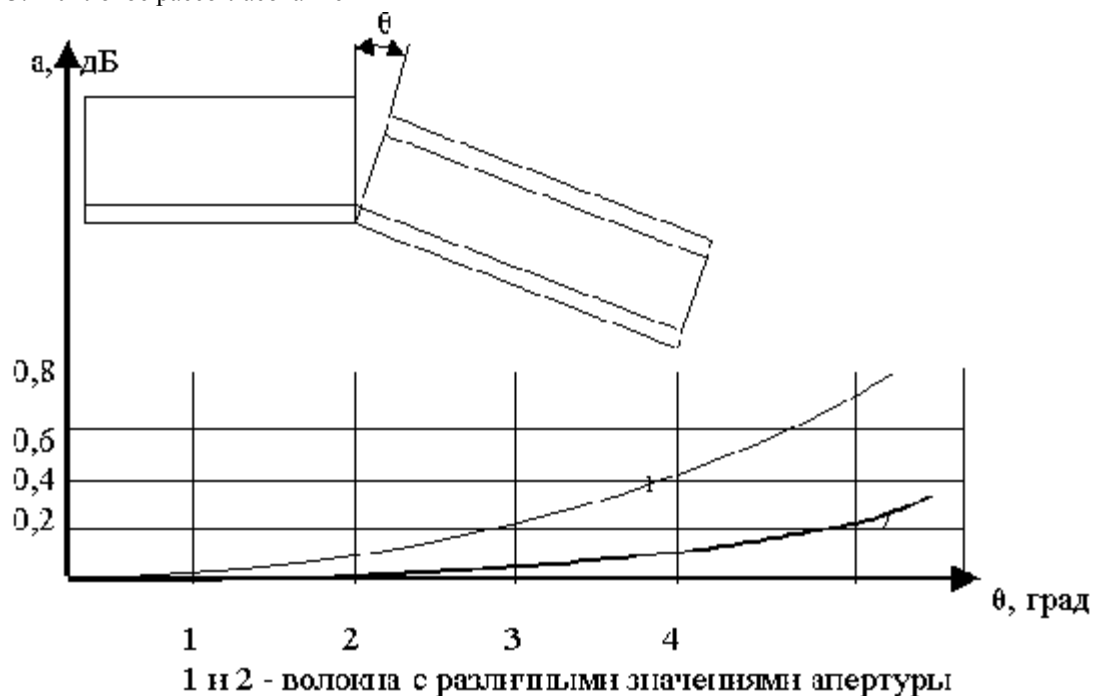


Рис.30. Зависимость потерь на стыке волокон от их углового рассогласования

Кроме этих потерь существуют еще потери из-за рассогласования по диаметру (по апертуре) и рассогласования из-за шероховатости, а также потери из-за загрязнения торцов. Поскольку любое соединение двух волокон представляет собой физический контакт их торцов, то оно является точкой, находящейся в линии на определенном фиксированном расстоянии от ее концов. В этом случае потери в нем наилучшим образом определяются с помощью импульсного рефлектометра (метод OTDR), который способен измерить их с достаточно высокой точностью. Более подробно этот вопрос будет рассмотрен далее.

4. Измерение параметров волоконных световодов

4.1. Измерение проходных потерь

Для определения потерь в волокне необходимо измерить уровень оптической мощности на выходе, а затем вычесть его из значения уровня введенной в волокно мощности. Полученная величина покажет истинные потери в исследуемом оптическом волокне.

Измерение потерь в волоконных световодах и оптических кабелях проводится в соответствии с ГОСТ 26599-85 (Метод измерения вносимого затухания), ГОСТ 26814-86 (Кабели оптические. Методы измерения параметров) и ГОСТ 28871 – 90 (Аппаратура линейных трактов цифровых волоконно-оптических систем передачи. Методы измерения основных параметров.). Зарубежными аналогами этих методов измерения потерь являются EIA FOTP (Fiber Optic Test Procedure) – 171; EAI/TIA FO 2.1 OFSTP-7 (для одномодовых световодов) и OFSTP-14 (для многомодовых световодов), а также TR NWT – 000326 (рекомендации Bellcore).

4.1.1. Метод обрыва

Одним из основных методов измерения оптических потерь является *метод обрыва*. В этом методе сначала измеряется уровень на выходе волокна P_2 , затем волокно обламывается недалеко от источника излучения и измеряется уровень P_1 на выходе короткого оставшегося кусочка. Затем из величины P_1 вычитается P_2 , в результате чего получается искомое значение потерь. Такой метод можно использовать при производстве и, в некоторых случаях, при прокладке волокна, но он совершенно неприемлем для измерения потерь в уже проложенном волокне или кабеле.

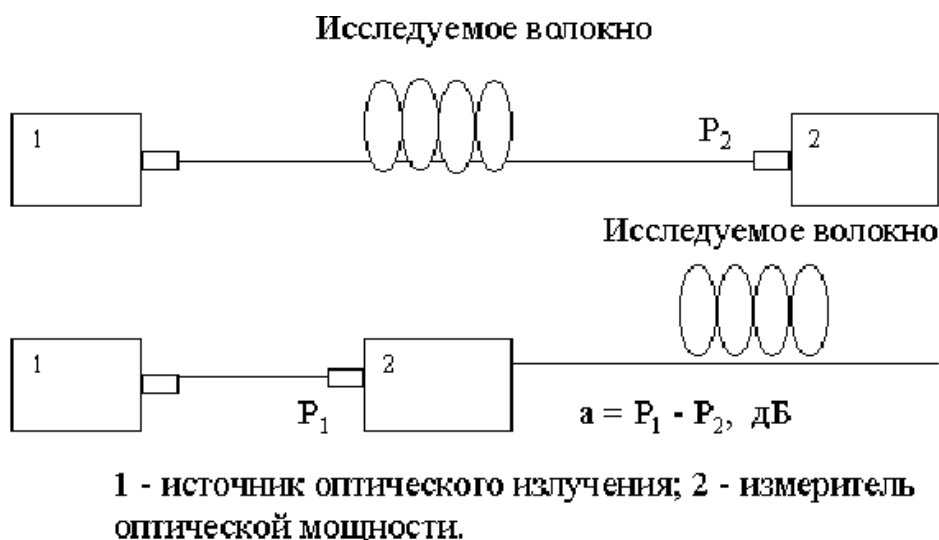


Рис.31. Измерение потерь методом обрыва

4.1.1. Метод вносимых потерь

Для измерения потерь в проложенных волокнах используется другой метод - *метод вносимых потерь*. Это наиболее широко применяемый метод, обеспечивающий достаточную точность. При измерениях этим методом сначала измеряется оптическая мощность на выходе эталонного волокна. Затем между эталонным волокном и измерителем включается измеряемое волокно. После этого измеряется оптическая мощность на выходе измеряемого волокна. Потери в волокне определяются как разность между этими двумя уровнями мощности. Метод вносимых потерь отличается от метода обрыва тем, что это неразрушающий метод. Измерение потерь по этому методу необходимо проводить с обеих сторон волокна с последующим усреднением результатов.

4. Измерение параметров волоконных световодов

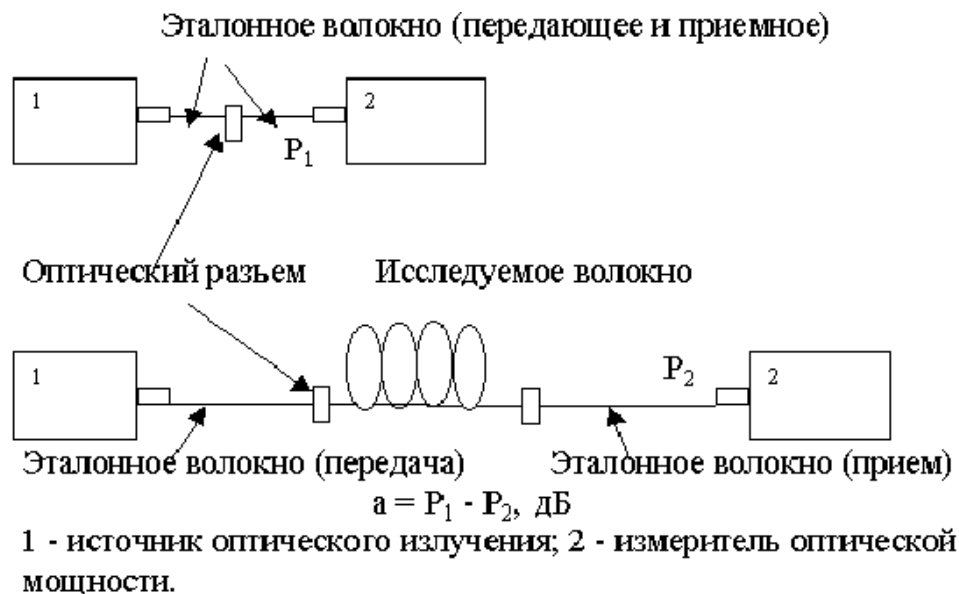


Рис.32. Измерение методом вносимых потерь

Измерение, проведенное только с одной стороны, не всегда совпадает с результатами измерения с другой стороны, поэтому желательно производить измерения с обеих сторон, а полученные результаты усреднять.

При всех измерениях нужно принимать меры по созданию условий хорошего ввода излучения в волокно, так как в противном случае могут появиться погрешности. Ниже приведена обобщенная схема измерения методом вносимых потерь:

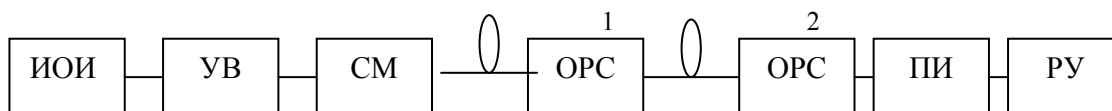


Рис.33. Измерение методом вносимых потерь.

Обозначения: ИОИ – источник оптического излучения; УВ – устройство ввода; СМ – смеситель мод; 1 – вспомогательное оптическое волокно; 2 – измеряемое оптическое волокно; ОРС – оптические разъемные соединители; ПИ – приемник излучения; РУ – регистрирующее устройство.

Затухание измеряемого оптического волокна определяется по формуле:

$$a = 10 \lg(P_2/P_1) - a_0, \text{ дБ}$$

где a – затухание в оптическом волокне; P_2 – уровень мощности на выходе вспомогательного волокна, дБ; P_1 – уровень мощности на выходе измеряемого волокна, дБ; a_0 – среднее значение потерь в оптическом соединителе, дБ.

Коэффициент затухания оптического волокна определяют по формуле:

$$\alpha = a/L, \text{ дБ/км}$$

где α – коэффициент затухания оптического волокна, дБ/км; a – затухание оптического волокна, дБ; L – длина оптического волокна, км.

4.2. Измерение возвратных потерь

Оптические возвратные потери (в английской аббревиатуре - ORL) - это отношение оптической мощности, вернувшейся назад (к источнику излучения) к мощности, введенной в систему источником.

4. Измерение параметров волоконных световодов

В одномодовых системах большие возвратные потери могут стать серьезным источником возникновения и передачи ошибочных битов. Особенно опасными бывают отражения от торцов световодов в коннекторах, где величина отражения может достигать 4 - 5% от падающей на них мощности. Отраженный свет попадает в кристалл лазерного диода и может вызвать перескок моды и модальный шум. Особенно актуальной проблема обратных отражений на разъёмных соединениях стоит в системах кабельного телевидения.

4.2.1. Методы измерения возвратных потерь

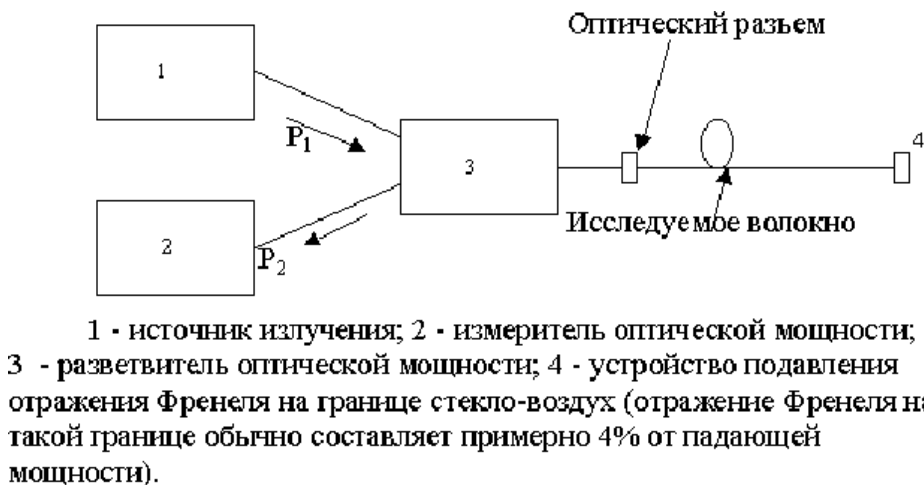
Основным методом измерения возвратных потерь является *метод OCWR - зондирование непрерывным излучением*. Метод предполагает введение в систему или в один из ее компонентов известного уровня мощности и определение среднего значения вернувшейся мощности по результатам нескольких измерений. В этом методе в волокно, коннектор или какое-либо другое измеряемое устройство подается непрерывное излучение одной длины волны. После этого измеряется возвратившаяся мощность и вычисляется значение возвратных потерь.

Точность метода OCWR зависит от вносимых потерь и отражений компонентов. Для повышения точности измерителей возвратных потерь должны быть выполнены 2 условия:

- 1) прибор должен быть откалиброван по известному отражению;
- 2) должны быть измерены фоновые излучения (фоновые возвратные потери - уровни мощности, отраженные от устройств, не подлежащих измерению - которые затем необходимо вычесть из результатов измерения).

С целью калибровки OCWR для точных измерений, к выходу источника подключается калибровочный кабель. Затем измеряется уровень вернувшейся мощности, с которым сравниваются все последующие измерения.

Возвратные потери выражаются в децибелах. Так, если вернувшаяся к источнику мощность составляет 0,001 часть от введенной мощности, то возвратные потери будут -30дБ ($10\lg 0,001$). Чем больше значение возвратных потерь (по абсолютной величине), тем меньше их влияние на источник излучения и величину погрешности измерения потерь в волокне.



1 - источник излучения; 2 - измеритель оптической мощности; 3 - разветвитель оптической мощности; 4 - устройство подавления отражения Френеля на границе стекло-воздух (отражение Френеля на такой границе обычно составляет примерно 4% от падающей мощности).

Рис.34. Измерение возвратных потерь.

Вследствие того, что величина динамического диапазона требуемого для измерения затухания отражения 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.

Рис.34. Измерение возвратных потерь методом непрерывной волны. Обозначения: 1 – источник излучения; 2 – измеритель оптической мощности; 3 – разветвитель оптической мощности; 4 – устройство подавления отражения Френеля на границе стекло-воздух

4.3. Измерение распределения потерь по длине волоконного световода

Распределение потерь по длине волокна проводится методом импульсной рефлектометрии, основанной на исследовании обратного рассеяния Рэлея. По диаграмме

4. Измерение параметров волоконных световодов

обратного рассеяния можно определить среднее значение километрического затухания на длине L , называемого коэффициентом затухания A :

$$A = (P_1 - P_2)/2L \quad \text{дБ}$$

где P_1 и P_2 - уровни мощности обратнорассеянного сигнала в точках 1 и 2 соответственно.

Основными недостатками этого метода является невысокая точность измерения и малый динамический диапазон.

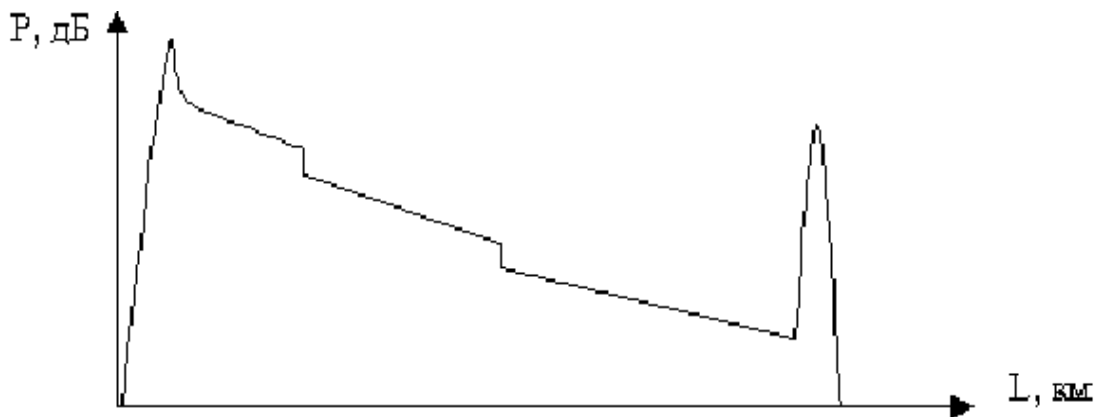


Рис.35. Типичная рефлектограмма оптического волокна

4.4. Измерение дисперсионных характеристик световодов

Измерения передаточных характеристик оптического волокна производят импульсным или частотным методами. Импульсный метод основан на последовательной регистрации импульсов оптического излучения на выходе волокна измеряемого кабеля и на выходе его короткого отрезка, образованного за счет обрыва волокна в его начале. Передаточную характеристику в частотном представлении определяют по формуле:

$$\sigma(\omega) = P_1(\omega)/P_2(\omega),$$

где $P_1(\omega)$ и $P_2(\omega)$ – спектральные плотности мощности импульса на входе и выходе волокна измеряемого кабеля. Модуль комплексной функции $\sigma(\omega)$ есть амплитудно-частотная модуляционная характеристика измеряемого кабеля. Значение ширины полосы пропускания волокна принимают равной частоте, на которой амплитуда сигнала уменьшилась (изменилась) на 3 дБ. Коэффициент широкополосности определяют по формуле:

$$K = B \cdot L,$$

где B – ширина полосы пропускания измеряемого оптического кабеля, МГц; L – длина измеряемого кабеля, км.

Частотный метод основан на сравнении зависимостей изменения сигнала на выходе волокна измеряемого кабеля и на выходе короткого его отрезка от частоты модуляции оптического сигнала. По результатам измерений строят график отношения значений сигналов переменной составляющей на выходе короткого отрезка и всего кабеля от частоты модуляции, то есть амплитудно-частотную характеристику. Значение ширины полосы пропускания принимают равной частоте, на которой амплитуда сигнала уменьшилась на 3 дБ.

