

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

В. Ю. Бунас, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТРАКТОВ

*Рекомендовано УМО по образованию
в области информатики и радиоэлектроники для специальностей
1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»,
1-45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения»,
направлений специальности 1-45 01 01-01
«Инфокоммуникационные технологии (системы телекоммуникаций)»,
1-45 01 01-04 «Инфокоммуникационные технологии
(цифровое теле- и радиовещание)»
в качестве учебно-методического пособия*

Минск БГУИР 2013

УДК 621.391.63:681.7.068(076)

ББК 32.811я73

Б91

Рецензенты:

кафедра квантовой радиофизики и оптоэлектроники
Белорусского государственного университета
(протокол №8 от 19.03.2013);

доцент кафедры робототехнических систем
Белорусского национального технического университета,
кандидат технических наук, доцент Ф. Л. Сиротин

Бунас, В. Ю.

Б91 Измерение параметров волоконно-оптических трактов : учеб.-метод.
пособие / В. Ю. Бунас, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов. – Минск : БГУИР,
2013. – 68 с. : ил.
ISBN 978-985-488-968-9.

Рассмотрены методы измерения затухания оптических волокон, разъемных и неразъемных соединений и прочих компонентов волоконно-оптических трактов. Приводится методика измерения геометрических размеров оптических компонентов.

Содержит теоретическую часть по измерению основных параметров волоконно-оптических трактов, а также четыре лабораторные работы по дисциплине «Волоконно-оптические системы передачи».

УДК 621.391.63:681.7.068(076)
ББК 32.811я73

ISBN 978-985-488-968-9

© Бунас В. Ю., Тарченко Н. В., Урядов В. Н., 2013
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН	4
1.1 Причины затухания в оптических трактах	4
1.2 Методы измерения затухания оптических волокон	12
2 МИКРОСКОП ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ИМЦЛ 100×50, А	17
2.1 Технические характеристики и комплектация ИМЦЛ 100×50, А	17
2.2 Назначение и принцип работы устройства цифровой обработки (УЦО-209С)	25
2.3 Решение измерительных задач	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 Измерение затухания оптических волокон методом вносимых потерь	42
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 Измерение затухания в оптических трактах методом обратного рассеяния	48
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 Измерение затухания в разъёмных соединениях оптических волокон	62
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 Измерение геометрических размеров оптических элементов	65
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	67
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	68

1 ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

1.1 Причины затухания в оптических трактах

При распространении по волокну оптические сигналы теряют свою мощность. Это явление называется затуханием оптического сигнала. Затухание оптического волокна имеет большое значение для оптических систем передачи, т. к. чем меньше затухание (потери) в оптическом волокне, тем больше может быть расстояние между регенерационными участками или повторителями, что в свою очередь приводит к удешевлению сети.

На затухание света в волокне влияют следующие факторы:

- 1) поглощение света;
- 2) рассеяние света;
- 3) кабельные потери;
- 4) потери на соединениях.

Основные типы потерь в оптическом волокне отображены на рисунке 1.