4.5. Измерение пространственного распределения светового излучения

4.5.1. Измерение апертуры

Измерения апертурных характеристик на выходе волокна производят путем исследования мощности выходного излучения в дальнем поле. Существует две разновидности числовой апертуры – расчетная числовая апертура и эффективная числовая апертура. Расчетная числовая апертура – это величина, равная корню квадратному из разности квадратов максимального значения показателя преломления сердцевинки, и значения показателя преломления оптической оболочки оптического волокна (п.1.1.6). Эффективная числовая апертура представляет собой величину, равную синусу половины плоского угла,

4. Измерение параметров волоконных световодов

соответствующего телесному углу, ограничивающему конус, в котором сосредоточена заданная часть мощности оптического излучения на выходе оптического волокна.

Метод измерения числовой апертуры основан на определении зависимости мощности излучения из волокна от угла между оптической осью волокна и прямой, проведенной из центра поверхности торца волокна к центру светочувствительной площадки приемника оптического излучения. Измерения проводятся в дальнем поле, то есть на расстоянии многократно превышающем длину волны оптического излучения.

В качестве источника излучения применяют некогерентный источник – лампы накаливания или светодиод (если в ТУ на измеряемый кабель не указан конкретный источник). Приемник излучения выполняется с возможностью вращения вокруг оси, лежащей в плоскости торца измеряемого волокна. Относительная погрешность результата измерений не должна превышать 5%. Числовую апертуру определяют по формуле:

$$NA = \sin \varphi$$

где NA – числовая апертура, а φ – половина плоского угла при вершине выходного излучения, в направлении которого мощность излучения составляет заданный уровень (например, 0,2) от максимального, если в ТУ не указано другое значение.

Метод измерения эффективной числовой апертуры основан на измерении мощности излучения на выходе в изменяющемся телесном угле с вершиной, расположенной в плоскости выходного торца. Приемник излучения должен иметь фоточувствительную площадку в форме круга известного диаметра, который много больше диаметра измеряемого волокна. Измерения производятся путем перемещения приемника вдоль оси волокна. Величина перемещения зависит от размеров чувствительной площадки и предполагаемой эффективной числовой апертуры волокна (например, от $0,5d$ до $5d$, где d – диаметр чувствительной площадки приемника излучения). Эффективную числовую апертуру определяют по формуле:

$$NA = \sin \varphi_0$$

Где φ_0 – половина угла при вершине конуса, в котором сосредоточена заданная часть (например, 0,9) полной мощности оптического излучения, выходящего из торца волокна.

4.5.2. Измерение размеров модового пятна

Измерение размеров модового пятна основано на регистрации распределения интенсивности излучения по сечению волокна в ближнем поле. При этом определяется распределение энергии оптического излучения по сечению волокна с учетом взаимодействия распространяющихся мод. По результатам измерения строят график зависимости интенсивности излучения в ближней зоне от номинального радиуса сердцевин световода. Размер модового пятна определяет площадь сечения световода, по которой распространяется основная мощность оптического сигнала. Размер модового пятна не совпадает с радиусом сердцевин: в многомодовых световодах модовое пятно меньше, а в одномодовых световодах – больше сердцевин (п.1.1.5). Размер модового пятна имеет ключевое значение при сращивании одномодовых волокон, например, методом сварки, так как непосредственно влияет на уровень вносимых потерь в соединении.

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

5.1. Измерители оптических потерь

Приборы для измерения потерь в волокне:

- оптические тестеры;
- оптические измерительные ослабители лазерного излучения (аттенюаторы).

Для контроля распределения потерь:

- оптические рефлектометры;

5.1.1. Оптические тестеры

Оптические тестеры состоят из двух независимых друг от друга блоков:

- источника оптического излучения (генератора);
- измерителя оптической мощности.

Эти блоки могут быть совмещены в одном корпусе, а могут быть и разделены.

Табл. 6. Источники оптического излучения

Производитель	ИТС	ЛОНИИР	КБВП	Wavetek	ANDO	EXFO
Марка	Рубин 101(102, 103)	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	195x100x 41	150x90x 30	185x95x 49	265x88x 43	235x125x 60
Вес, г	200	500	300	500	450	860

Динамический диапазон измерителя - это разница между максимальной допустимой входной мощностью и минимумом чувствительности измерителя. В настоящее время динамические диапазоны для различных приложений волоконной оптики находятся в следующих пределах:

- для телефонии: +13 дБм/–70 дБм (Макс. уровень оптических сигналов/Мин уровень оптических сигналов);
- для кабельного телевидения: +24 дБм/–50 дБм;
- для локальных сетей: -20 дБм/–60 дБм.

Большинство измерителей уровня оптической мощности способны принимать и обрабатывать в основном диапазоне сигнал с максимальным уровнем +3...+5 дБм и с минимальным уровнем -60...-70 дБм. Таким образом, основной динамический диапазон измерителей уровня мощности составляет 63 -75 дБ.

Для тестирования аналоговых систем кабельного телевидения или волоконно-оптических усилителей требуются специальные измерители с расширенным динамическим диапазоном до +20 дБм (100 мВт). Несмотря на то, что никакие волоконно-оптические системы не работают с мощностями ниже -50 дБм, некоторые измерители могут измерять сигналы с

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

уровнем -70 дБм или больше, что оказывается полезным при измерении оптического затухания отражения (возвратных потерь) или спектральных характеристик монохроматических источников.

Измерители мощности измеряют усредненную по времени оптическую мощность, а не пиковое значение мощности света, поэтому они чувствительны к частоте входного импульсного потока. В большинстве измерителей используется источник непрерывного излучения или импульсной последовательностью с частотой 2 кГц.

Табл. 7. Измерители оптической мощности

Производитель	ИТС		ЛОНИИР	КБВП	W&G	EXFO
Марка	ОТМ1	Рубин201	Алмаз21	FOD 1202	OLP 18	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...1650	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

Кроме своей основной задачи - измерения потерь в оптическом волокне, измерители могут также использоваться для измерения уровня мощности источника оптического излучения, определения длины волны падающего света, его модуляции (что необходимо при идентификации волокон) и определения уровня мощности на входе приемника. В первом случае он подключается непосредственно к выходу передатчика (источника), а во втором - прямо в точку, где должен располагаться оптический приемник или ко второму выходу ответвителя (при этом необходимо использовать ответвитель с коэффициентом ветвления 1:2, имеющем вносимые потери 3.5 дБ)

5.1.2. Рабочие эталоны

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

Рабочий эталон – стационарное средство измерений. Это, как правило, комплект приборов, состав которого подбирается в зависимости от поставленной задачи. Такой комплект проходит поверку в Госстандарте на эталонных приборах высшего разряда и, в свою очередь, выступает в качестве эталонного прибора для поверки измерительной аппаратуры организаций и предприятий. Поэтому рабочие эталоны применяются в составе поверочных и контрольно-измерительных лабораторий. Кроме того, такие приборы используются производителями при выходном контроле параметров производимых волоконно-оптических компонентов, а также для поверочных испытаний рабочих средств измерения. В связи с тем, что основными и широко используемыми приборами, применяемыми для измерения параметров волоконно-оптического кабеля, являются оптические тестеры, то наиболее распространенным комплектом рабочего эталона является пара: источник + измеритель с соответствующими соединительными шнурами и аксессуарами, а также образцовый аттенюатор. Дополнительно поставляется устройство для определения обратных потерь.

Методы тестирования кабелей и соединительных шнуров с помощью рабочего эталона аналогичны тестированию с помощью тестера, точность при этом значительно выше. Для улучшения условий проведения поверочных и измерительных работ часто предусматривается дистанционное управление процессом поверочных и измерительных работ с помощью компьютера. Возможность стыковки с компьютером позволяет проводить запись и чтение измерений по алгоритмам, обеспечивающим наилучшую математическую обработку результатов.

Рабочий эталон, используемый для метрологической поверки рабочих средств измерений, проходит сертификацию в системе Госстандарта и вносится в госреестр. В настоящее время данные установки применяются в ВНИОФИ (Москва) и Тест-Петербург (Санкт-Петербург).



а.

б.

Рис.36. Рабочий эталон второго разряда (б) и его использование (а) для тестирования соединительных шнуров.

5.1.3. Измерительные аттенюаторы

Измерительный ослабитель лазерного излучения – это устройство, предназначенное для уменьшения энергии или мощности лазерного излучения в известное число раз с заданной точностью. Поэтому его иногда называют искусственным удлинителем оптического волокна. Все аттенюаторы делятся на два вида:

- фиксированные;
- перестраиваемые.

По принципу действия оптические аттенюаторы подразделяются на несколько видов: механические; поляризационные; акустооптические; дифракционные; интерференционные и др.

Аттенюаторы, кроме того, бывают ступенчатыми (аттенюаторы, при использовании которых может быть получен ряд дискретных значений коэффициента ослабления) и плавно регулируемые (с их помощью можно получить любое значение коэффициента ослабления). При

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

измерении параметров волоконно-оптической системы связи чаще всего применяются механические и поляризационные аттенюаторы.

Механические аттенюаторы делятся на два типа: с разрывом волокна и без разрыва оптического волокна. Аттенюаторы с разрывом волокна работают по принципу изменения расстояния, угла или осевого смещения между торцами оптического волокна, а также помещением между торцами различных светофильтров. Аттенюаторы без разрыва волокна меняют затухание при изменении радиуса изгиба волокна. Эти аттенюаторы имеют преимущество перед аттенюаторами с разрывом волокна в том, что они не вносят возвратных потерь в линию и, следовательно, могут работать и в системах кабельного телевидения (СКТВ). Это очень важное преимущество из-за того, что аппаратура, применяемая в СКТВ, очень чувствительна к обратному отражению.

Принцип действия поляризационных аттенюаторов основан на свойстве некоторых оптических элементов реагировать на поляризацию света. Затухание происходит при изменении направления поляризации падающей световой волны с помощью одного поляризационного фильтра и поглощения ее на втором фильтре, повернутом относительно первого фильтра (вокруг оптической оси) на угол от 0° до 90° . При этом ослабление сигнала изменяется от 0% до 100%.

При измерениях потерь с помощью аттенюатора, им замещают устройство, в котором надо измерить потери. Приемник при этом выступает в роли индикатора мощности.

Изменением вносимого затухания добиваются равенства принимаемой индикатором мощности по сравнению с той, что была до замены. Затем по показаниям аттенюатора определяют затухание, которое вносит неизвестное устройство или волокно.

Затухание аттенюаторов часто зависит от длины падающей волны, на что необходимо обращать внимание при работе с ними. В технических характеристиках аттенюаторов обычно указывается тип волокна, длина рабочей волны (или несколько длин волн), максимальное затухание, величина обратного отражения и максимальная входная мощность, а также рабочий температурный диапазон.

Типичные параметры аттенюаторов приведены ниже:

- тип волокна - одномодовое или многомодовое;
- длина волны 1310/1550 или 850 нм;
- максимальное затухание ≈ 60 дБ;
- разрешение индикатора $\approx 0,1$ дБ;
- вносимые потери $\leq 3,5$ дБ;
- обратное отражение ≤ -40 дБ;
- максимальная входная мощность $\approx +18$ дБ;
- температурный диапазон работы $0...+50^\circ\text{C}$, хранения $-25...+70^\circ\text{C}$.
- повторяемость $\pm 0,01$ дБ (типичная $\pm 0,005$ дБ).

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

5.1.4. Система поверочных испытаний и калибровки Госстандарта РФ

Для обеспечения единства измерений в системе Госстандарта существует поверочная схема для средств измерений средней мощности. Измерителям, внесенным в реестр Госстандарта и по результатам тестирования, удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к приборам этой группы, выдается свидетельство о поверке. Если же имеющаяся у потребителя марка прибора не внесена в реестр Госстандарта, прибор может быть протестирован аналогичными методами, и при положительном результате выдается сертификат калибровки. Рекомендованная периодичность метрологической поверки составляет 12 месяцев.

Схема метрологической поверки средств измерений средней мощности оптического излучения в волоконно-оптических системах передачи по требованиям Госстандарта условно представлена на рис.37. (См. Прил. 7.3.)

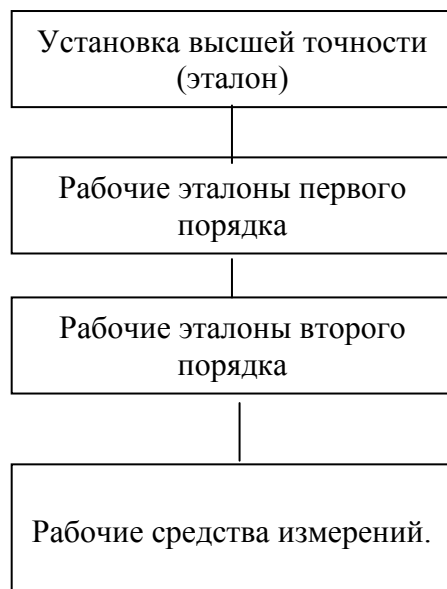


Рис.37. Поверочная система Госстандарта.

Возглавляет ее установка высшей точности, предназначенная для воспроизведения эталонной единицы средней мощности. Установка высшей точности использует калориметрический (тепловой) принцип, как наиболее точный и допускающий проводить электрическую калибровку методом замещения. Диапазон воспроизводимых на установке высшей точности значений средней мощности составляет лишь от 10^{-4} до 10^{-3} Вт на фиксированных длинах волн 0.85, 1.3 и 1.55 мкм. Погрешность измерений не превышает $0.6 \cdot 10^{-3}$.

Установка высшей точности разработана и обслуживается в ВНИИОФИ (Москва). Показательны результаты сличения эталонного преобразователя этой установки с эталоном NIST (США). При проведении измерений средней мощности оптического излучения на выходе одномодового волокна в диапазоне $10^{-4} \dots 10^{-3}$ Вт расхождение составило менее 0.2% и 0.1% на длинах волн 1.3 и 1.55 мкм соответственно.

В качестве эталонов 1-го разряда применяются либо неселективные в диапазоне 0.6 ... 1.8 мкм средства измерений, обеспечивающие в диапазоне $10^{-5} \dots 10^{-3}$ Вт точность измерений $(0.3 \dots 1.5) \cdot 10^{-2}$, либо установки, работающие на фиксированных длинах волн, но в широком динамическом диапазоне: $10^{-12} \dots 10^{-2}$ Вт. В первом случае могут использоваться калориметрические приемники, во втором – полупроводниковые фотодиоды.

При проведении поверочных испытаний используются два метода: метод прямых измерений и метод сличения. Поверка методом прямых измерений показана на рис. 38. При калибровке тестируемого приемника снимается зависимость его показаний от уровня подаваемого сигнала. При этом фиксируется не только погрешность показаний приемника, но и степень линейности его характеристики во всем динамическом диапазоне. Тестирование

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

генератора включает проверку временной стабильности параметров его излучения. При поверке методом сравнения (рис.39) исключается влияние соединительных шнуров.

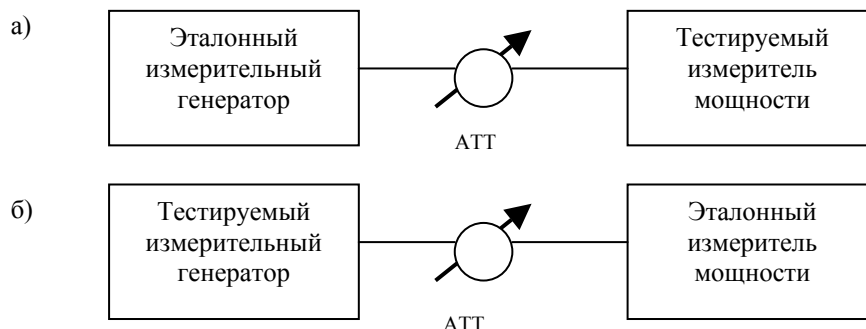


Рис.38. Поверка (калибровка) приемника (а) и генератора (б) оптической мощности методом прямых измерений. АТТ – аттенуатор оптической мощности.

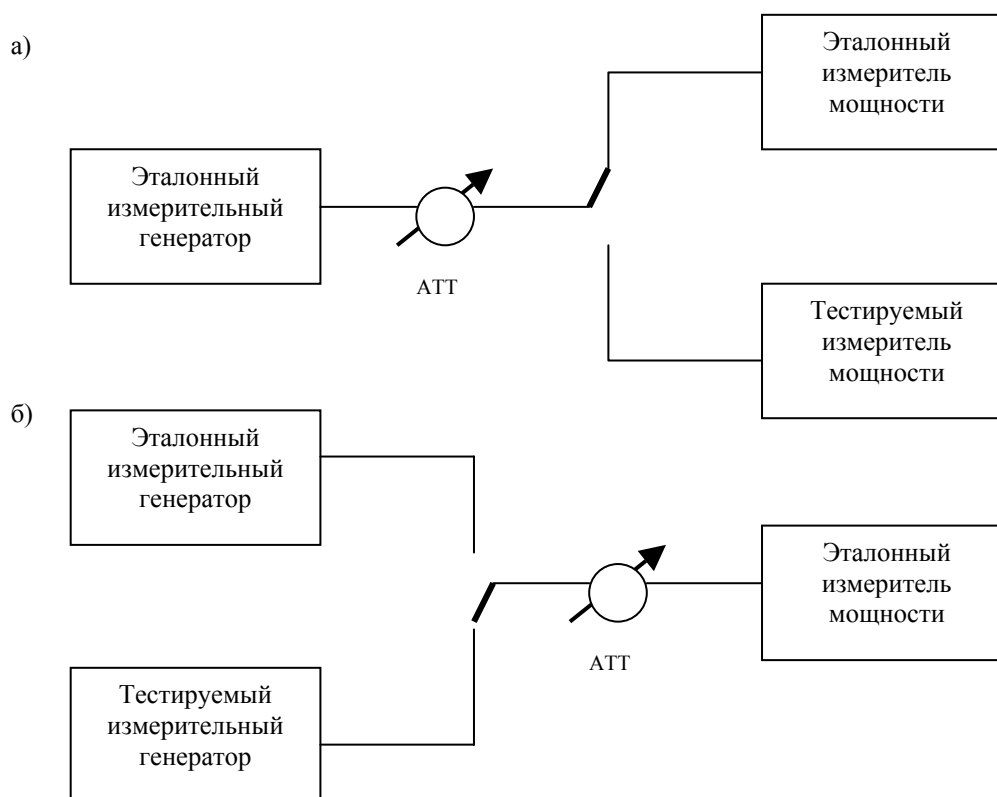


Рис.39. Поверка (калибровка) приемника (а) и генератора (б) оптической мощности методом сравнения. АТТ – оптический аттенуатор.

Точность приборов, на которых осуществляется поверка, должна быть как минимум в 2 раза выше, чем у тестируемых. Тогда вклад погрешности измерений самого эталонного прибора уменьшается.

Для возможности применения на линиях, входящих в состав Взаимоуязнанной сети, измерительные приборы должны проходить сертификацию по системе Госстандарта РФ с последующей периодической поверкой приборов. Кроме сертификации Госстандарта приборы могут сертифицироваться различными ведомствами для подтверждения соответствия их параметров требованиям данной отрасли.

Приборы, прошедшие сертификацию, удовлетворяют требованиям обеспечения единства измерений в масштабах страны, и не только. Так, результаты сравнительных испытаний отечественных тестеров серии ПТ**** и пяти импортных моделей показали полное совпадение результатов в пределах погрешности измерений приборов.

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

5.2. Оптические рефлектометры

Оптический рефлектометр - это прибор, с помощью которого можно оценить распределение затухания по длине линии, определить местонахождение неоднородностей и оценить степень их влияния на передаваемый сигнал. Рефлектометр очень удобен для диагностики состояния волокна. Он позволяет проводить измерения, находясь на одном конце волокна (или кабеля).

5.2.1. Классификация рефлектометров

Существует большое количество типов рефлектометров, изготовленных разными фирмами. Все они делятся на 2 класса:

- ◆ Мини-рефлектометры;
- ◆ Полные рефлектометры.

Мини-рефлектометры представляют собой небольшие по размерам и достаточно легкие по весу приборы, работающие как от сети, так и от встроенных аккумуляторов. Такими приборами очень удобно пользоваться в полевых условиях, например, при прокладке или ремонте кабеля, при проведении плановых измерений и т. д. В их состав входит большой цветной дисплей, жесткий диск и дисковод для гибких дисков. Модульная конструкция мини-рефлектометров позволяет менять оптические блоки, а также включать в состав приборов принтер, блок измерителя оптической мощности, а в отдельных приборах - источник видимого излучения и переключатель оптических каналов, облегчающий работу с ленточным кабелем и переговорное устройство.

Полные рефлектометры. Современный оптический рефлектометр - это мощная измерительная система, обеспечивающая прецизионное измерение параметров оптического кабеля. Он обычно имеет большую скорость измерения, расширенный динамический диапазон и диапазон длин волн, автоматический поиск дефектов и предварительную установку параметров измерений. Рефлектометр может работать в режиме персонального компьютера под DOS и WINDOWS, в том числе в составе сетевых контрольно-измерительных комплексов. Он применяется, в первую очередь, на магистральных линиях, а также в системах мониторинга.

Все рефлектометры позволяют производить запись измерений в энергонезависимую память, на дискету или во встроенный винчестер для дальнейшего накопления в архиве и последующей обработке на компьютере. Рефлектометры кодируются в форматах, которые у каждой компании разные (ANDO, Wavetek, Laser Precision и т.д.). Их насчитывается более десятка. Как правило, приборы не могут работать с чужими форматами. Для выхода из данной ситуации разработаны некоторые общие форматы, которые считаются международными, с которыми могут работать все современные рефлектометры, например, Bellcore GR196.

Табл. 8. Рефлектометры.

Рефлектометры одномодовые с рабочей длиной волны 1310 нм

Производитель	ИИТ	ANDO	Anritsu	Exfo	Hewlett Paccard	Siemens	Wavetek
Марка прибора	OP-2-1	ANDO	MW9070	FTB300	8147	OTDRPLU S	MTS510 0
Тип модуля	OM-1.31	AQ7145	MW0972 B	7223B	E4319A	Singlemod e	5026DR
Динамический диапазон, дБ	29	34	36	28	40	30	35
Минимальная длительность импульса, нс	30	20	20	10	30	н/д	5
Максимальная длительность импульса, мкс	10	10	10	10	20	н/д	10
Мертвая зона отражения, м	10	н/д	5	3	3	5	1

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

Мертвая зона затухания, м	35	65	25	15	40	15	15
Точность измерения длины L линии, м	$1.5+5 \cdot 10^{-5} L$	$2 \cdot 10^{-5} L$	$10^{-4} L$	$2.5 \cdot 10^{-5} L$	$5 \cdot 10^{-5} L$	$10^{-4} L$	$5 \cdot 10^{-5} L$
Минимальный показатель преломления	1,3	1	н/д	н/д		н/д	1.3
Максимальный показатель преломления	1,7	1.9	н/д	н/д		н/д	1.7
Шаг дискретизации показателя преломления	0.00001	0.00001	н/д	н/д	н/д	н/д	0.00001
Количество точек рефлектограммы	16000	5000	н/д	32000		24000	32000
Линейность измерения затухания, дБ/дБ	0.05	н/д	0.05	0.05		н/д	0.05
Число маркеров	2	6	н/д	н/д	Auto	н/д	н/д
Минимальная рабочая температура, град. С	0	0	н/д	-5	0	н/д	н/д
Максимальная рабочая температура, град. С	40	40	н/д	40	55	н/д	н/д
Габариты, мм	290[260[65	177x284x415	290x194x75	229x305x101	218x371x305	254x254x152	300x235x90
Вес, кг	4	14	11.4	6.4	9	7	5.5

5.2.2. Устройство рефлектометра

Рефлектометр состоит из:

- ❖ базового блока, который обрабатывает результаты измерения и выводит их на встроенный дисплей;

- ❖ сменных оптических модулей на разные длины волн.

Динамический диапазон рефлектометров находится в пределах 25 - 40 дБ, что позволяет им измерять оптическое волокно длиной до 200 км. Разрешающая способность этих приборов (подробнее о ней будет написано в главе 3.4.3.) может изменяться от нескольких сантиметров до десятков метров.

По рефлектограмме можно определить:

- общие потери в волокне и его коэффициент затухания;
- распределение потерь по длине волокна;
- расположение муфт (сварных и механических соединений) и потери в них;

5. Приборы для тестирования волоконных световодов

- место повреждения волокна;
- оптическую длину волокна.

Рефлектометры обычно используют для измерения параметров достаточно длинных волокон. На коротких длинах его использование ограничивается существованием "мертвой зоны" - начального участка волокна, на котором измерения невозможны из-за кратковременного "ослепления" фотодиода мощным зондирующим импульсом, отраженным от выходного коннектора прибора.

6. Технологии, измерения

6.1. Измерение проходных и возвратных потерь

6.1.1. Состав тестера



Рис.40. Тестер OTM-1

Конструктивно тестер выполнен в виде двух приборов: источника с требуемой фиксированной длиной волны и постоянным уровнем мощности и измерителя, охватывающего диапазон длин волн от 800 до 1600 нм. Оба прибора имеют сзади в нижней части корпуса стандартные отсеки для аккумуляторов, закрываемые крышечкой. На верхних торцевых поверхностях расположены розетки оптических разъемов. У источника там же находится кнопка со светодиодом, индицирующая включение питания.

На лицевой поверхности измерителя сверху имеется жидкокристаллический индикатор, а в центре – три кнопки управления прибором. Крайняя слева кнопка имеет обозначение «НМ» и предназначена для выбора диапазона длин волн измеряемого уровня мощности оптического излучения. Кнопка, обозначенная «дБ/дБм», предназначена для перехода из режима измерения абсолютных уровней мощности («дБм») в режим относительных («дБ») измерений (измерения затухания) и обратно. Кнопка с обозначением «ВКЛ» включает (отключает) питание измерителя.

Для реализации оптического излучения с различными длинами волн тестер имеет четыре модификации источников: одномодовые с рабочей длиной 1,31 и 1,55 мкм и многомодовые с рабочей длиной 0,85 и 1,3 мкм.

6.1.2. Принцип действия тестера состоит в следующем:

- оптический сигнал с объекта измерения с известной длиной волны поступает на вход фотоприемного устройства измерителя, где преобразуется в аналоговый электрический сигнал, который далее усиливается логарифмическим усилителем и с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) превращается в цифровой код. Этот код дешифрируется и выводится на цифровое табло в виде информации об уровне мощности оптического сигнала. Работой логарифмического усилителя, АЦП и дешифратора управляет процессор;

- основу источника оптического излучения составляет лазерный диод на требуемую длину волны, стабильность уровня мощности которого обеспечивается за счет охвата обратной связью по фототоку и термостабилизации режима работы;

- при определении затухания оптического сигнала в объекте, оптический сигнал с выхода источника подается на вход тестируемого кабеля, а к выходу его подключается измеритель. Проводится измерение уровня мощности на выходе объекта и, при известном уровне мощности на входе объекта, по разности уровней оценивается затухание.

6.1.3. Подготовка тестера к работе

При подготовке тестера к измерениям необходимо:

- убедиться в чистоте калиброванных поверхностей оптических узлов;
- убедиться в исправности оптических кабелей, участвующих в измерениях;
- проверить наличие и состояние аккумуляторов (отсутствие потеков, ржавчины). При необходимости зарядить аккумуляторы.

6.1.4. Контроль работоспособности

Включить питание источника. Светодиодный индикатор на кнопке должен светиться, что свидетельствует о наличии питания. Если свечение индикатора отсутствует, то необходимо проверить и, если это необходимо, зарядить или заменить аккумуляторы.

При включении питания измерителя мощности (при ранее установленном аккумуляторе) на его табло появятся цифры, индицирующие (при открытой оптической розетке) уровень мощности фоновое оптическое излучение или число «-60,0», которым ограничивается чувствительность измерителя, если розетка закрыта защитным колпачком. Индикация свидетельствует о наличии питания.

Если напряжение питания измерителя ниже допустимого предела, то на табло будут высвечиваться точки между разрядами. В этом случае необходимо зарядить аккумуляторы или заменить батареи.

Затем следует проверить выбор поддиапазонов длин волн. Для этого необходимо нажать кнопку «НМ». При этом на табло на 2...3 секунды появится значение установленного поддиапазона. Повторное нажатие кнопки в течение этого времени приведет к смене поддиапазона, которая происходит последовательно (по кольцу: 850, 1300, 1550, 850 и т.д.)

Соединить калибровочным шнуром выход источника с входом измерителя, установив предварительно на измерителе длину волны, соответствующую длине волны источника. Измерить уровень мощности оптического излучения источника на выходе оптического кабеля, который при исправном тестере может быть ниже уровня мощности источника, приведенного в паспорте на тестер, не более чем на 0,5 дБ (за счет возможных потерь в оптическом соединителе источника).

6.1.5. Проведение измерений

6.1.5.1. Для проведения измерений уровня мощности оптическое излучение через тестируемый световод (тестируемый шнур) подается на вход измерителя, кнопкой «ВКЛ» включается питание, кнопкой «НМ» выбирается средняя длина волны (см. п.1.4.) требуемого поддиапазона. На табло будет индигироваться измеренный уровень. В измерителе предусмотрено ограничение диапазона измерений сверху уровнем 4 дБм, а снизу – уровнем минус 60 дБм, что и будет индигироваться на табло.

6.1.5.2. Для проведения относительных измерений уровней мощности необходимо при уровне, принимаемом за «нуль» (уровень, относительно которого будут оцениваться другие уровни), нажать кнопку «дБ/дБм». При этом на табло появится «-00.0» (первая точка индигирует режим относительных измерений). Уровни, отличные от принятого за «нуль», будут индигироваться как разность между измеряемым в данный момент уровнем и уровнем, принятым за «нуль», естественно, с учетом знака этой разности. Необходимо помнить, что относительные измерения осуществляются с уровнями из диапазона от минус 50 до минус 3 дБм.

Повторное нажатие на кнопку «дБ/дБм» отменяет относительные измерения.

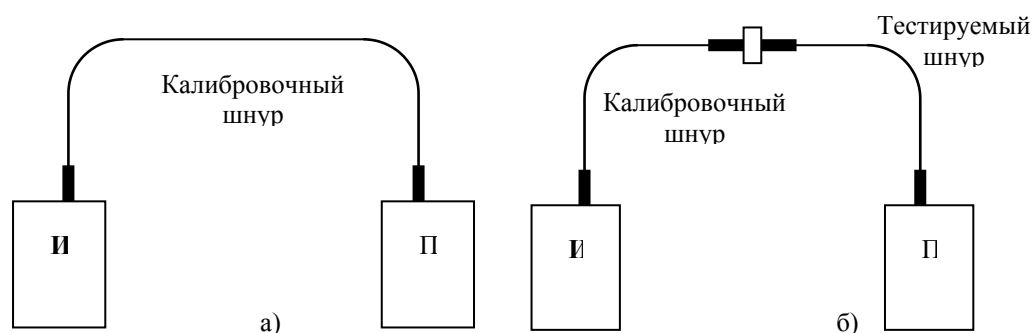


Рис.41. Измерение потерь методом вносимых потерь (методом замещения). Обозначения: И – источник, П – измеритель.

6.1.5.3. Определение потерь в объекте осуществляется измерением тестером уровня мощности на входе (p1) и выходе (p2) измеряемого объекта. Потери в объекте в дБ вычисляются по формуле:

$$a = p1 - p2.$$

Потери в ВС можно определить и с использованием относительных измерений. В этом случае после измерения уровня на входе объекта следует нажать кнопку «дБ/дБм». После измерения уровня на выходе на табло будут представлены потери в объекте.

6.2. Основы техники рефлектометрических измерений

При работе с рефлектометром необходимо выполнить несколько последовательных этапов:

- ◆ Подготовительный этап;
- ◆ Этап измерений;
- ◆ Этап обработки измеренных данных.

6.2.1. Подготовительный этап.

6.2.1.1. Выбор рефлектометра

Подготовительный этап - дело не менее ответственное, чем этап измерений и начинается с выбора подходящего рефлектометра.

6.2.1.2. Подготовка прибора.

Перед проведением измерений необходимо выполнить ряд подготовительных операций, а именно - подготовить рефлектометр и тестируемое волокно к проведению измерений.

Подготовка рефлектометра заключается в установке необходимых параметров измерения: длины волны, количества усреднений (или времени усреднения), показателя преломления волокна, если необходимо - то тип волокна, ожидаемую длину линии, параметры зондирующего импульса.

Большинство современных рефлектометров позволяют проводить измерения в 3 режимах: ручном, автоматическом и полуавтоматическом.

Самый простой в эксплуатации режим - это автоматический режим. При этом режиме рефлектометр самостоятельно, без участия оператора, определяет необходимые параметры рефлектометра, наиболее подходящие для измерения волокна, подключенного к его выходу.

При ручном режиме оператор самостоятельно выбирает параметры измерения. Ручной режим наиболее подходит для опытных пользователей, знающих возможности используемого рефлектометра и параметры тестируемого волокна, либо при проведении лабораторных исследований.

Полуавтоматический режим - это смесь двух вышеперечисленных режимов. При выборе такого режима пользователь принимает параметры, определенные в автоматическом режиме и изменяет некоторые из них с целью получения более точных или более достоверных результатов. Такой режим удобен при быстром тестировании многоволоконного кабеля с последующим сравнением полученных рефлектограмм.

6.2.1.3. Подготовка волокна.

Кроме подготовки рефлектометра, необходимо подготовить к измерению и волокно. В основном подготовка волокна сводится к очистке его торца с помощью набора специальных инструментов. В такой набор входят специальные протирочные безворсовые салфетки, чистящий раствор и воздушные очистители-спреи. С противоположной стороны надо отключить измеряемое волокно от аппаратуры и принять меры по уменьшению величины отражения от дальнего и ближнего концов. Последнее особенно актуально в случае коротких линий. В качестве таких мер применяются специальные жидкости и гели, изменяющие коэффициент отражения за счет сильного поглощения излучения, а также специальные устройства, увеличивающие потери на отражении. Можно также применить операцию намотки небольшой длины волокна на стержень небольшого диаметра с целью увеличения затухания отраженного света.

Замечание: после проведения измерений остатки геля или жидкостей необходимо тщательно и осторожно удалить.

Необходимо также подготовить рефлектометрическую кабельную вставку (называемую также, нормализующим волокном или передающим кабелем), которой желательно пользоваться при всех измерениях. Такая вставка применяется для устранения двух проблем:

- 1) она дает фотодиоду время для выхода из насыщения после засветки зондирующим импульсом, отраженным от места выходного коннектора прибора;
- 2) она позволяет согласовать исследуемое волокно и измерительный прибор по диаметру модового поля и, тем самым, повысить точность измерения.
- 3) Она позволяет измерить потери в разъёмных соединениях – прямые и обратные – которые характеризуют качество полировки исследуемого коннектора.

Для измерения потерь коннектора на дальнем конце используют "приемный кабель" - длинное волокно, подсоединенное к исследуемому волокну. Для уменьшения отражения от места соединения вставки с исследуемым волокном необходимо также воспользоваться гелем*. Длина рефлектометрической вставки составляет обычно 1000-2000 метров.

*) необходимо помнить, что это не решение проблемы, так как на работающей линии гель не применяется, а любые измерения только тогда чего-либо стоят, если они моделируют настоящую рабочую ситуацию. Поэтому при

достаточной технической оснащенности и соответствующей подготовке инженерно-технического персонала необходима строгая отбраковка монтируемых стабконцов (по результатам измерений во время монтажа и по данным заводских паспортов). При неудовлетворительных результатах измерений необходимо тщательно очистить оба торца разъемов и соединительную розетку. Если это не помогло, то необходимо провести полировку разъема на месте. Современное оборудование с легкостью позволяет сделать это.

6.2.2. Этап измерений.

После проведения подготовительных работ наступает этап измерения. При включении рефлектометра с подключенным к нему оптическим волокном на дисплее прибора появится следующая картинка:

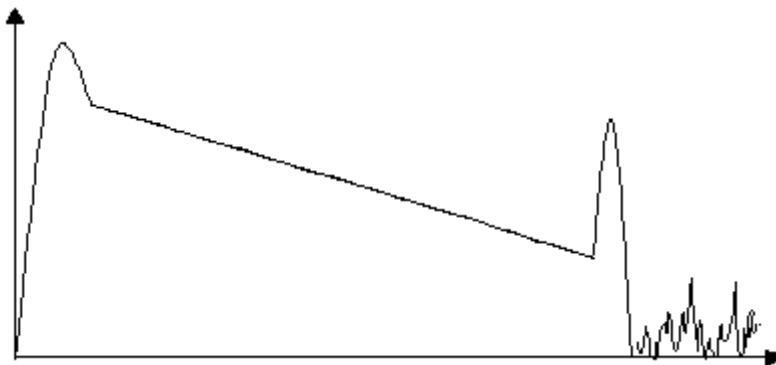


Рис.42. Рефлектограмма исправной линии.