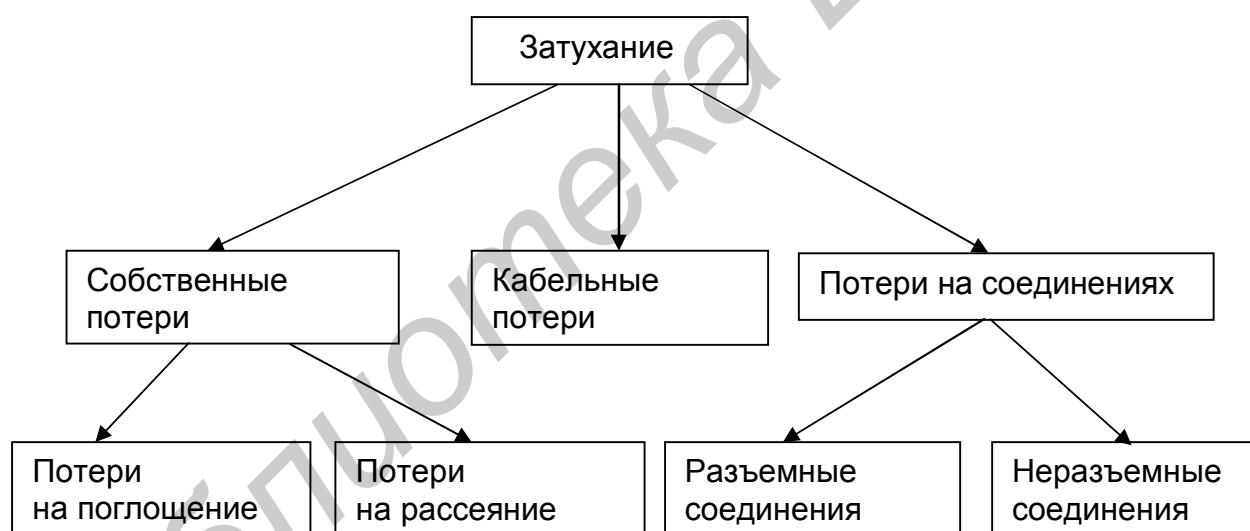


Рисунок 1 – Основные типы потерь в оптическом волокне

Потери на поглощение и на рассеяние называются собственными потерями, в то время как кабельные потери в силу их природы называют также дополнительными потерями. Полное затухание в оптическом тракте α , дБ/км определяется по следующему выражению:

$$\alpha = \alpha_{\text{погл}} + \alpha_{\text{рос}} + \alpha_{\text{каб}} + \sum_i^N L_i + \sum_j^K L_j, \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{каб}}$ – кабельные потери, дБ/км;

$\alpha_{\text{погл}}$ – потери на поглощение, дБ/км;

$\alpha_{\text{рас}}$ – потери на рассеяние, дБ/км;

L_i – потери в разъемном соединении;

L_j – потери в неразъемных соединениях;

N и K – число разъемных и неразъемных соединений соответственно.

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 свыше 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.

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.

Основной причиной потерь из-за рассеяния является так называемое рэлеевское рассеяние, которое связано с наличием в оптическом волокне неоднородностей микроскопического масштаба. Свет, попадая на такие неоднородности, рассеивается в разных направлениях. В результате часть его теряется в оболочке. Эти неоднородности неизбежно появляются во время изготовления волокна. Потери из-за рэлеевского рассеяния зависят от длины волны по закону

$\alpha_{\text{рэл}} = \frac{1}{\lambda^4}$. Часть света, отраженная от неоднородности в направлении источника излучения, называется обратным рассеянием Рэля, на исследовании которого основана работа оптических импульсных рефлектометров. Механизм рассеяния света от неоднородности проиллюстрирован на рисунке 2.

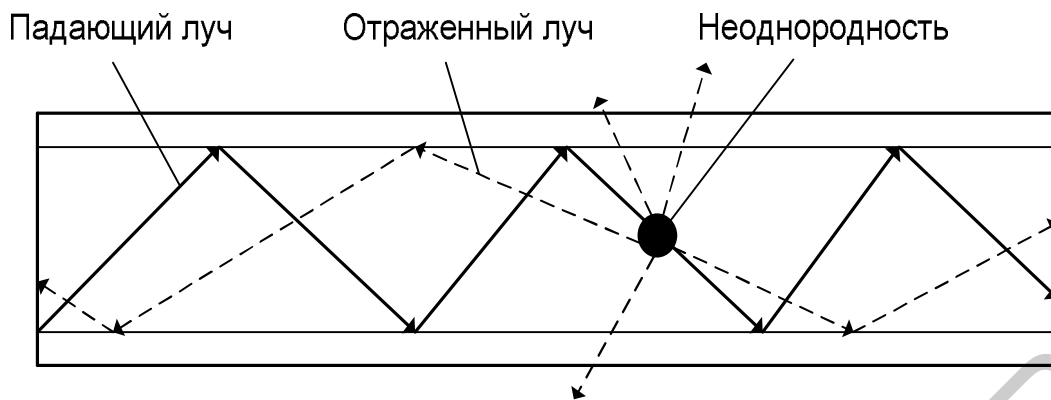


Рисунок 2 – Механизм рассеяния света от неоднородности

На рисунке 3 приведена частотная зависимость потерь в волокне.