При наличии дефектов рефлектограмма примет следующий вид:

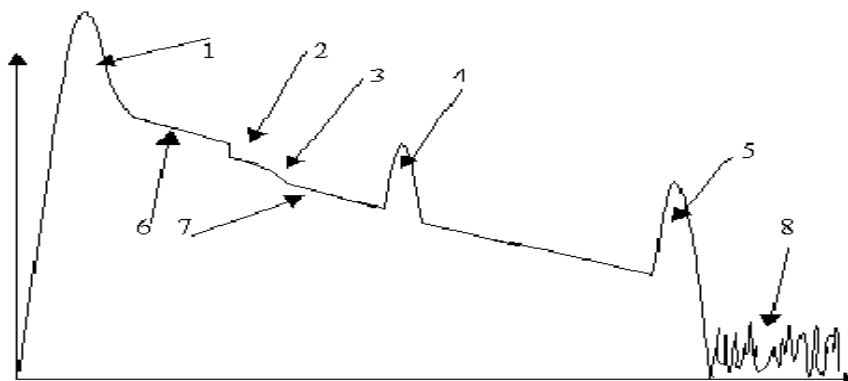


Рис.43. Рефлектограмма линии с дефектами.

- 1 - область мертвой зоны;
- 2,3 – сварное соединение или напряженный изгиб волокна;
- 4 – отражение Френеля от разъемного соединения или механического сращения;
- 5 – отражение Френеля от торца коннектора на дальнем конце;
- 6,7 – отрезки волокна с разными коэффициентами затухания;
- 8 – область шумов оптического рефлектометра.

На любой рефлектограмме можно выделить 4 основные зоны:

- ❖ Мертвую зону, внутри которой измерения невозможны;
- ❖ Кривую обратного рассеяния, на которой расположены все события, существующие в волокне;

- ❖ Отражение Френеля на границе "стекло-воздух", присутствующей на торце дальнего конца волокна;
- ❖ Область шумов, основную часть которых составляют шумы фотоприемника и электрических цепей рефлектометра.

Внимание: все измерения необходимо проводить при полностью отключенном от приемопередающей аппаратуры волокне с закрытыми от фонового излучения коннекторе или торце.

6.2.2.1. Мертвая зона.

Источник оптического излучения рефлектометра подключен к одному из плеч направленного оптического ответвителя. К другому его плечу подключен фотодиод, а к третьему - исследуемое волокно.

Свет, испускаемый источником, без препятствий проходит со входа 1 к выходу 3 направленного ответвителя и распространяется дальше по волокну. Смесь обратнорассеянного излучения и отражений Френеля распространяется назад в направлении источника и, попадая в ответвитель, проходит с вывода 3 на вывод 2 и дальше к фотодиоду, не распространяясь в направлении вывода 1, который для данного направления распространения света является изолированным (или полностью развязанным). Таким образом, в направленном ответвителе рефлектометра свет может распространяться только в 2 направлениях:

- ❖ от вывода 1 к выводу 3;
- ❖ от вывода 3 к выводу 2.

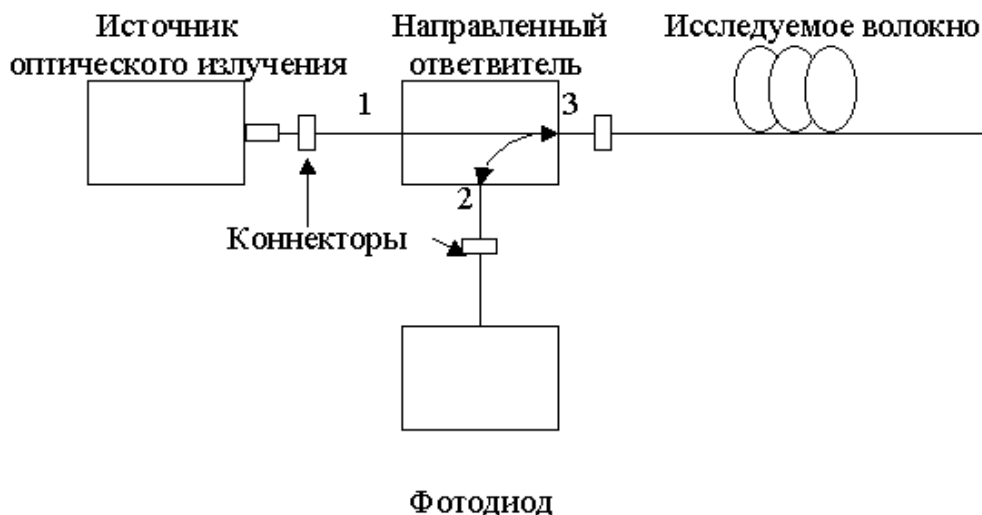
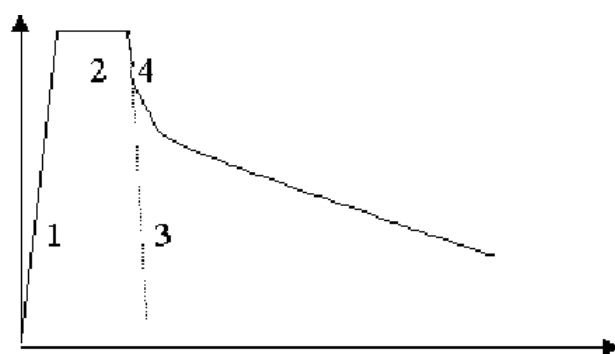


Рис.44. Оптическая часть рефлектометра с подключенным к его выходу/входу волокном

На выходе 3 оптического ответвителя находится разъемное соединение, образованное коннекторами ответвителя и исследуемого волокна. Импульс света, пройдя через ответвитель, попадает на это соединение и частично отражается назад, в направлении ответвителя. Вследствие того, что испущенный (инжектированный) источником импульс очень мощный, то и отраженная его часть также является достаточно мощной. Эта отраженная часть мощности импульса, пройдя через ответвитель в направлении 3-2, попадает в фотодиод.

Фотодиод рефлектометра предназначен для работы с очень малыми уровнями обратнорассеянного излучения, которые в тысячи раз меньше уровня зондирующего сигнала. Импульсы же, выходящие из источника имеют мощность до 1 Вт. Поэтому даже небольшой отраженной мощности вполне достаточно для "ослепления" фотодиода, то есть приведения его в насыщение, при котором любые изменения освещенности его рабочей площади не приводят к



1 - передний фронт отраженного импульса;
 2 - насыщение фотодиода; 3 - задний фронт отраженного импульса (на реальной рефлектограмме не виден); 4 - рассасывание зарядов из обедненной области фотодиода.

Рис.45. Мертвая зона рефлектометра.

изменению тока, проходящего через электрические цепи фотодиода. Это явление продолжается до устранения причины насыщения (т. е. окончания отражения импульса) и продлевается на время рассасывания зарядов из фотодиода. При очень мощном зондирующем импульсе рефлектограмма может принять следующий вид:

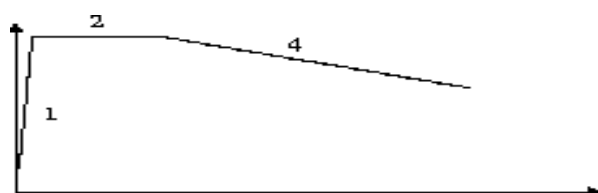


Рис.46. Мертвая зона при мощном зондирующем импульсе.

То есть фотодиод очень сильно насыщается (область 2) и время рассасывания (4) его значительно увеличивается. Совокупность областей 1,2,3 и 4 составляет мертвую зону рефлектометра - участок волокна, который в течение этого времени не может быть исследован.

Замечание: на представленных рисунках по горизонтали откладывается не расстояние, как в рефлектометре, а время. Это сделано с тем, что при изучении "мертвой зоны" рефлектометра удобнее иметь дело не с расстоянием, а со временем, которое более скоррелировано с параметрами импульса. Для рефлектометра понятия "расстояние" и "время" являются идентичными.

Мертвую зону принято подразделять на две взаимодополняющие компоненты:

- ♦ Мертвая зона для измерения затухания (мертвая зона по затуханию);
- ♦ Мертвая зона для измерения расстояния (мертвая зона по расстоянию).

Мертвая зона по затуханию. Рефлектограмма в области кривой обратного рассеяния имеет вид равномерной наклонной прямой (при отсутствии заметных неоднородностей) (См. Рис.47).



Рис.47. Рефлектограмма исправной линии

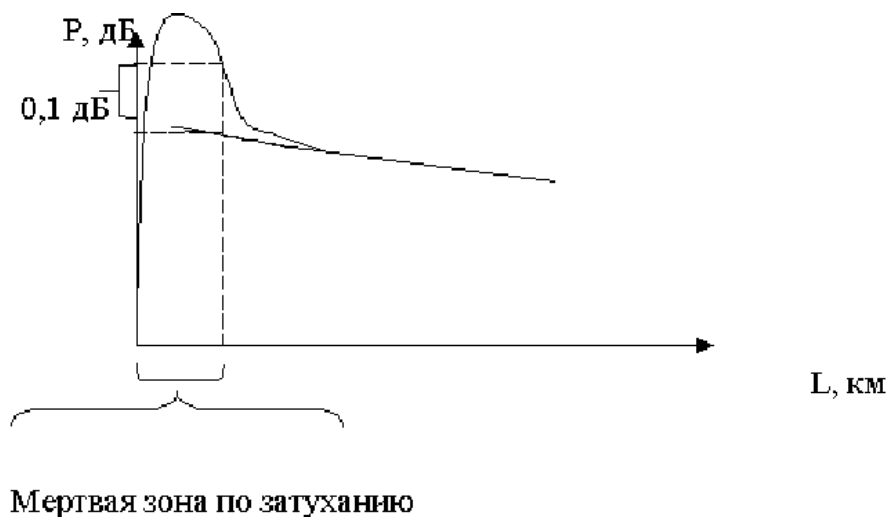


Рис.48. Определение мертвой зоны по затуханию.

Если продолжить эту прямую в сторону начала отсчета, то на рефлектограмме обязательно найдется точка, располагающаяся на 0,1 дБ (или 0,5 дБ в соответствии с методикой поверки оптических рефлектометров МИ 1907-99) выше этой продленной прямой (Рис.48.)

В этом случае проекция данной точки на ось расстояний определит мертвую зону по затуханию для



зондирующего импульса.

Рис.49. Определение мертвой зоны для неотражательного события.

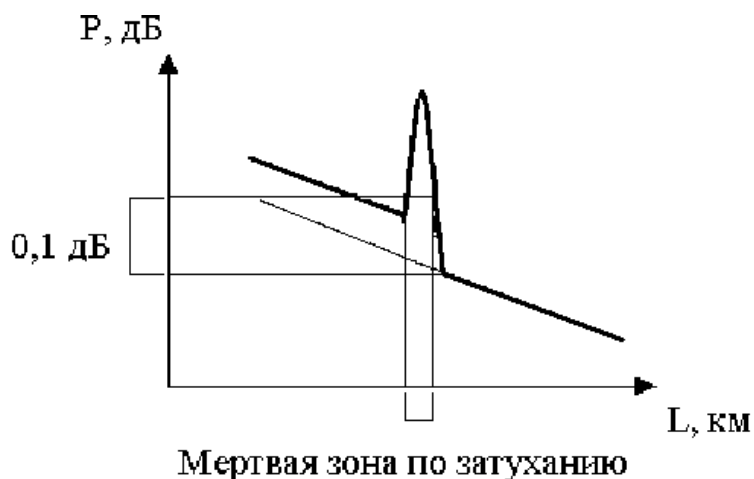


Рис.50. Определение мертвой зоны для отражательного события.

Мертвая зона по расстоянию. Мертвая зона для измерения расстояния — это минимальное расстояние на рефлектограмме, где два соседних события еще могут быть идентифицированы (распознаны).

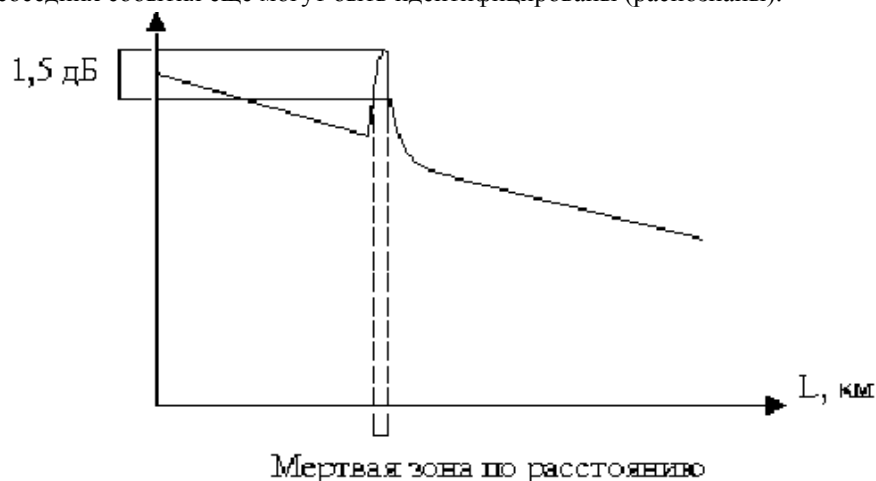


Рис.51. Определение мертвой зоны по расстоянию

Для неоднородностей в виде отражения мертвая зона по расстоянию определяется как расстояние между точками на кривой обратного рассеяния, лежащими на $1,5$ дБ ниже вершины отражения.

6.2.2.2. Кривая обратного рассеяния.

Кривая обратного рассеяния представляет собой спадающую от начала к концу (слева направо) линию, расположенную сразу за мертвой зоной; на ней отображаются все события, присутствующие в волокне.

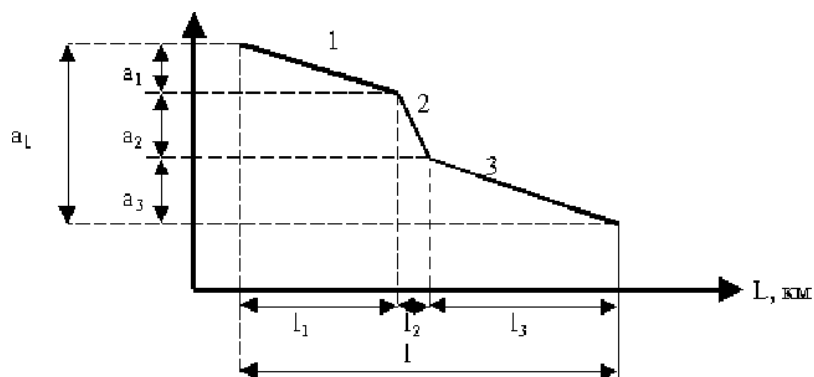


Рис.52. Кривая обратного рассеяния.

На данном рисунке изображены 3 участка. Первому участку соответствует волокно длиной l_1 и затуханием a_1 . Второй участок - это сплайс или разъемное соединение, которому соответствует затухание a_2 . Расстояние l_2 зависит от длительности импульса. Участок 3 - это область волокна, расположенное за сплайсом.

Из этого рисунка можно выделить расстояние до сплайса, общую длину волокна, потери на разных его участках, затухание в событии, коэффициент затухания отдельных участков и всей линии. Для отражательных событий по рефлектограмме можно определить потери на отражении. Их величина зависит от разности показателей преломления соединяемых волокон или волокна и окружающей среды, а также качеством поверхности торцов. Меньшая разность показателей преломления дает и меньшее отражение падающего на соединение света.

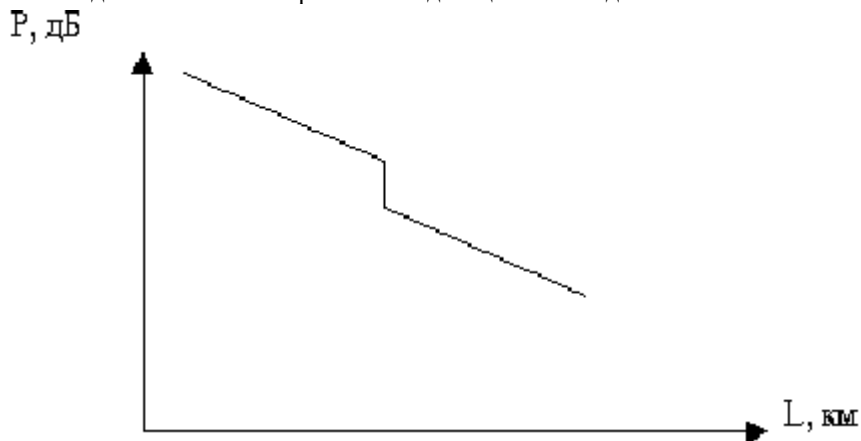


Рис.53. Два соединенных волокна с одинаковым коэффициентом обратного рассеяния.

Два соединяемых волокна обычно имеют одинаковый коэффициент обратного рассеяния, который характеризуется на рефлектограмме одинаковым наклоном кривой обратного рассеяния (Рис.4.2.13.). Это условие почти всегда выполняется в магистральных и соединительных линиях связи. Однако в локальных сетях и сетях кабельного телевидения, особенно в расширяющихся сетях, это правило часто нарушается, и соединяемые волокна от разных поставщиков могут обладать разными коэффициентами. На рефлектограмме это будет выглядеть следующим образом:

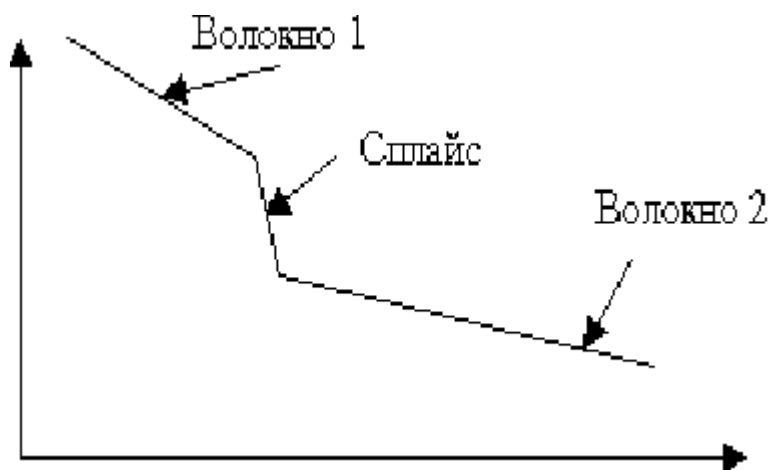


Рис.54. Два соединенных волокна с разным коэффициентом обратного рассеяния.

Если то же самое соединение посмотреть с другого конца, то картина приобретет следующий вид:

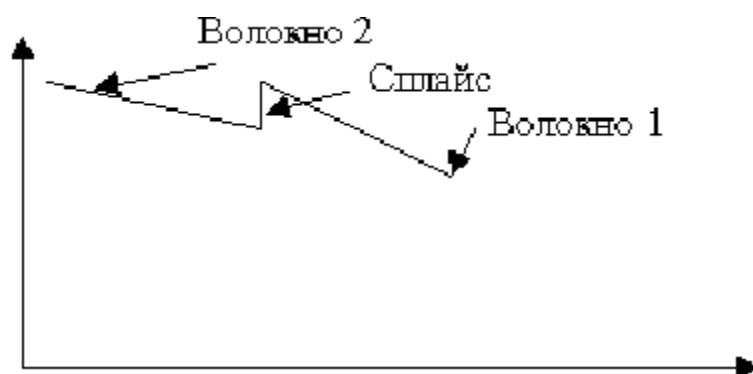


Рис.55. Два соединенных волокна с разными коэффициентами обратного рассеяния ($K_2 > K_1$)

Потери в сплайсах на Рис 54. и Рис.55. содержат истинные потери и ошибочные потери, вызванные разными параметрами волокна.

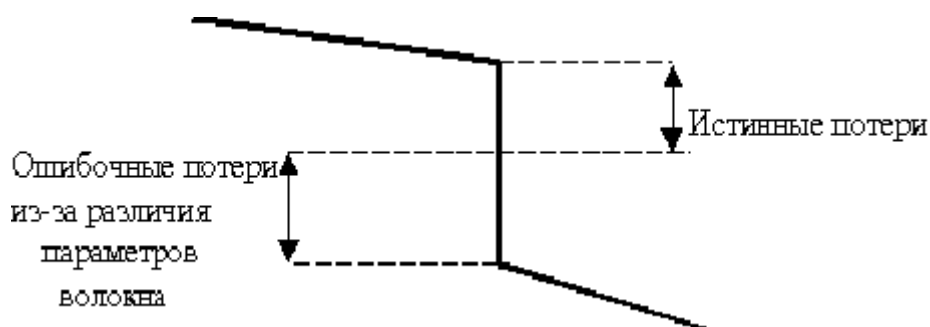


Рис.56. Потери в месте соединения двух волокон.

В случае, изображенном на Рис.55.:

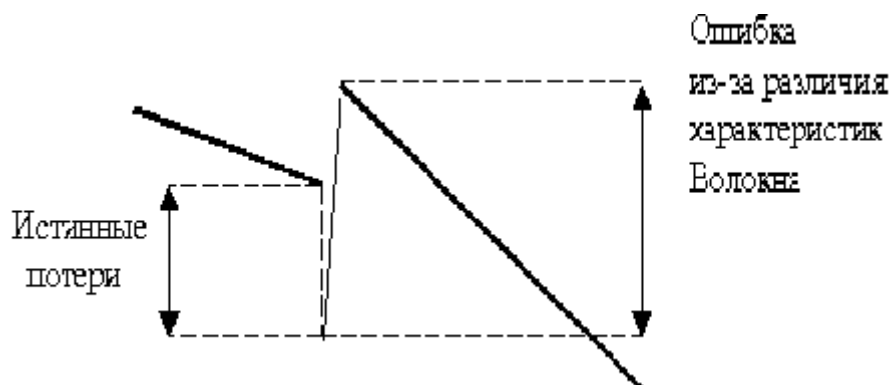


Рис.57. Потери в месте соединения

Разность в затухании двух волокон, составляющая 0,1 дБ может привести к ошибкам потерь в сростке до 0,3 дБ. Для устранения такой ошибки необходимо сравнение рефлектограмм, снятых с обеих сторон и усреднение результатов измерений. Двусторонние измерения минимизируют эффект разности коэффициентов обратного рассеяния.

6.2.3. Этап обработки измерений.

Рефлектометрические исследования преследуют 2 основных цели:

- ◆ диагностика состояния волокна и обнаружение неисправностей;
- ◆ определение расстояния до обнаруженных повреждений.

Если первая цель была вкратце описана выше, то достижение второй цели имеет очень опасный "подводный камень". Оператор может с высокой точностью обнаружить повреждение по рефлектограмме и определить расстояние до него. Но все эти измерения выполняются в оптическом диапазоне, то есть для оптической длины волокна. При этом анализируется время, прошедшее между вводом в волокно зондирующего импульса и приходом рассеянного назад света от конкретной точки или события. Однако правильность измерения оптической длины может быть гарантирована, если правильно установлен показатель преломления волокна. В случае неизвестного показателя преломления расстояние не может быть определено верно. С целью определения неизвестного показателя преломления проводится измерение отрезка волокна известной длины того же кабеля. При этом с помощью изменения коэффициента преломления на рефлектометре длина волокна на экране подгоняется путем растягивания (или сужения) до значения, соответствующего истинной длине измеряемого отрезка. Полученное значение показателя преломления используется для последующего измерения расстояния.

Теперь немного об операции, получившей название "усреднение". При измерениях часто приходится иметь дело с шумами. Особенно сильно они влияют на качество измерений дальнего конца волокна. Для борьбы с ними и

был разработан метод усреднения. В этом методе измерение выбранной точки проводится много раз (иногда много сотен раз, а в некоторых случаях и много тысяч раз). Среднеквадратичное значение шумов при каждом измерении уменьшается вследствие хаотичности шумового процесса, и погрешность величины потерь измеряемого события также уменьшается. С увеличением времени усреднения или количества усреднений отношение "сигнал-шум" улучшается. Четыре-пять усреднений могут увеличить динамический диапазон рефлектометра на один децибел, но дальше зависимость улучшения отношения "сигнал-шум" от количества усреднений уменьшается в геометрической прогрессии.

6.2.3.1. Ложные отражения.

Иногда на рефлектограмме в области шумов за отражением от конца волокна вдруг появляются таинственные пики, очень похожие на отражения (Рис.58.). Это происходит в случае очень мощного отражения от дальнего конца волокна при малом коэффициенте затухания или при короткой длине волокна. Таких пиков может быть даже несколько, и все они располагаются на расстояниях, кратных длине волокна. Такое явление возникает из-за повторного отражения вернувшегося импульса входным коннектором волокна и вторичного его распространения по волокну.

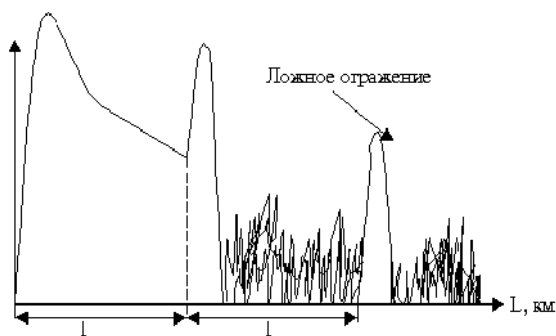


Рис.58. Ложные отражения.

Дальний конец волокна становится источником квазизондирующего импульса. Квазиобратное рассеяние, однако, не проявляется из-за того, что мощность отраженного импульса мала для того, чтобы после отражения от входного коннектора вызвать обратное рассеяние, достаточное для того, чтобы приемные устройства рефлектометра были в состоянии обнаружить его на фоне шумов. Входной конец волокна становится в этом случае "дальним концом" для отраженного от выходного коннектора импульса. Уменьшая мощность входного или отраженного сигнала можно уменьшить или совсем устранить ложные отражения.

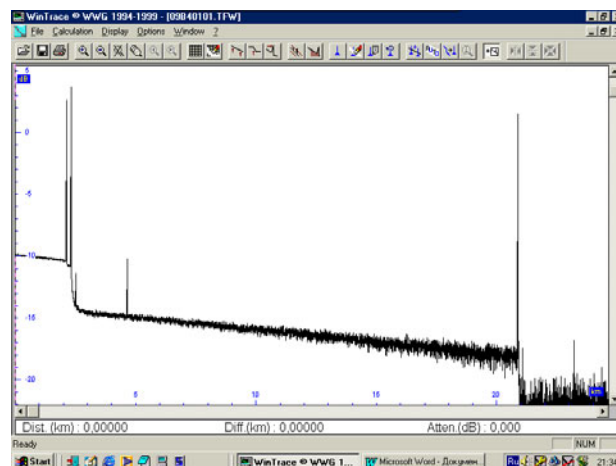


Рис.59. Фотография рефлектограммы с ложными отражениями.

Кроме ложных отражений, находящихся вне длины волокна, на рефлектограмме могут появиться и пики, находящиеся в пределах измеряемого волокна. Такое случается, когда рефлектометр, не успев принять и обработать всю кривую обратного рассеяния, инжектирует в волокно следующий импульс. Это означает, что период повторения импульсов меньше длины исследуемого волокна (см. Рис.59).

Для устранения этого эффекта необходимо установить на рефлектометре правильный диапазон расстояний, которому соответствует период повторения импульсов, то есть изменить скважность зондирующих импульсов.

6.2.4. Методы измерения потерь с помощью оптических рефлектометров

В самых простейших оптических рефлектометрах измерение потерь производилось с помощью курсора. Для этого он подводился к началу измеряемого события и фиксировался уровень обратного рассеяния P_0 в данной точке. Затем курсор перемещался за событие и снимался уровень P_1 . Разность ($P_0 - P_1$) и составляла потери в событии.

В более современных рефлектометрах применяется метод 2 маркеров или метод 5 маркеров. Оба эти метода используются для измерения потерь как в отражательных, так и в неотражательных событиях.

6.2.4.1. Метод двух маркеров

В методе 2 маркеров один из них устанавливается в точке, находящейся непосредственно перед событием. Второй маркер подводится к месту измерения уровня за событием. Кривая между маркерами аппроксимируется прямой линией, наклон которой соответствует наклону обратного рассеяния. Разница уровней, соответствующих местам расположения маркеров на рефлектограмме, сразу отражается на дисплее прибора. Этот метод также является не очень точным из-за того, что в случае присутствия в месте установки курсора шума или нелинейности кривой обратного рассеяния появляется неопределенность измерения уровня. Она вызывается тем, что маркер может быть установлен как в верхней части шума, так и во впадине, т. е. в самом низу шумов. Кроме того, существует погрешность установки маркера в правильную точку шкалы расстояния. Однако, несмотря на свои недостатки, этот метод в некоторых случаях является единственно возможным, например, при измерении близкорасположенных событий.

6.2.4.1. Метод пяти маркеров

С целью уменьшения погрешностей, вызванных шумами, используется 5-маркерный метод. При этом методе 2 маркера устанавливаются на линейном участке слева от события, 2 других - на линейном участке справа от события и один маркер - непосредственно в начале события.

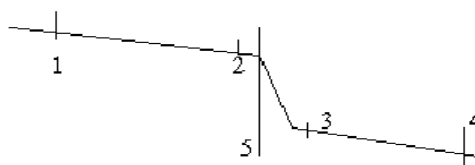


Рис.60. Пятимаркерный метод определения потерь..

6. Технологии, измерения.

После этого производится аппроксимация выделенных участков прямыми линиями и рассчитывается затухание сигнала в событии.

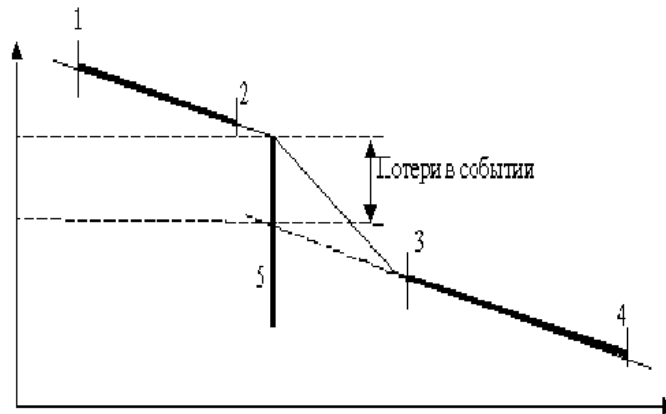


Рис.61. Аппроксимация кривой обратного рассеяния при 5-маркерном методе.

Это наиболее точный метод измерения потерь в волокне. К его недостаткам можно отнести лишь то, что он требует большого линейного участка волокна для расстановки маркеров (точность измерения зависит от расстояния между маркерами на линейном участке).

6.3. Сращивание волоконных световодов механическими соединителями

6.3.1 Соединение световодов с помощью механических соединителей типа ULTRASplice



ULTRASplice может использоваться для временного или постоянного соединения волокон в первичном 250 мкм и 900 мкм буферном покрытии в любых сочетаниях. Не требует специальных устройств или инструментов для монтажа. Для получения качественных торцов волокна желательно применение стационарного скалывателя

Рис. 62. Соединитель типа ULTRASplice

Устройство соединителя:

Соединитель имеет пластиковый корпус, содержащий стеклянный капилляр, заполненный оптическим гелем. Стеклянный капилляр служит для сведения волокон при визуальном контроле их контакта. С двух сторон корпуса винтовым соединением крепятся пластиковые цанговые зажимы, предназначенные для фиксации волокон.

Принцип действия

Соединение волокон фиксируется цанговыми зажимами.

Время монтажа: 30-45 секунд

Характеристики:

ULTRASplice предназначен для многократного использования

Вносимые потери: менее 0.2 дБ

Обратные потери: -50дБ

Рабочий диапазон температур: -40С...+80 °С

Материал корпуса: пластмасса

Габаритные размеры: 40х5.7 мм

Диаметр покрытия волокна: 250 - 900 мкм

Усилие удержания волокон: более 125 г

Процедура монтажа

1. Зачистить и сколоть волокна на длине:

25 мм для волокна в первичном 250 мкм покрытии

10 мм для волокна в буферном 900 мкм покрытии

Для получения соединения с малыми потерями используйте скалыватель, обеспечивающий высокое качество скола. (См. диаграмму разделки, рис.63)

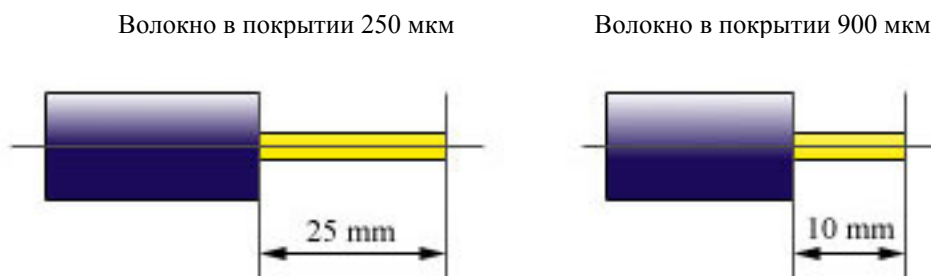


Рис.63. Диаграмма разделки.

1. Надеть втулку на волокно
2. Освободить оба зажима
3. Ввести подготовленное волокно со втулкой до упора
4. Ввести волокно со втулкой с противоположной стороны до контакта с первым волокном
5. Поочередно зафиксировать оба зажима.

1. Втулку не использовать
1. Освободить оба зажима
2. Ввести подготовленное волокно до упора
3. Ввести волокно с противоположной стороны до контакта с первым волокном
4. Поочередно зафиксировать оба зажима.

При многократном использовании в капилляр вводится иммерсионный гель с помощью шприца.

6.3.2 Соединение световодов с помощью механических соединителей типа Corelink



Corelink может использоваться для временного или постоянного соединения волокон в первичном 250 мкм и буферном 900 мкм покрытии в любых сочетаниях. Возможна установка соединителя в оптических муфтах. Не требует специальных устройств или инструментов для монтажа. Для получения качественных торцов волокна желательно применение стационарного скалывателя

Принцип монтажа: После того, как в соединитель вставлены подготовленные волокна, они фиксируются в соединителе при помощи ключа. Прозрачный корпус позволяет визуально контролировать контакт волокон в соединителе.

Характеристики:

CORELINK Splice предназначен для многократного использования

Вносимые потери: менее 0,1 дБ

Обратные потери: -55 дБ

Рабочий диапазон температур: -40С...+80 °С

Материал корпуса: пластмасса

Габаритные размеры: 50,8х7,6х3,3 мм (2"x0,3"x0,13")

Диаметр покрытия волокна: 250 - 900 мкм

Процедура монтажа

1. Подготовка волокон

1.1. Зачистить и сколоть волокна на длине:

8...9 мм для волокна в первичном 250 мкм покрытии

18...19 мм для волокна в буферном 900 мкм покрытии

Для получения соединения с малыми потерями используйте скалыватель, обеспечивающий высокое качество скола.

1.2. Очистите торцы изопропиловым спиртом с помощью безворсовых салфеток.

2. Установка соединителя

2.1. Откройте упаковку и извлеките соединитель. Загрязнения соединителя не вскрывайте

2.2. Извлеките ключ, прилагаемый к соединителю. как показано на рис. 65, вставьте ключ во (отверстие, ближе к краю соединителя). ушком должна быть параллельна поверхности

2.3. Поверните ключ на 90° вниз. Соединитель

2.4. Выровнять волокно соосно с соединителем и порту на его торце. Медленно вставить волокно канал в центральном элементе соединителя. покрытие должно остановиться, оперевшись в элемента, тогда как волокно в 900 мкм останавливается в конце широкой части канала. добиться, чтобы отрезки зачищенного волокна по алюминиевого элемента стали одинаковыми.

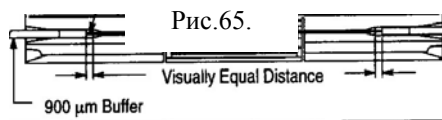
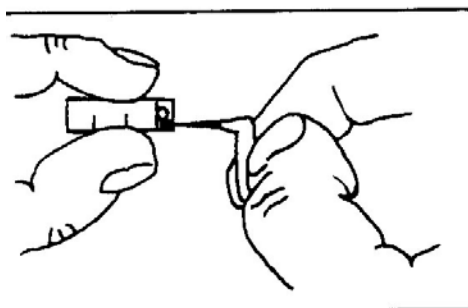


Рис.66.

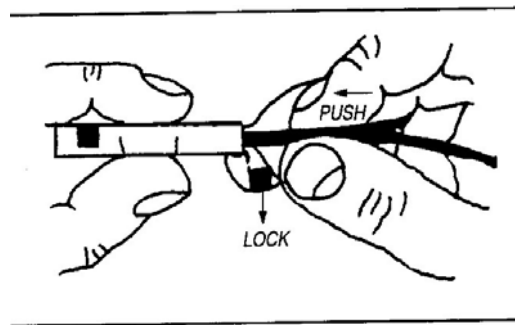
Во избежание упаковки заранее. Удерживая Corelink, входной порт Рукоятка ключа с соединителя. открыт. поднести к входному так, чтобы оно вошло в Волокно в 250 мкм край алюминиевого покрытия Двигая волокна обе стороны Рис.66.

6. Технологии, измерения.