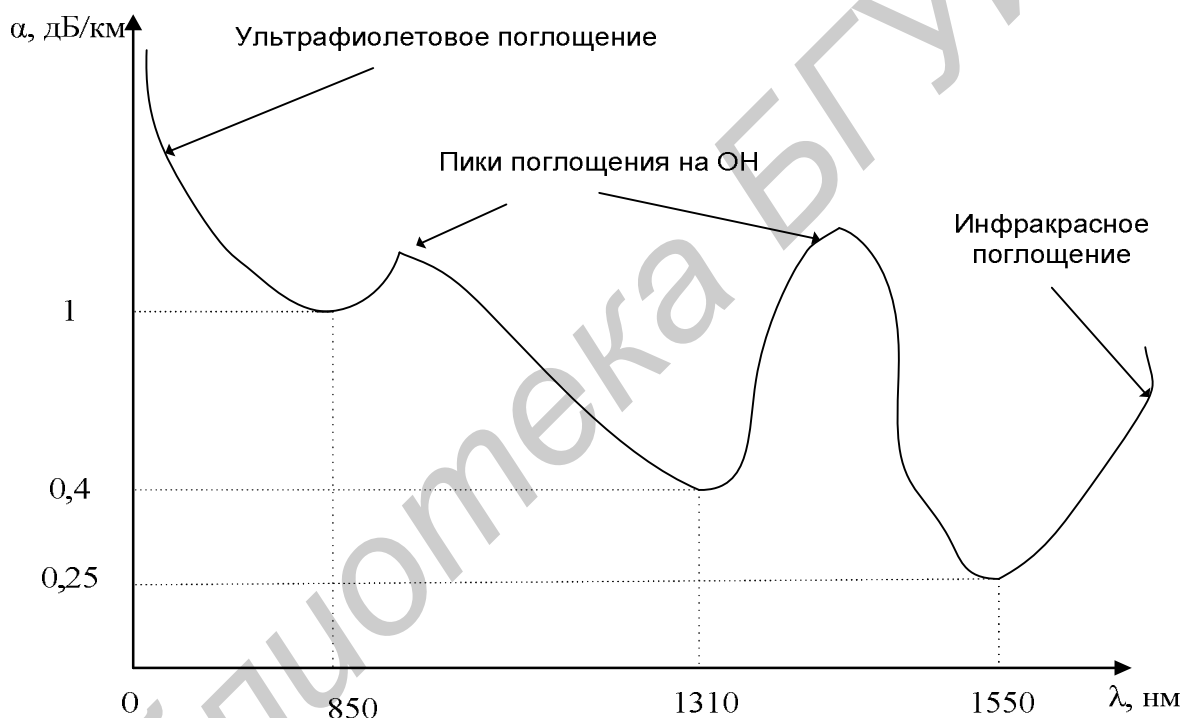


Рисунок 3 – Зависимость величины потерь света в волокне от длины волны

На рисунке 3 изображены 3 диапазона длин волн, которые широко используются в телекоммуникациях. Эти диапазоны получили название «окон прозрачности» из-за минимального в них затухания:

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

Между вторым и третьим окнами располагается участок с увеличенным затуханием, вызванным ионами гидроксильной группы ОН.

Основным типом волокон, применяемых в линиях связи, являются стандартные одномодовые волокна (по рекомендации МСЭ-Т G.652 «Характери-

стики одномодового оптического волокна и кабеля»). Для их обозначения используют несколько различных сокращений: NDSF – No Dispersion Shifted Fiber (волокно с несмещенной дисперсией), SF – Standard Fiber (стандартное волокно), SSMF – Standard Single Mode Fiber (стандартное одномодовое волокно). Наиболее распространенное обозначение SM – Single Mode (одномодовое).

Для лучших образцов SM-волокон потери на длине волны 1550 нм составляют 0,18...0,19 дБ/км. Кроме того, SM-волокна обладают более совершенными геометрическими параметрами и стабильным диаметром модового пятна, что позволяет достигать минимальных потерь в срезках таких волокон (типичное значение 0,03 дБ). Специфицированные значения потерь для SM-волокон разных производителей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения потерь для SM-волокон разных фирм производителей

Производитель	Alcatel	Corning	Hitachi	OFS	Samsung	Sumitoma
Величина потерь, дБ/км						
$\lambda = 1310$ нм	$\leq 0,35$	$\leq 0,34$	$\leq 0,35$	$\leq 0,39$	$\leq 0,35$	$\leq 0,33$
$\lambda = 1550$ нм	$\leq 0,22$	$\leq 0,20$	$\leq 0,21$	$\leq 0,24$	$\leq 0,22$	$\leq 0,19$