2.5. Мягко, с усилием внутрь соединителя, большим и указательным пальцами мягко поверните рукоятку ключа на 90°, как показано на рис.67. Не должно быть означающего закрытие соединителя. Первое зафиксировано.

2.6. Приложите мягкое усилие ко второму в наличии контакта волокон друг с другом. ключ, фиксируя второе волокно. Соединитель

Если результат тестирования не устраивает, соединитель, обрезать волокна, отступив 10...20 повторить процедуру монтажа.



щелчка,
волокно

волокну, убедившись
Мягко поверните
закрыт.

можно вскрыть
мм от торцов и

Рис.67.

6.3.3 Соединение световодов с помощью механического соединителя типа Fibrlok

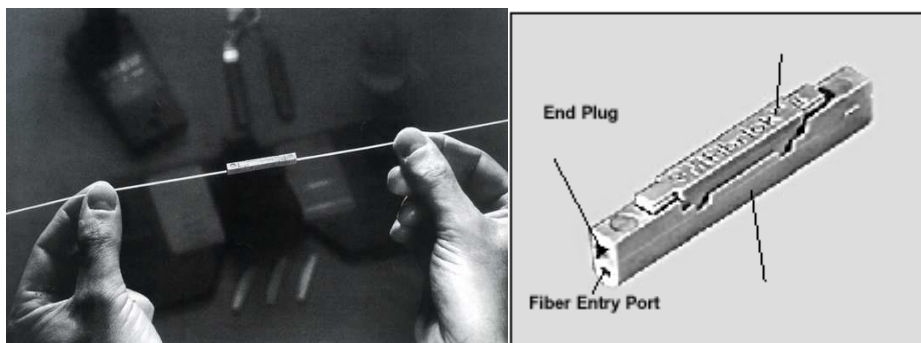
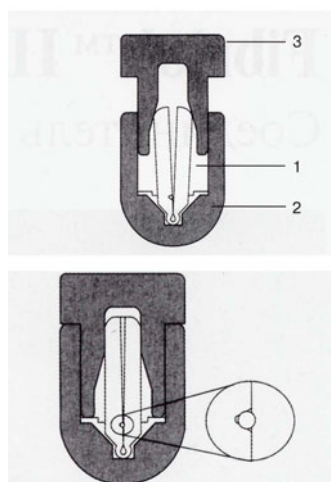


Рис. 68. Соединитель Fibrlok.

Fibrlok может использоваться для временного или постоянного соединения волокон в первичном 250 мкм и буферном 900 мкм покрытии. Возможна установка соединителя в оптических муфтах. Желательно применение специального монтажного приспособления Fibrlok 2501. Для получения качественных торцов волокна желательно применение стационарного скалывателя



Устройство:

Fibrlok состоит из центрирующего элемента (1), выполненного из сплава алюминия, заполненного инверсионным гелем и закрепленного в корпусе из литой пластмассы (2), и пластиковой крышки (3).

Рис. 69. Конструкция соединителя Fibrlok.

Принцип монтажа:

Для соединения волокон достаточно одного движения крышки. После того, как в соединитель вставлены подготовленные волокна, крышка соединителя защелкивается. Движение крышки сжимает лепестки центрирующего элемента, точно и надежно фиксируя волокна в соединителе.

Время монтажа: 30 секунд.

Характеристики:

Fibrlok предназначен для одноразового использования

Вносимые потери: менее 0.1 дБ

Изменение вносимых потерь при изменении температуры в пределах рабочего диапазона: не более 0,5 дБ при -40°C...+80 °C

Обратные потери: не более – 35 дБ при -40°C и 80°C; не более -60дБ при комнатной температуре

Рабочий диапазон температур: -40°C...+80 °C

Материал корпуса: пластмасса

Габаритные размеры: 25,4x6,4x3,8 мм (1"x0,25"x0,15)

Диаметр покрытия волокна: 250, 900 мкм

Нагрузка на разрыв соединения: не менее 0,45 кг, в среднем 1,35 кг

Время монтажа: не более 30 секунд после подготовки волокон

Погружение в воду: 7 дней при 43°C, изменение потерь на стыке не более 0,5 дБ

Процедура монтажа

1. Подготовка соединителя

- 1.1. Вскрыть упаковку и извлечь соединитель Fibrlok.
- 1.2. Установить соединитель в специальное приспособление.

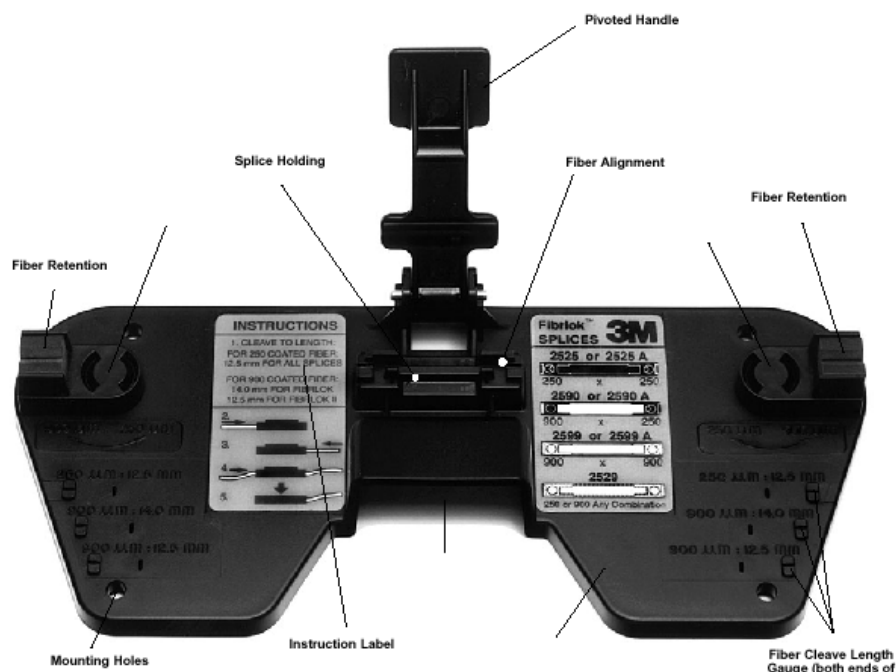


Рис.70. Устройство для монтажа соединителей Fibrlok производства компании 3М.

2. Подготовка волокна

- 2.1. Зачистить волокна на длине 25...50 мм. Волокна в покрытии 250 мкм и 900 мкм зачищаются одинаково.
- 2.2. Протереть безворсовой салфеткой, смоченной изопропиловым спиртом (не более двух раз).
- 2.3. Сколоть волокна на длине 12.5 мм ± 0.5 мм. После скола волокна не протирать.

3. Монтаж соединителя

- 3.1. Поместите волокно в покрытие на расстоянии 6 мм от зачищенного конца в направляющие держатели для волокна. Следите за тем, чтобы волокно легло параллельно соединителю, а не под углом к нему.
- 3.2. Мягкими движениями введите волокно в соединитель до упора. Если волокно вставлено правильно, зачищенный участок не видно. Если зачищенная часть волокна вошла не полностью, оттяните волокно назад и повторите попытку. Полностью извлекать волокно из соединителя не нужно.
- 3.3. Выполнить операции 3.1 и 3.2 со вторым волокном. Рис.71.

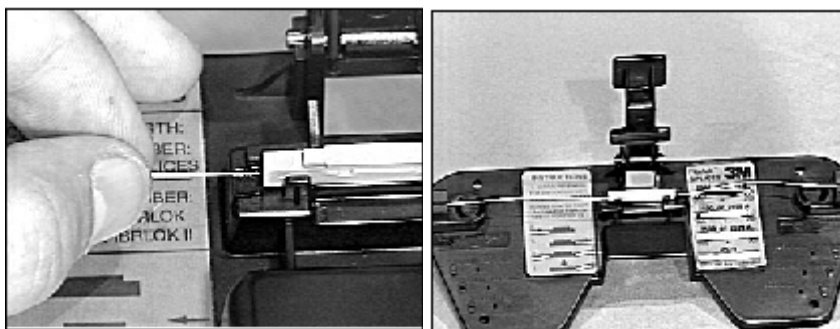


Рис. 71. Подготовка волокна и соединителя к монтажу.

- 3.4. Выровнять волокна, убедившись в их контакте друг с другом.
- 3.5. Опустить рукоятку и закрыть соединитель.

6. Технологии, измерения.

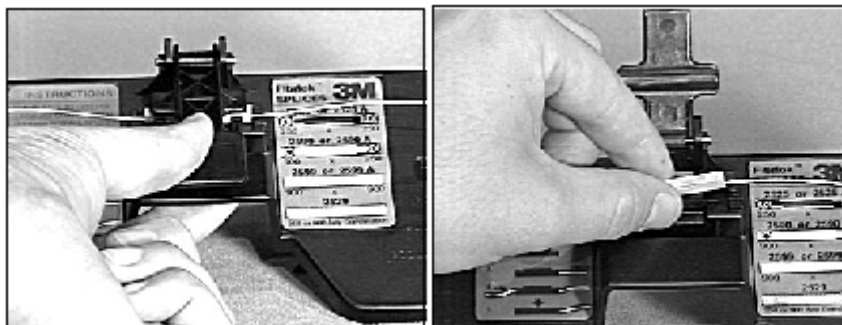


Рис.72. Окончание монтажа соединения волокон в соединителе Fibrlok.

3.6. Извлечь соединитель.

3.7. Измерить вносимые потери в соединении.

Если результат тестирования не устраивает, вырезать соединитель, отступив 10...20 мм от его торцов и повторить монтаж. Повторное использование соединителя Fibrlok не допускается.

При отсутствии специального приспособления монтаж соединителя проводится аналогично.

6.3.4. Монтаж адаптеров для обнаженного волокна



Рис.73. Адаптеры для обнаженного волокна ST, FC и SC.

Процедура монтажа

1. Снять с волокна защитное покрытие в соответствии с диаграммой разделки:

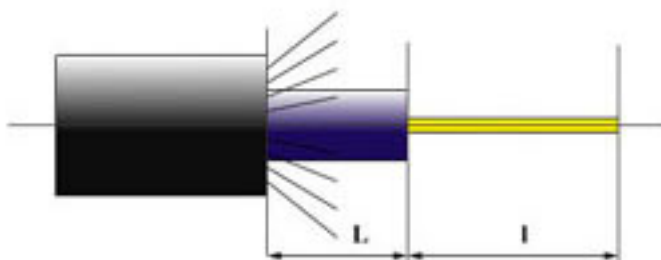


Рис.74. Диаграмма разделки.

Адаптеры для обнаженного волокна:
 $l=50+5$ мм
 $L=45$ мм

Кабельные адаптеры:
ST: $l=35$ мм, $L=25+1$ мм
FC: $l=35$ мм, $L=21+1$ мм

2. Нажать кнопку, ввести волокно в адаптер до упора, отпустить кнопку.
3. Ручкой-скальвателем нанести штрих у торца наконечника и осевым усилием удалить излишек волокна.

Процедура монтажа одномодовых FC, ST, SC адаптеров для обнаженного волокна и кабельных адаптеров FC и ST: Снять с волокна защитное покрытие и приготовить скол стационарным скальвателем (например, Fujikura CT-07) в соответствии с диаграммой разделки:

Адаптеры для обнаженного волокна: $l=15+1$ мм
 $L=45$ мм

Кабельные адаптеры:
ST, FC: $l=35$ мм, $L=15+1$ мм

2. Нажать кнопку, ввести волокно в адаптер до упора, отпустить кнопку. При этом торец волокна может выступать из наконечника не более, чем на диаметр волокна (125 мкм)

6.4. Технологии оконцевания

6.4.1. Оконцевание кабеля коннектором ST

Технология: эпоксидная клейка

Набор инструмента: стандартный (Прил. 7.4)

6.4.1.1. Детали коннектора



Рис.75. Конструкция коннектора ST.

6.4.1.2. Подготовка волокон и клея

1. Надеть на конец кабеля, подлежащего оконцеванию, последовательно: хвостовик эластичный и кримпируемую втулку.
2. С конца кабеля удалить ПВХ оболочку стриппером Т-типа на длине 40...45 мм. Отрезать упрочняющие нити ножницами для резки кевлара, оставив свободными по 5 мм. Удалить буферное покрытие стриппером No-Nik-250, оставив 16 мм. Первичное защитное покрытие (эпокси-акрилат) удалить с оптического волокна с помощью стриппера Miller.
3. Извлечь из пакета упаковку эпоксидного клея. Удалить съемную перегородку. Положить упаковку на ровную поверхность и прокатать по ней роликом миксера 10 - 20 раз. Вскрыть упаковку с клеем. При необходимости поместить клей в шприц.
4. Протереть волокно салфеткой, смоченной в спирте. Нанести клей на оптическое волокно, буферное покрытие разделанного конца кабеля, а также на поверхность коннектора, попадающую под упрочняющие нити кабеля.

6.4.1.3. Установка коннектора

1. Аккуратно надеть коннектор на разделанный конец кабеля. Заднюю утонченную часть коннектора необходимо ввести внутрь наружной оболочки кабеля.
2. Кримпирующую втулку переместить по кабелю на коннектор до упора. Кримпировать втулку на коннекторе кримпирующим инструментом зевом 0.178 дюйма на кабеле зевом 0.151 дюйма.
3. Нанести микрокаплю клея на торец наконечника в месте выхода из него волокна. Надеть на наконечник защитную заглушку.
4. Выдержать коннектор до отверждения клея в зависимости от марки клея:
F 113 SC - 18 часов при 25 C°,
F 1-2-3- 10 мин. при 100 C° или 5 мин. при 150 C° (в специальной мини печи).
Примечание: одной упаковки хватает на 20 - 40 оконцовок.
5. Ручкой-скальвателем нанести на волокно риску на границе клеевой капли на торце наконечника. Изгибая волокно произвести скалывание.
6. Коннектор закрепить в полировальном диске. На ровном месте установить стеклянную пластину. Положить на нее последовательно картонную подложку и полировальную пленку. Шлифовать торец волокна на пленке шлифовальной М5. При шлифовании (и полировании) описывать фигуру похожую на цифру "8" с размахом 50...100 мм, не оказывая давления на коннектор. Особенно аккуратно следует действовать в начале процесса шлифования. Следить за тем, чтобы на шлифовальную пленку и под нее не попадали посторонние твердые частицы. Шлифовать до тех пор, пока на торце наконечника не останется тонкий слой клея.
Примечание: Шлифовать до полного удаления клея запрещается. Толщина оставляемого на торце наконечника слоя клея определяется визуально.
7. Протереть торец наконечника и шлифовального диска салфеткой смоченной в спирте. Для протирки после каждого вида абразивной пленки использовать индивидуальную салфетку.
8. Полировать торец волокна на пленке полировальной М1 до полного удаления следов клея.
9. Фиксировать коннектор на микроскопе. Контролировать визуально под микроскопом качество торца. Световедущая жила должна быть без сколов и царапин. Допускаются незначительные сколы и царапины на отражающей оболочке.
10. При попадании загрязнения в коннектор или розетку обдуть их сжатым воздухом из баллончика.

6.4.2. Оконцевание кабеля коннектором FC

Технология: эпоксидная клейка

Набор инструмента: стандартный (Прил. 7.4)

6.4.2.1. Детали коннектора



Рис.76. Конструкция коннектора FC.

6.4.2.2. Подготовка волокон и клея

1. Надеть на конец кабеля, подлежащего оконцеванию, последовательно: хвостовик эластичный и кrimpируемую втулку.
2. С конца кабеля удалить ПВХ оболочку стриппером T-типа на длине 35...40 мм. Отрезать упрочняющие нити ножницами для резки кевлара, оставив свободными по 5 мм. Удалить буферное покрытие стриппером No-Nik-250, оставив 15 мм. Первичное защитное покрытие (эпокси-акрилат) удалить с оптического волокна с помощью стриппера Miller.
3. Извлечь из пакета упаковку эпоксидного клея. Удалить съемную перегородку. Положить упаковку на ровную поверхность и прокатать по ней роликом миксера 10 - 20 раз. Вскрыть упаковку с клеем. При необходимости поместить клей в шприц.
4. Протереть волокно салфеткой, смоченной в спирте.

6.4.2.3. Установка коннектора

1. Надеть на разделанный конец кабеля оправу (деталь коннектора, имеющую утонченную часть, входящую внутрь наружной оболочки кабеля).
2. В технологическую заглушку поместить корпус (деталь коннектора с ключом) и закрутить гайку коннектора. В гнездо оправы поместить пружину.
3. Вставить наконечник керамической частью в шприц. Заполнить наконечник клеем, подавая его в отверстие металлической части наконечника и создавая шприцем разряжение. Наконечник считается заполненным клеем при образовании на его торце капельки клея. Клей не должен попадать на боковую поверхность наконечника.
4. Аккуратно надеть на волокно и буфер наконечник. Нанести на резьбу оправы каплю клея и завернуть корпус с гайкой с помощью технологической заглушки. Гайку коннектора скрутить с технологической заглушки и заглушку удалить. Нанести клей на поверхность коннектора, попадающую под упрочняющие нити кабеля.
5. Кrimpирующую втулку переместить по кабелю на коннектор до упора. Кrimpировать втулку на коннекторе кrimpирующим инструментом зевом 0.178 дюйма на кабеле зевом 0.151 дюйма.
6. Нанести микрокаплю клея на торец наконечника в месте выхода из него волокна. Надеть на наконечник защитную заглушку.
7. Выдержать коннектор до отверждения клея в зависимости от марки клея:
F 113 SC - 18 часов при 25 C°,
F 1-2-3- 10 мин. при 100 C° или 5 мин. при 150 C° (в специальной мини печке).
Примечание: одной упаковки хватает на 20 - 40 оконцовок.
8. Ручкой-скальвателем нанести на волокно риску на границе клеевой капли на торце наконечника. Изгибая волокно произвести скалывание.
9. Коннектор закрепить в полировальном диске. На ровном месте установить стеклянную пластину. Положить на нее последовательно картонную подложку и полировальную пленку. Шлифовать торец волокна на пленке шлифовальной М5. При шлифовании (и полировании) описывать фигуру похожую на цифру "8" с размахом 50...100 мм, не оказывая давления на коннектор. Особенно аккуратно следует действовать в начале процесса шлифования. Следить за тем, чтобы на шлифовальную пленку и под нее не попадали посторонние твердые частицы. Шлифовать до тех пор, пока на торце наконечника не останется тонкий слой клея.
Примечание: Шлифовать до полного удаления клея запрещается. Толщина оставляемого на торце наконечника слоя клея определяется визуально.
10. Протереть торец наконечника и шлифовального диска салфеткой смоченной в спирте. Для протирки после каждого вида абразивной пленки использовать индивидуальную салфетку. Салфетки не путать.
11. Полировать торец волокна на пленке полировальной М1 до полного удаления следов клея.