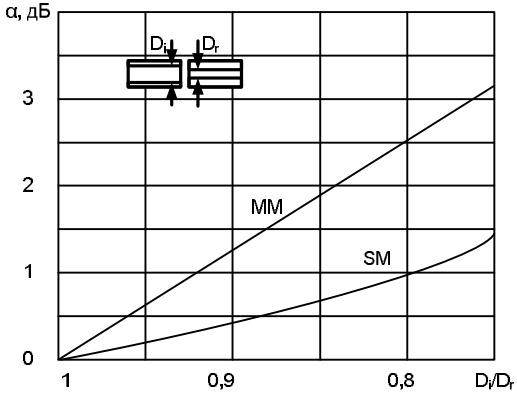
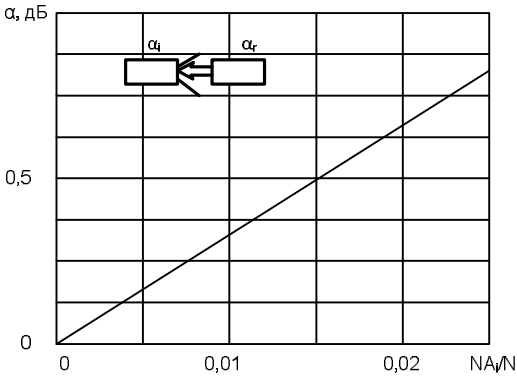
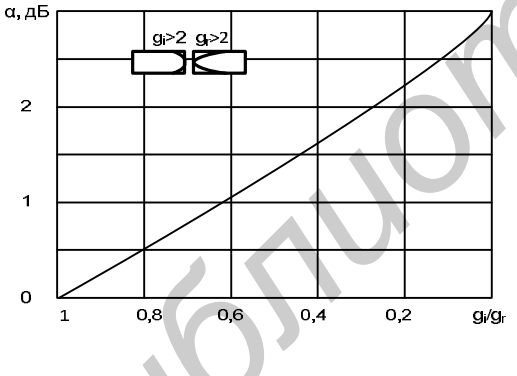
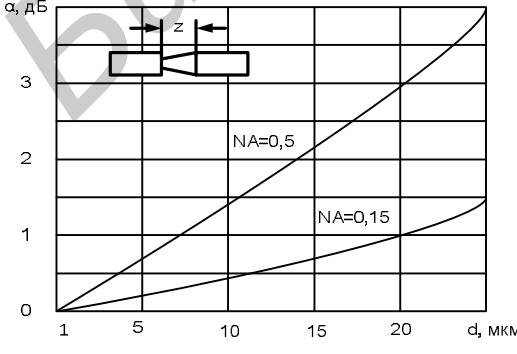
Как видно из таблицы 1, погонные затухания приводятся с точностью до второго знака после запятой.

Поглощение и рассеяние света 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.

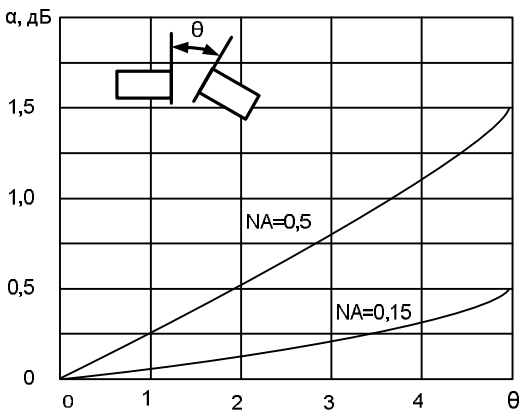
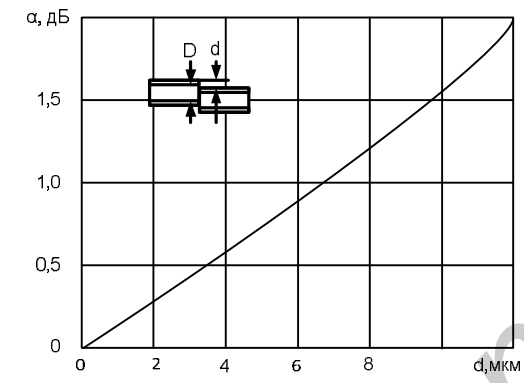
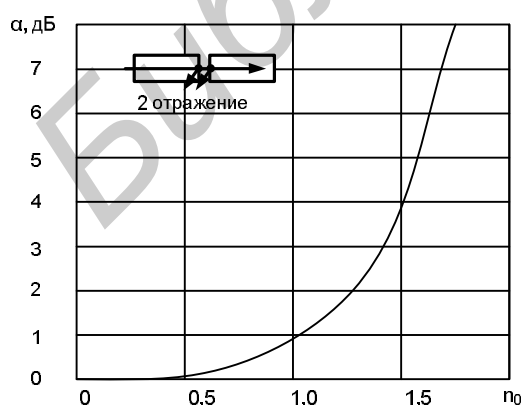
Кабельные потери обусловлены скруткой, деформациями и изгибами волокон, возникающих при наложении покрытий и защитных оболочек при производстве кабеля, а также в процессе его прокладки. Любое волокно можно изгибать без увеличения потерь до некоторого минимального радиуса изгиба. Критический радиус изгиба зависит от конструкции волокна и рабочей длины волны.