6. Технологии, измерения.

12. Фиксировать коннектор на микроскопе. Контролировать визуально под микроскопом качество торца. Световедущая жила должна быть без сколов и царапин. Допускаются незначительные сколы и царапины на отражающей оболочке.
13. При попадании загрязнения в коннектор или розетку обдуть их сжатым воздухом из баллончика.

6.4.3. Оконцевание кабеля коннектором SC

Технология: эпоксидная клейка

Набор инструмента: стандартный (Приложение 7)

6.4.3.1. Детали коннектора



Рис.77. Конструкция коннектора SC.

6.4.3.2. Подготовка волокон и клея

1. Надеть на конец кабеля, подлежащего оконцеванию, последовательно: хвостовик эластичный и кримпируемую втулку. Поместить вставку тонкой частью под наружную оболочку кабеля.
2. С конца кабеля удалить ПВХ оболочку стриппером Т-типа на длине 35...40 мм. Отрезать упрочняющие нити ножницами для резки кевлара, оставив свободными по 4 мм. Удалить буферное покрытие стриппером No-Nik-250, оставив 8 мм. Первичное защитное покрытие (эпокси-акрилат) удалить с оптического волокна с помощью стриппера Miller.
3. Извлечь из пакета упаковку эпоксидного клея. Удалить съемную перегородку. Положить упаковку на ровную поверхность и прокатать по ней роликом миксера 10 - 20 раз. Вскрыть упаковку с клеем. При необходимости поместить клей в шприц.
4. Протереть волокно салфеткой, смоченной в спирте. Нанести клей на оптическое волокно, буферное покрытие на длине 2мм разделанного конца кабеля, а также на поверхность коннектора, попадающую под упрочняющие нити кабеля и резьбовую часть вставки. Клей не должен попадать в зазор между задней частью наконечника и корпусом коннектора.

6.4.3.3. Установка коннектора

1. Аккуратно надеть коннектор на разделанный конец кабеля. Закрутить вставку в заднюю часть коннектора на один оборот.
2. Кримпирующую втулку переместить по кабелю на коннектор до упора. Кримпировать втулку на коннекторе кримпирующим инструментом зевом 0.178 дюйма на кабеле зевом 0.151 дюйма.
3. Нанести микрокаплю клея на торец наконечника в месте выхода из него волокна. Надеть на наконечник защитную заглушку.
4. Выдержать коннектор до отверждения клея в зависимости от марки клея:
F 113 SC - 18 часов при 25 C°,
F 1-2-3- 10 мин. при 100 C° или 5 мин. при 150 C° (в специальной мини печке).

Примечание: одной упаковки хватает на 20 - 40 оконцовок.

5. Ручкой-скальвателем нанести на волокно риску на границе клеевой капли на торце наконечника. Изгибая волокно произвести скалывание.
6. Коннектор закрепить в полировальном диске. На ровном месте установить стеклянную пластину. Положить на нее последовательно картонную подложку и полировальную пленку. Шлифовать торец волокна на пленке шлифовальной М5. При шлифовании (и полировании) описывать фигуру похожую на цифру "8" с размахом 50...100 мм, не оказывая давления на коннектор. Особенно аккуратно следует действовать в начале процесса шлифования. Следить за тем, чтобы на шлифовальную пленку и под нее не попадали посторонние твердые частицы. Шлифовать до тех пор, пока на торце наконечника не останется тонкий слой клея.

Примечание: Шлифовать до полного удаления клея запрещается. Толщина оставляемого на торце наконечника слоя клея определяется визуально.

7. Протереть торец наконечника и шлифовального диска салфеткой смоченной в спирте. Для протирки после каждого вида абразивной пленки использовать индивидуальную салфетку.
8. Полировать торец волокна на пленке полировальной М1 до полного удаления следов клея.
9. Фиксировать коннектор на микроскопе. Контролировать визуально под микроскопом качество торца. Световедущая жила должна быть без сколов и царапин. Допускаются незначительные сколы и царапины на отражающей оболочке.

10. При попадании загрязнения в коннектор или розетку обдуть их сжатым воздухом из баллончика.

6.4.4. Оконцевание кабеля коннектором LC

Технология: вклейка

Набор инструмента: стандартный (Прил. 7.4)

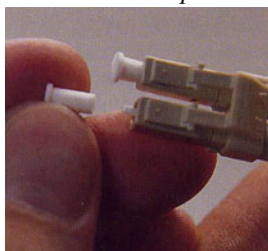


Рис 78. Внешний вид дуплексного коннектора LC

6.4.4.1. Подготовка волокон

1. Надеть на конец кабеля, подлежащего оконцеванию, последовательно: хвостовик эластичный и кримпируемую втулку. Для получения дуплексного коннектора дополнительно одевается задняя часть клипсы (См. Рис.79).

2. С конца кабеля удалить ПВХ оболочку стриппером Т-типа на длине 40 мм. Отрезать упрочняющие нити ножницами для резки кевлара, оставив свободными по 7 мм. Удалить буферное покрытие стриппером No-Nik-250, оставив 20 мм. Первичное защитное покрытие удалить с оптического волокна с помощью стриппера Miller.

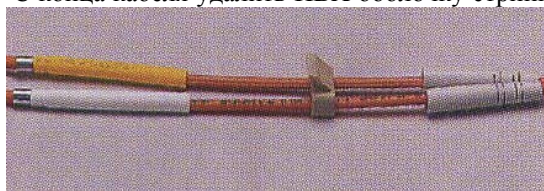


Рис.79.

3. Протереть волокно салфеткой, смоченной в спирте.

4. Набрать клей в шприц. Кончик иглы вставить в заднюю часть коннектора и ввести клей до появления капельки клея на торце наконечника коннектора. Нанести клей на оптическое волокно, буферное покрытие на длине 2мм разделанного конца кабеля.

6.4.4.2. Установка коннектора

1. Аккуратно надеть коннектор на разделанный конец кабеля.

2. Кримпирующую втулку переместить по кабелю на коннектор до упора. Кримпировать втулку на коннекторе кримпирующим инструментом.

3. С помощью фена осадить на кабеле термоусаживаемую трубку кримпфтулки.

4. Сколоть волокно вблизи наконечника.

5. Выдерживать коннектор до отверждения клея в зависимости от марки клея:

6. Коннектор закрепить в полировальном диске. На ровном месте установить стеклянную пластину. Положить на нее последовательно картонную подложку и полировальную пленку. Шлифовать торец волокна на пленке шлифовальной М5. При шлифовании (и полировании) описывать фигуру похожую на цифру "8" с размахом 50...100 мм, не оказывая давления на коннектор. Особенно аккуратно следует действовать в начале процесса шлифования. Следить за тем, чтобы на шлифовальную пленку и под нее не попадали посторонние твердые частицы. Шлифовать до тех пор, пока на торце наконечника не останется тонкий слой клея.

Примечание: Шлифовать до полного удаления клея запрещается. Толщина оставляемого на торце наконечника слоя клея определяется визуально.

7. Протереть торец наконечника и шлифовального диска салфеткой смоченной в спирте. Для протирки после каждого вида абразивной пленки использовать индивидуальную салфетку.

8. Полировать торец волокна на пленке полировальной М1 до полного удаления следов клея.

9. Фиксировать коннектор на микроскопе. Контролировать визуально под микроскопом качество торца. Световедущая жила должна быть без сколов и царапин. Допускаются незначительные сколы и царапины на отражающей оболочке.

10. Для получения дуплексного коннектора одеть вторую часть клипсы и соединить с первой до щелчка.

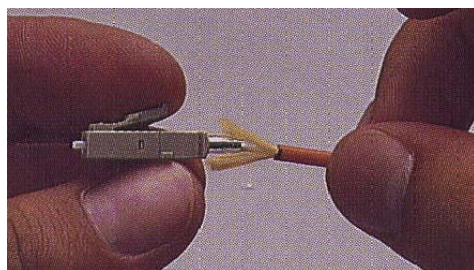


Рис.80.

6.4.4. Оконцевание кабеля коннектором MT-RJ

Технология: стаб

Набор инструмента: специальный

6.4.5.1. Подготовка волокон

А. Волокно в 900 мкм буферном покрытии

- 1.1. Надеть хвостовик на пару волокон узким концом вперед.
- 1.2. Отмерить 40 мм от конца волокон и нанести метку. Это длина, с которой снимается покрытие. От этой метки отступить 13 мм и нанести дополнительную метку. Эта метка служит для визуального контроля стыковки волокон в капилляре коннектора.
- 1.3. Осторожно снять защитное покрытие на расстоянии 40 мм (до первой метки).
- 1.4. Сколоть волокна с помощью скалывателя для коннекторов MT-RJ (длина скола 8.5 мм) (Рис.81).

В. Волокно в дуплексном миникабеле

- 1.1. Надеть хвостовик на кабель узким концом вперед.
- 1.2. Отмерить 40 мм от конца волокон и нанести метку. На этой длине снять внешнее защитное покрытие вместе с кевларовыми нитями.
- 1.3. Отступить 11 мм от края внешнего покрытия и нанести дополнительную метку. Снять внешнее покрытие, оставив кевларовые нити.
- 1.4. Надеть кримпирующую втулку, оставив открытыми 5 мм кевларовых нитей.
- 1.5. На расстоянии 1...2 мм от кевларовых нитей нанести дополнительную метку. Эта метка служит для визуального контроля стыковки волокон в капилляре коннектора.
- 1.6. Нанести метку на волокнах в буферном покрытии на расстоянии 15 мм от кевларовых нитей. Осторожно снять защитное покрытие до этой метки.
- 1.7. Сколоть волокна с помощью скалывателя для коннекторов MT-RJ (длина скола 8.5 мм).Рис.81.

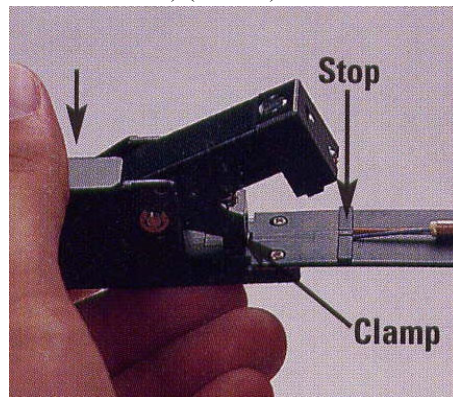


Рис.81

2. Установка коннектора

- 2.1. Вставить коннектор MT-RJ в специальную оправку. Оттянуть назад движок (slider) и вставить коннектор передней частью в сторону движка (Рис.82).
- 2.2. Вставить волокна (Рис.83).
- 2.3. Отвести рычаг на 90°. Волокна удерживаются в коннекторе (Рис.84).
- 2.4. Повернуть кримп на 180° и прижать. Достаточно одного нажатия. Волокна зафиксированы в коннекторе (Рис.85).
- 2.5. Вынуть коннектор.
- 2.6. Закримпировать втулку, прихватывая кевларовые нити.
- 2.7. Надеть хвостовик.

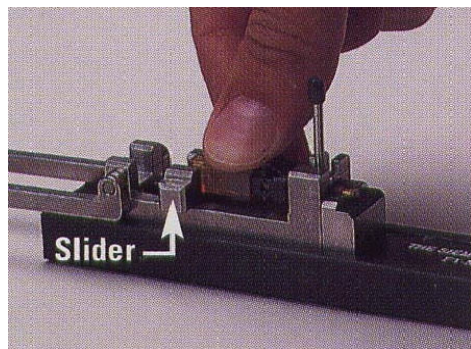


Рис.82.

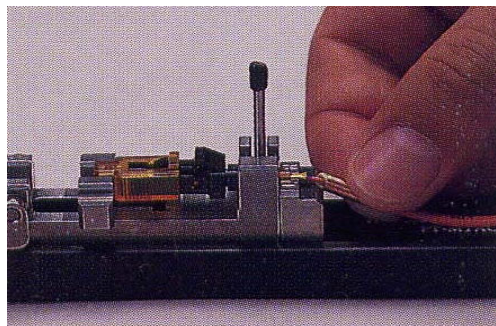


Рис.83.

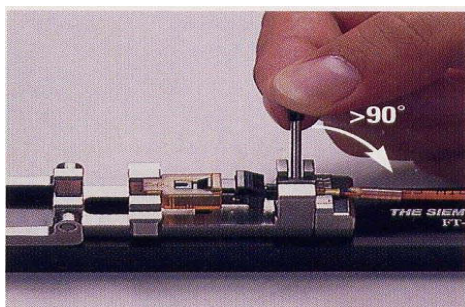


Рис.84

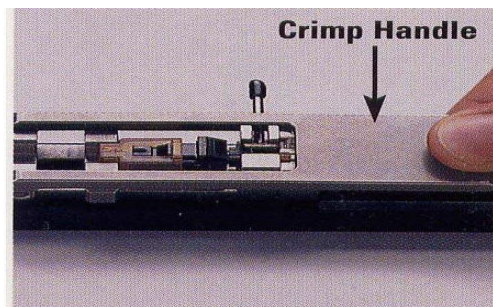


Рис. 85

7.Приложения

Приложение 7.1. Степень защиты шкафов согласно EN 60 529/IEC 529

Степень защиты от контакта с людьми и твердыми телами			Степень защиты от воды		
Первая цифра кода	Степень защиты		Вторая цифра кода	Степень защиты	
	Описание	Пояснение		Описание	Пояснение
0	Не защищает	Отсутствует защита от твердых объектов. Отсутствует защита людей от прямого контакта с активными и движущимися частями.	0	Не защищает	Отсутствует специальная защита.
1	Защищает от твердых объектов диаметром 50 мм и более	Шар диаметром 50 мм не может попасть внутрь. Защита человека от случайного контакта большой области с активными или движущимися частями (например, от контакта рукой), но не защищает от намеренного доступа.	1	Защищает от капающей воды	Вертикально падающие капли воды не должны произвести вредного воздействия
2	Защищает от твердых объектов диаметром 12,5 мм и более	Шар диаметром 12,5 мм не может попасть внутрь. Защита человека от контакта пальцами с активными или движущимися частями.	2	Защищает от капающей воды шкаф, наклоненный под углом 15° к вертикали	Вертикально падающие капли воды не должны произвести вредного воздействия на наклоненный под углом 15° в любую сторону корпус
3	Защищает от твердых объектов диаметром 2,5 мм и более	Шар диаметром 2,5 мм не может попасть внутрь. Защита человека от касания активных или движущихся частей с инструментальными средствами, проводами или подобными ин-	3	Защищает от брызг	Водяные брызги, попадающие на корпус под углом 60° с любой стороны, не должны произвести вредного воздействия

6. Технологии, измерения.

		родными объектами размером 2.5 мм и толще.			
4	Защищает от твердых объектов диаметром 1,0 мм и более	Шар диаметром 1,0 мм не может попасть внутрь. Защита человека от касания активных или движущихся частей с инструментальными средствами, проводами или подобными иными объектами размером 1 мм и толще.	4	Защищает от льющейся воды	Вода, льющаяся под любым углом, не должна произвести вредного воздействия
5	Пылестойкий	Не защищает полностью от попадания пыли в корпус, но пыль не проникает в таком количестве, чтобы препятствовать нормальной работе оборудования или угрожать безопасности. Полная защита человека от касания частей, находящихся под напряжением, или внутренних движущихся частей.	5	Защищает от водяных струй	Водяные струи, попадающие на шкаф под любым углом, не должны произвести вредного воздействия
6	Пылезащитный	Пыль не попадает внутрь. Полная защита человека от замыкания контактов, находящихся под напряжением, или касания с внутренними частями.	6	Защищает от мощных водяных струй	Мощные водяные струи, попадающие на шкаф в любом направлении, не должны произвести вредного воздействия
			7	Защищает оборудование при временном погружении в воду	Предохраняет от попадания воды внутрь шкафа при временном погружении в воду, при не превышении определенного давления и длительности погружения
			8	Защищает оборудование при длительном погружении в воду	Вода не должна произвести вредное воздействие при временном погружении в воду при соблюдении условий, заранее обговоренных между заказчиком и производителем, но в условиях заведомо более жестких, чем в п.7

Приложение 7.2. Сварочные аппараты

Фирма производитель	Fujikura	Fujikura	JDS Fitel (Furukawa)	JDS Fitel (Furukawa)	Ericsson	Ericsson	Corning
Страна	Япония	Япония	Япония	Япония	Швеция	Швеция	США
Модель	FSM40S	FSM40PM	S175	S176	FSU975	FSU995	X77
Год выпуска	1999	2001	1998	2000	1997	2001	2001
Внешний вид				-			
Типы свариваемых волокон	SM, MM, DS, ED	SM, MM, DS, NZDS, CS, ED, PM, специальные волокна	SM, MM, DS, NZDS, ED	SM, MM, DS, NZDS, ED	SM, MM, DS, NZDS, ED	SM, MM, DS, NZDS, CS, ED, PM, специальные волокна	SM, MM, DS, NZDS, ED
Средние потери на сварке, дБ	0,02 (SM), 0,02 (MM), 0,03 (DS)	0,02 (SM), 0,01 (MM), 0,04 (DS)	0,02 (SM), 0,01 (MM), 0,04 (DS)	0,02 (SM), 0,01 (MM), 0,04 (DS)	0,02 (SM), 0,02 (MM), 0,03 (DS)	0,02 (SM), 0,02 (MM), 0,03 (DS)	0,03 (SM), 0,01 (MM), 0,05 (DS)
Среднее время сварки, с	25 (SM, MM), 40 (DS, NZDS)	18	17	11	45 (включая время юстировки и 30 с)	45 (включая время юстировки и 30 с)	10-20 (быстрый режим), 30-40 (точный режим)
Направления юстировки	xyz	xyz	xyz	xyz	xyz	xyz	xyz
Метод юстировки	PAS-система (по изображению волокон в проходящем свете)	PAS-система (по изображению волокон в проходящем свете)	PAS-система (по изображению волокон в проходящем свете)	PAS-система (по изображению волокон в проходящем свете)	По тепловому изображению волокон в дуге разряда	По тепловому изображению волокон в дуге разряда	LID-система (по максимуму мощности излучения)
Выравнивание сердцевин							
Оптическая система	Подвержена накоплению грязи от электродов	Подвержена накоплению грязи от электродов	Подвержена накоплению грязи от электродов	Подвержена накоплению грязи от электродов	Удалена от места сварки, что снижает возможность загрязнения	Удалена от места сварки, что снижает возможность загрязнения	Удалена от места сварки, что снижает возможность загрязнения
Монитор	5" (127 мм) ЖКД	5" (127 мм) ЖКД	5" (127 мм) ЖКД	5" (127 мм) ЖКД	3" (76 мм) ЖКД ч/б	3" (76 мм) ЖКД ч/б	5,5" (139 мм) ЖКД