Причины потерь в соединителях и формулы для их расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Причины потерь в соединителях

	<p>Потери из-за разброса диаметров:</p> $L_e(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{D_i}{D_r},$ $L_e = 20 \lg \frac{1 + (W_i / W_r)^2}{2(W_i / W_r)},$ <p>где D – диаметр сердцевины волокна; W – радиус модового пятна ОВ; i, r – индексы, обозначающие соединяемые волокна.</p>
	<p>Потери из-за разброса числовых апертур:</p> $L_e(\text{дБ}) = 20 \lg \frac{(NA)_i}{(NA)_r},$ <p>где NA – апертура волокна; i, r – индексы, обозначающие соединяемые волокна.</p>
	<p>Потери из-за различия распределения профиля показателя преломления:</p> $L_e(\text{дБ}) = 10 \lg \frac{g_i(g_r + 2)}{g_r(g_i + 2)},$ <p>где g – характеристика профиля распределения преломления ОВ; i, r – индексы, обозначающие соединяемые волокна.</p>
	<p>Потери из-за продольного смещения:</p> $L_e = 20 \lg \frac{D_f / 2}{D_f / 2 + z \tan \left[\sin^{-1} (NA / n_0) \right]},$ <p>где d – осевое смещение ОВ; D – диаметр сердцевины волокна; z – продольное смещение; NA – апертура волокна; n_0 – показатель преломления воздуха.</p>

Продолжение таблицы 2

 <p>Graph showing attenuation coefficient α (дБ) vs angle θ for NA=0,5 and NA=0,15. The y-axis ranges from 0 to 1.5 dB, and the x-axis ranges from 0 to 4. Two curves are shown: one for NA=0,5 (higher attenuation) and one for NA=0,15 (lower attenuation). A diagram shows a fiber core with angle θ.</p>	<p>Потери из-за углового смещения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>одномодовое волокно</i> $L_{\theta} = -10 \lg [\exp - (\pi n_0 W_0 \theta / \lambda)^2],$ <ul style="list-style-type: none"> - <i>многомодовое волокно</i> $L_{\theta} = -10 \lg (1 - \theta / n_1 n_0 \sqrt{\Delta}),$ <p>где θ – угловое рассогласование; W_0 – радиус модового пятна SM-волокна; λ – длина волны, нм; Δ – относительная разность показателей преломления сердцевины и оболочки ОВ; n_0 – показатель преломления воздуха; n_1 – показатель преломления сердцевины ОВ.</p>
 <p>Graph showing attenuation coefficient α (дБ) vs axial displacement d (мкм) for a fiber with diameter D. The y-axis ranges from 0 to 1.5 dB, and the x-axis ranges from 0 to 8 micrometers. A curve shows increasing attenuation with displacement. A diagram shows a fiber core with diameter D and axial displacement d.</p>	<p>Потери из-за осевого смещения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>одномодовое волокно</i> $L_e (\text{дБ}) = 4,34 \left(\frac{d}{W_0} \right)^2,$ <ul style="list-style-type: none"> - <i>многомодовое волокно</i> $L_e (\text{дБ}) = 10 \lg \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{2}{\pi} \frac{d}{D_f} \left(1 - \frac{d^2}{D_f^2} \right)^{1/2} \\ - \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \frac{d}{D_f} \end{array} \right],$ <p>где d – осевое смещение ОВ; D – диаметр сердцевины волокна.</p>
 <p>Graph showing attenuation coefficient α (дБ) vs refractive index n_0. The y-axis ranges from 0 to 7 dB, and the x-axis ranges from 0 to 1.5. A curve shows increasing attenuation with n_0. A diagram shows a fiber core with reflection labeled '2 отражение'.</p>	<p>Потери из-за френелевского отражения:</p> $L_e (\text{дБ}) = 10 \lg \left[1 - 2 \left(\frac{n_f - n_0}{n_f + n_0} \right)^2 \right],$ <p>где n_0 – показатель преломления воздуха; n_f – показатель преломления сердцевины ОВ.</p>

Внутренние потери в соединителях определяются факторами, которые невозможно контролировать (достичь их улучшения при заделке волокна в соединитель), а именно вариацией диаметров сердцевина, показателей преломления, сердцевина/оболочка и концентричности сердцевины у волокон с разных сторон. Причем следует аддитивно учитывать все эти потери. Можно ожидать случайное изменение этих факторов даже в том случае, когда волокна одинакового стандарта или с одной и той же катушки. Эти факторы проявляются меньше на непрерывном сегменте оптического кабеля, так как они плавно меняются с длиной. На внутренние потери влияет технология производства волокна и соответствующие критерии контроля качества, а не конструкция соединителя. Зная разброс значений перечисленных выше параметров, можно определить максимальное значение внутренних потерь.

Потери из-за вариации показателей преломления являются следствием чисто френелевского отражения и определяются в простейшем случае для волокна со ступенчатым профилем как $\alpha_F = 10 \lg(4n_1 n_2 / (n_1 + n_2)^2)$ [дБ], где n_1 и n_2 – показатели преломления волокон (зазора между волокнами нет). Эти потери пропадают только при равенстве показателей преломления. Потери при вариации апертура возникают в том случае, если апертура волокна, передающего сигнал NA_1 , больше апертуры волокна, принимающего сигнал, а потери при вариации диаметров возникают, когда диаметр передающего волокна больше диаметра принимающего.

Внешние потери – это потери, которые являются следствием несовершенства как самой конструкции соединителя, так и процесса сборки оптического шнура. Внешние потери зависят от следующих факторов: механическая нестыковка (угловое смещение θ , радиальное смещение L , осевое смещение S); шероховатости на торце сердцевины; загрязнение участка между торцами волокон. Потери при угловом θ , радиальном s и осевом d смещениях определяются соответственно формулами в таблице.

Некачественная полировка торцов волокон, а также трение, возникающее при многократном переключении соединителей (имеющих физический контакт), может привести еще к одному типу потерь, которые связаны с рассеянием на микротрещинах.

Приведенное соотношение для потерь при осевом смещении учитывает только фактор расходимости светового потока. Однако при появлении зазора между волокнами появляется и френелевское отражение из-за того, что среда, заполняющая пространство между открытыми плоскостями торцов волокон, имеет отличный от волокон показатель преломления.

Обратное отражение является вторым по пагубности фактором после вносимых потерь. Коэффициент обратного отражения R определяется как $R = P_{отр} / P_{пад}$, а потери на обратном отражении или просто обратные потери α_0 определяются как $\alpha_0 = 10 \cdot \lg R$ [дБ], где $P_{отр}$ – интенсивность отраженного излучения. Знак минус (в отличие от соотношения для вносимых потерь) здесь намеренно отсутствует, что ведет к отрицательным значениям для обратных потерь. Лучшими характеристиками обладает соединение с более низкими вноси-

мыми потерями (ближе к 0 дБ) и более низкими (отрицательными) обратными потерями.

Основным фактором, вносящим вклад в обратное отражение, является отражение вследствие зазора (обычно воздушного) между торцами волокон. Обычно пренебрегают разницей в показателях преломления между волокнами при разъемном соединении. Путем уменьшения величины зазора можно достичь более низких значений коэффициента отражения и соответственно обратных потерь.

Значительное уменьшение зазора достигается при сферической поверхности торцов, что позволяет обеспечить физический контакт (physical contact, PC) волокон. Почему не использовать плоскую поверхность торцов? Потому что на практике создание очень близких к нормали поверхностей затруднительно. Более вероятно, что торцы обоих наконечников будут иметь небольшие отклонения, но вполне достаточные, чтобы образовался зазор между сердцевинами волокон. Так, отклонение на угол $\theta = 0,05^\circ$ между плоскостями наконечников приводит к зазору около 1 мкм (диаметр наконечника 2,5 мм). При сферической поверхности торцов соприкосновение всегда происходит в окрестности светонесущей сердцевины волокон.

Существуют три градации физического контакта, отличающиеся уровнем потерь на обратном отражении: PC < -30 дБ; SuperPC < -40 дБ; UltraPC < -50 дБ.

Радиус кривизны при PC-соединении может находиться в диапазоне от 15 до 25 мм. Причиной различных значений является не технология процесса полировки, а разные требования, предъявляемые к разным конструкциям и элементам соединителей (например, к керамическим и металлическим наконечникам).

Обратное рассеяние может быть еще больше уменьшено при использовании углового (наклонного) физического контакта (angled PC, APC). При наклонном торце даже в том случае, когда нет физического контакта, сильный отраженный сигнал не распространяется обратно по сердцевине волокна, а попадает в оболочку. Угол наклона θ наконечника определяется как угол между осью световодов одной сердцевины и нормалью к плоскости, касательной в точке поверхности, где находится сердцевина. Потери на обратном отражении для APC обычно меньше -60 дБ, а типичные значения могут быть -75 дБ. Радиус кривизны для APC может находиться в диапазоне от 5 до 15 мм.