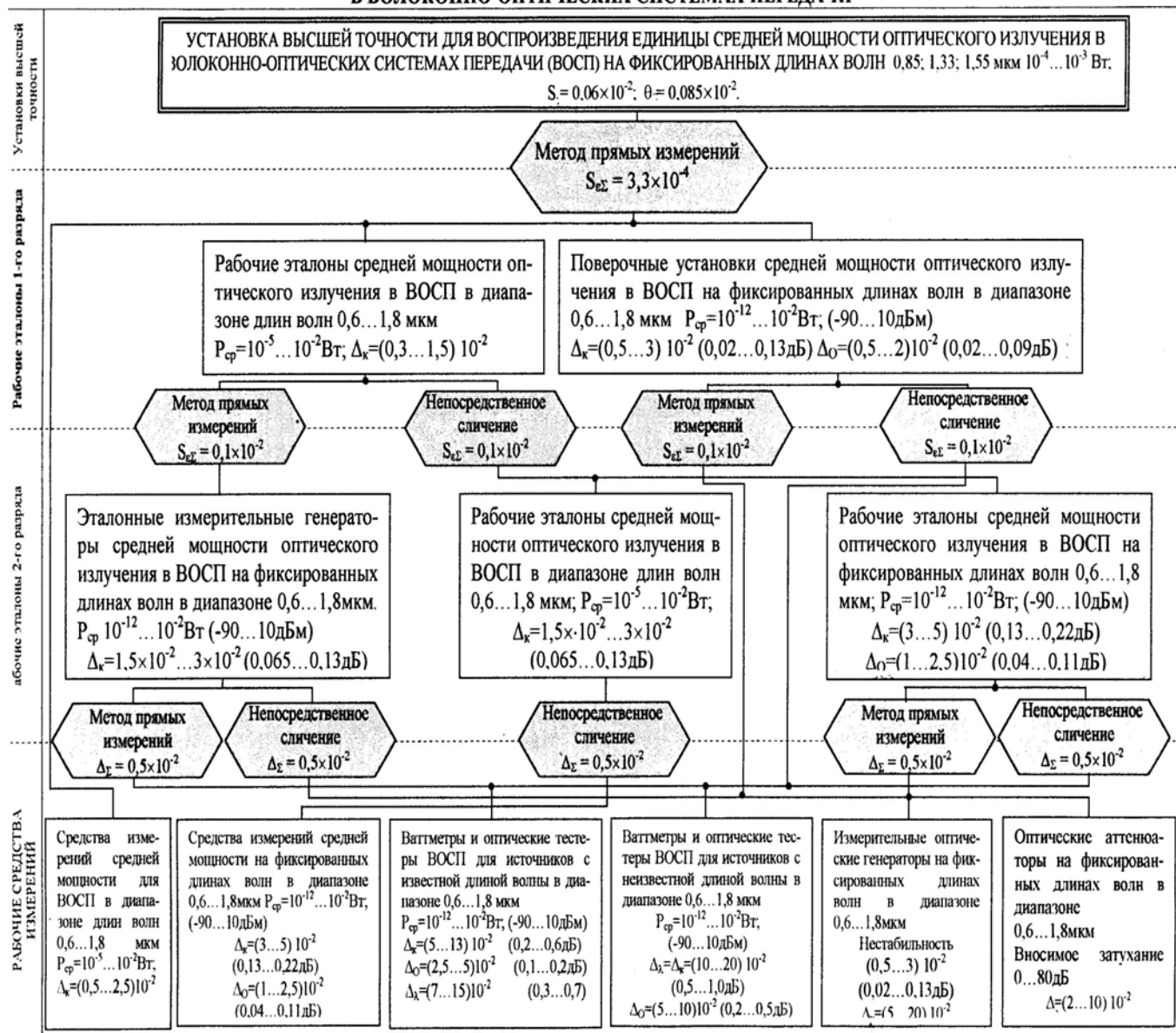
6. Технологии, измерения.

	цветной	цветной	цветной	цветной			цветной
Изображение волокон на мониторе	В двух плоскостях одновременно	В двух плоскостях одновременно	В двух плоскостях одновременно	В двух плоскостях одновременно	В двух плоскостях попеременно	В двух плоскостях попеременно	В двух плоскостях одновременно
Диапазон рабочих температур, С	-10...+50	-10...+50	-10...+50	-10...+50	0...+40	0...+40	-5...+50
Габариты, мм	172х186х180	311х218х143	181х285х180	181х169х202	370х220х145	370х220х145	230х185х100
Вес, кг	4,4	6,1	6,4	4,5	6,6	6,45	9

Обозначения: SM - одномодовые волокна, MM - многомодовые волокна, DS - со смещенной областью дисперсии, NZDS - со смещенной ненулевой дисперсией, CS - со сдвигом длины волны отсечки, ED - легированные эрбием, PM - поляризационные, специальные волокна - волокна, легированные ионами редкоземельных металлов, фоточувствительные волокна и др.

Приложение 7.3. Поверочная система Госстандарта РФ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ



Приложение 7.4. Комплект инструментов для оконцевания оптического кабеля коннекторами



Комплект инструментов предназначены для разделки внутриобъектового оптического кабеля и оконцевания волокон коннекторами.

Стандартная комплектация:

1. Нож разделочный для разделки кабеля, снятия наружных оболочек.
2. Стриппер T-типа (Clauss WS6) для удаления внешних оболочек кабеля диаметром 1,5...3 мм.
3. Ножницы специальные Cutter 86 1/2SF или Cutter KC699 для резки упрочняющих нитей кабеля (типа арамид, кевлар).
4. Стриппер типа No-Nik для удаления буферной оболочки 900 мкм и первичной оболочки 250 мкм и 500 мкм с оптического волокна диаметром 125 мкм.
5. Стриппер типа Miller или типа Clauss для удаления буферной оболочки диаметром 900 мкм и первичной оболочки 250 мкм с волокна 125 мкм.
6. Ручка-скалыватель для нанесения риски на место скола оптического волокна. Материал резца: керамика.

6. Технологии, измерения.

7. Оправка шлифовальная металлическая применяется для фиксации коннектора конкретного типа в процессе шлифования и полирования торцов наконечников
8. Кримпирующий инструмент Crimp Tool для обжатия втулки на коннекторе и кабеле.
9. Стеклопластиковая пластина для размещения полировальных пленок.
10. Картонная подложка как упругая среда, располагаемая между стеклянной пластиной и полировальной пленкой.

Рис. 86. Комплект инструментов для
оконцевания.

11. Микроскоп для визуального контроля качества полировки торцов наконечников.
12. Линейка измерительная.
13. Защитные заглушки для защиты оптического волокна, выходящего из наконечника, до отверждения клея.
14. Пинцет для манипулирования с мелкими деталями.
15. Шнур соединительный (3м) и соединительная розетка для проведения оптических измерений.
17. Печка для сушки коннекторов.
18. Инструкция по оконцеванию

Расходные материалы:

1. Комплект эпоксидного клея для вклеивания оптического волокна, буферной оболочки, упрочняющих нитей: BAF 123 (5 упаковок по 2г) – время применения после смешивания: 4 часа, время отверждения 15 мин. при 100 °С – поставляется с комплектом с печкой.
2. Комплект полировальных пленок: зернистость 5 мкм (10 шт.) для грубой полировки торца наконечника; зернистость 1 мкм (10 шт.) для полировки;
3. Дозатор со спиртом для протирки оптических волокон и торцов наконечников коннекторов (120 г изопропилового спирта).
4. Баллон Micro Duster со сжатым воздухом для прочистки методом продува труднодоступных мест коннекторов. Комплект безворсовых салфеток Kim Wipes (280 шт.) для протирки оптического волокна и торцов наконечников коннекторов.

Словарь терминов

Абсолютная спектральная характеристика чувствительности средства измерения – зависимость спектральной чувствительности от длины волны излучения.

Апертура расчетная – значение, равное корню квадратному из разности квадратов максимального значения показателя преломления сердцевины, и значения показателя преломления оптической оболочки оптического волокна.

Апертура эффективная – значение, равное синусу половины плоского угла, соответствующего телесному углу, ограничивающему конус, в котором сосредоточена заданная часть мощности оптического излучения на выходе оптического волокна.

АТМ - асинхронный режим передачи данных.

Болометр измерительный – измерительный преобразователь излучения, действие которого основано на изменении электрического сопротивления материала чувствительного элемента при изменении его температуры.

Волокно оптическое – оптический волновод ВОСП, выполненный в виде нити из диэлектрических материалов с покрытием.

Волновод оптический ВОСП – направляющая среда, структура которой обеспечивает распространение оптического излучения вдоль нее.

Волокно одномодовое – одномодовое волокно, по которому может распространяться только одна мода.

Волокно многомодовое – оптическое волокно, по которому может распространяться более одной моды.

Волокно градиентное – оптическое волокно, профиль показателя преломления которого является монотонной убывающей функцией радиуса в пределах его сердцевины.

Волокно ступенчатое – оптическое волокно, значение показателя преломления которого постоянно в пределах сердцевины.

- Волоконный световод** – направляющий канал для передачи оптического излучения, состоящий из сердцевины, окруженный отражающей оболочкой (оболочками).
- Деградация компонента ВОСП** – ухудшение одного или нескольких параметров компонента ВОСП в период его эксплуатации.
- Диаметр сердцевины (оболочки, защитного покрытия) волокна** – диаметр окружности, определяющий центр сердцевины (оболочки, защитного покрытия) на поперечном сечении оптического волокна.
- Дисперсия оптического волокна** – различие групповых скоростей различных составляющих оптического излучения.
- Дисперсия межмодовая** – дисперсия, обусловленная различием групповых скоростей его мод.
- Дисперсия внутримодовая** – составляющая дисперсии, обусловленная нелинейной зависимостью постоянной распространения данной моды оптического излучения от длины волны излучения.
- Дисперсия материала** – дисперсия оптического волокна, обусловленная зависимостью показателя преломления материала сердцевины и оболочки от длины волны оптического излучения.
- Защитное покрытие оптического волокна** – покрытие, наносимое на оболочку оптического волокна с целью его защиты от внешних воздействий.
- Измерительный источник оптического излучения** – источник оптического излучения с нормированными метрологическими характеристиками.
- Кабель оптический** – кабельное изделие, содержащее одно или несколько оптических волокон, объединенных в единую конструкцию, обеспечивающую их работоспособность в заданных условиях эксплуатации.
- Калориметр** – измерительный прибор, основанный на преобразовании энергии излучения в тепловую энергию.
- Коэффициент затухания оптического волокна** – величина, характеризующая уменьшение мощности оптического излучения при его прохождении по оптическому волокну, выраженное в децибелах, отнесенное к длине оптического волокна.
- Комбинированный оптический соединитель** – оптический соединитель, предназначенный для одновременного создания оптического и электрического соединения.
- Коэффициент широкополосности оптического волокна** – полоса пропускания оптического волокна длиной 1 км, выраженная в мегагерцах, умноженных на километр.
- Мода оптического волновода** – тип волны оптического излучения, распространяющегося по оптическому волноводу, характеризующийся определенным распределением поля в поперечном сечении и определенной фазовой скоростью.
- Модовый состав излучения** – параметр, характеризующий вид (продольные или поперечные), число и порядок мод излучения.
- Оболочка оптического волокна** – внешняя поверхность оптического волокна, имеющая постоянное значение показателя преломления по поперечному сечению и определяющая совместно с сердцевиной структуру поля распространяющегося оптического излучения.
- Оптические вносимые потери** – отношение суммарной мощности оптического излучения на входных оптических полюсах компонента ВОСП к суммарной мощности оптического излучения на выходных полюсах компонента ВОСП, выраженное в децибелах.
- Оптический разветвитель** – пассивный оптический многополюсник, в котором оптическое излучение, подаваемое на часть входных оптических полюсов, распределяется между остальными его полюсами.
- Оптический ответвитель** – оптический разветвитель с одним входным и двумя выходными оптическими полюсами, предназначенными для ответвления заданной мощности оптического излучения.
- Оптический фильтр** – устройство, предназначенное для выделения или подавления одной или нескольких составляющих либо областей спектра оптического излучения.
- Ответвитель направленный** – оптический разветвитель, в котором коэффициенты передачи между оптическими полюсами зависят от направления распространения оптического излучения.
- Относительная спектральная характеристика чувствительности средства измерения** – зависимость спектральной чувствительности, отнесенной к максимальному значению, от длины волны.
- Профиль показателя преломления** – распределение показателя преломления оптического волокна вдоль диаметра его поперечного сечения.
- Потери оптического соединителя (вносимые)** – потери, определяемые отношением мощности оптического излучения во входном оптическом полюсе к мощности на сочленяемом с ним выходном оптическом полюсе, выраженной в децибелах.
- Сердцевина оптического волокна** – центральная поверхность оптического волокна, имеющая больший показатель преломления, чем окружающая оболочка оптического волокна и определяющая совместно с ней структуру поля распространяющегося оптического излучения. Область сердцевины определяется заданной частью разности между максимальным значением показателя преломления и значением показателя преломления оболочки оптического волокна.

Соединительная кабельная муфта – устройство, обеспечивающее: укладку избыточных длин соединяемых методом сварки или склейки оптических волокон различных строительных длин кабеля и самих неразъемных соединений;
восстановление защитной оболочки кабеля;
герметизацию кабельных вводов соединяемых строительных длин оптического кабеля.

Станционный оптический кабель – одноволоконный оптический кабель, соединяющий входной или выходной оптические полюса аппаратуры линейного тракта с линейным кабелем или другими компонентами оптической цепи регенерационного участка.

Темновой ток – сигнал в цепи измерительного преобразователя при отсутствии облучения фотокатода.

Угол скоса торца волоконного световода – угол между оптической осью волоконного световода и нормалью к поверхности торца волоконного световода.

Фокон – изделие из волоконных световодов с увеличивающимся или уменьшающимся по длине сечением.

FDDI (Fiber Distributed Data Interface) - распределенный интерфейс передачи данных по волоконно-оптическим каналам.

Ширина полосы пропускания – разность верхней и нижней границ частот участка АЧХ, на которых амплитуда колебаний составляет 0,707 от максимальной. Интервал частот или длин волн, пропускаемых каким-либо устройством или веществом, в пределах которого интенсивность излучения на выходе не меньше, чем 0,5 от входной.

Центратор – узел разъемного оптического соединителя, предназначенный для центрирования оптических наконечников или оптического волокна.

Список литературы

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973
2. Гудвин Ф.Е. Действующие лазерные системы связи, ТИИЭР, 1970
3. К.С. Као, G.A. Hockham. Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies. *Proc. I.E.E.* 113, 1151-8 (1966)
4. Н. Stark and B. Tuteur. Modern Electrical Communications Theory and Systems. *Prentice-Hall* (1979)
5. Берлин Б.З., Брискер А.С., Иванов В.С. Волоконно-оптические системы связи. Справочник. - М.: Радио и связь, 1994г.
6. Дж. Гауэр. Оптические системы связи. М., "Радио и связь", 1989г.
7. Л.М. Андрушко и др. Волоконно-оптические линии связи. М., "Радио и связь", 1984г.
8. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи. Учебник для ВУЗов. Под ред. Б.В. Попова. М. "Радио и связь", 1996г.
9. И.И. Гроднев, С.М. Верник. Линии связи. Учебник для ВУЗов. М., "Радио и связь", 1988г.
10. Чео П.К. Волоконная оптика: приборы и системы. М. "Энергоатомиздат", 1988г.
11. Введение в технику измерений оптико-физических параметров световодных систем. Под ред. А.Ф. Котюка. М. "Радио и связь". 1987г.
12. Волоконная оптика и приборостроение. Под ред. М.М. Бутусова. Л. "Машиностроение", 1987.
13. В.Н. Мартынов, Г.И. Кольцов. Полупроводниковая оптоэлектроника. М. "МИСиС", 1999г.
14. Техника оптической связи. Под ред. У. Тсанга. М. "Мир", 1988г.
15. Иванов А.Б. Волоконная оптика, системы передачи, измерения. М., Компания САЙРУС СИСТЕМС. 1999г.
16. Измерение потерь излучения в ВОЛС. Монтажное и измерительное оборудование для волоконно-оптической связи. Телеком Комплект Сервис, 1998г.
17. Иванов А.Б., Соколов И.В. Современные технологии OTDR. Электросвязь, 11, 1998г., стр.29-33.
18. Сергеев А.Н. Измерение общих потерь в ВОЛС. Информационный бюллетень «Фотон-экспресс» №18, февраль 2000г.
19. Андреева Е.И., Сергеев А.Н. Измерители мощности для волоконно-оптических систем. *Connect*, n.10, 2001, с. 78 – 83.
20. Глазов А.И., Козаченко М.Л., Тихомиров С.В., Светличный А.Б. Обеспечение единства измерений средней мощности оптического излучения в волоконно-оптических системах передачи. Метрология и измерительная техника в связи. 1999. N4 с. 20-24.

Нормативные документы

1. Закон РФ об обеспечении единства измерений. 15.06.93.
2. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения. ГОСТ 8.002-86. 21.02.1986.
3. Временные технические требования к оптическим средствам измерений, предназначенным для применения на Взаимоувязанной сети связи РФ с дополнением №1. 1999.
4. Метод измерения вносимого затухания. ГОСТ 26599-85. 1985
5. ГОСТ 24469-80. Средства измерений параметров лазерного излучения. Общие технические требования.
6. МИ 2505-98. Рекомендация. ГСОЕИ. Измерители оптической мощности, источники оптического излучения и оптические тестеры малогабаритные в волоконно-оптических системах передачи. Методика поверки.
7. ГОСТ Р МЭК 793-1. Оптические волокна. Общие технические требования.
8. МЭК 793-2. Оптические волокна. Часть 2. Технические условия на изделия. 1989.
9. ГОСТ Р МЭК 794-1. Оптические кабели. Общие технические условия.
10. МЭК 794-2. Оптические кабели. Часть 2. Технические условия на изделия. 1989.
11. Кабели оптические. Методы измерения параметров. ГОСТ 26814-86. 1986.
12. Нормы приемо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризоновых подземных волоконно-оптических линий передачи сети связи общего пользования. Рекомендации Государственного комитета РФ по связи и информатизации от 17.12.97 г. №97
13. МЭК 874-1. Соединители для оптических волокон и кабелей. 1987.