Из-за более сложной процедуры изготовления стандарт APC не получил еще достаточного распространения. Однако в широкополосных абонентских сетях HFC, а также в ультраскоростных оптических магистралях (до 1 Гбит/с и более) рекомендуется использование стандарта APC.

К росту обратного отражения ведет большое количество микротрещин на торцевой поверхности волокна. Уменьшать их количество можно, выбирая оптимальную технологию полировки поверхности наконечника.

1.2 Методы измерения затухания оптических волокон

1.2.1 Метод обратного рассеяния

Определены следующие методы измерения затухания оптических кабелей:

- 1) метод обратного рассеяния;
- 2) метод вносимых потерь.

Метод обратного рассеяния (МОР) основан на регистрации обратно рассеянного излучения в оптическом волокне измеряемого кабеля при прохождении через него оптического импульса и измерении зависимости рассеяния от интенсивности этого излучения. Метод пригоден для определения распределения оптических потерь по длине кабеля, распределенных и локальных неоднородностей типа обрыва, мест сварки и расстояния до неоднородностей, а также длины волокна, целостности волокна и расстояния до мест обрыва.

Метод вносимых потерь основан на измерении одного значения оптической мощности излучения относительно другого (опорного). Метод будет рассмотрен в следующем пункте.

Устройство, реализующее МОР (рисунок 4), работает под управлением генератора электрических импульсов 1.

Источник излучения 2 под управлением генератора электрических импульсов 1 генерирует прямоугольные импульсы, которые через направленный ответвитель НО 3 и устройство ввода 7 поступают в исследуемое ОВ 9. Оптическая вилка присоединена к исследуемому ОВ с помощью неразъемного соединения 8.

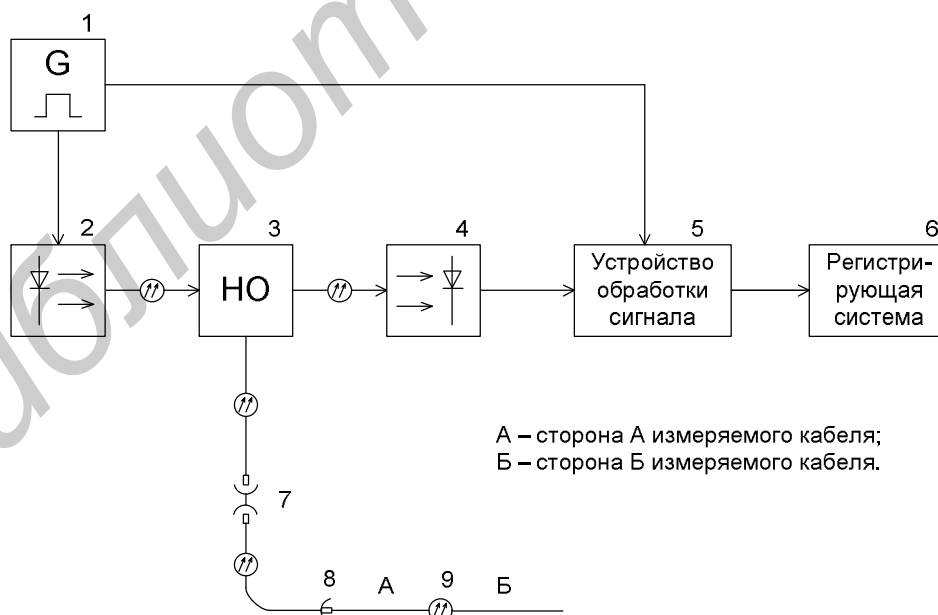


Рисунок 4 – Схема измерения затухания методом обратного рассеяния

Преобразованный в электрическую форму сигнал подается на устройство обработки сигнала 5 и затем на регистрирующую систему 6.

В качестве источника излучения применяют лазер, генерирующий стабильные по мощности, длине волны, длительности и частоте повторения импульсы оптического излучения. Мощность оптического излучения должна быть достаточной для проведения измерений, но не приводить к возникновению нелинейных эффектов в волокне измеряемого оптического кабеля.

Направленный ответвитель НО должен обеспечивать эффективную передачу мощности оптического излучения в оптическое волокно измеряемого кабеля и обратно рассеянной мощности к приемнику излучения. Направленный ответвитель должен иметь апертуру, соответствующую апертуре волокна измеряемого кабеля.

Приемник излучения должен иметь быстродействие, соответствующее длительности импульса источника излучения.

Устройство обработки сигнала должно обеспечивать увеличение соотношения сигнал/шум на выходе приемника излучения, достаточное для регистрации обратнорассеянного сигнала.

Регистрирующая система должна иметь характеристики, согласованные с устройством обработки сигнала.

С помощью данного метода измерения возможно обнаружение локальных неоднородностей в сердцевине оптических волокон. Такими неоднородностями могут быть различного рода вкрапления, пузырьки, сварные соединения строительных длин кабеля и т. п. Если неоднородность отражает свет, то в сигнале обратного рассеяния будет присутствовать локальный пик. Потери, вносимые неоднородностью, приводят к ступенчатому уменьшению уровня обратного рассеяния, что иллюстрируется типичной рефлектограммой, полученной методом обратного рассеивания (рисунок 5).

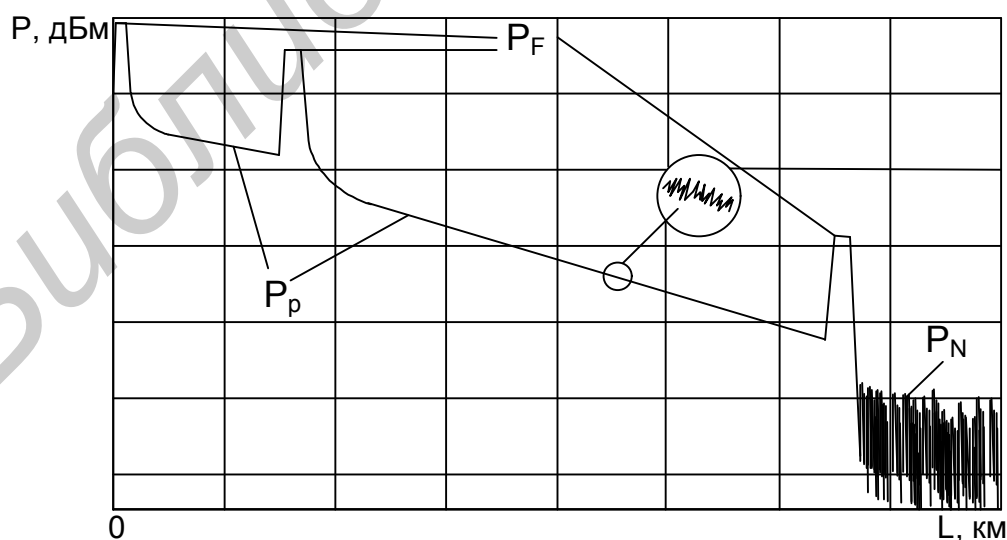


Рисунок 5 – Типовая рефлектограмма, полученная с помощью МОР

В общем случае соединяемые ОВ различаются по значениям коэффициентов обратного рассеяния, поэтому по одному измерению нельзя однозначно определить качество соединения ОВ и общее затухание линии связи. Также невозможно измерение затухания в разъемных станционных соединениях на ближнем (обусловлено наличием мертвых зон рефлектометра) и дальнем концах линии связи (обусловлено методом измерения). Для преодоления этой трудности было предложено подключать с обеих сторон измеряемой линии связи вспомогательные оптические волокна, длина которых в 3–5 раз превышает длину мертвой зоны оптического рефлектометра. При измерении затухания в соединителях рефлектометр последовательно подключается сначала с одной, а затем с другой стороны исследуемого тракта. При этом справедливо следующее равенство:

$$\alpha_{\text{рез}} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}, \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{рез}}$ – результирующее затухание, дБ;

α_1 – затухание, измеренное с одной стороны линии, дБ;

α_2 – затухание, измеренное с противоположной стороны линии, дБ.

Технический результат заключается в снижении погрешности измерения затухания.

Данный метод измерения затухания оптических волокон является наиболее распространенным в настоящий момент. По результатам измерений, полученным с помощью данного метода, у оператора появляется вся необходимая информация о затухании линии связи, в том числе о наличии локальных и распределенных неоднородностей на линии связи и величине ослабления сигнала на них.

Анализируя полученные по результатам измерений данные, можно сделать выводы о пригодности линии для дальнейшего использования и необходимости проведения корректирующих мероприятий по недопущению ухудшения параметров оптической линии связи. Еще одним преимуществом измерения затухания с помощью данного метода является возможность измерения затухания при наличии всего лишь одного доступного конца оптического кабеля.

К недостаткам данного метода можно отнести необходимость в высокочувствительных приемных оптических модулях, что связано с необходимостью регистрации слабого сигнала обратного рассеяния. Наличие мертвых зон при измерениях МОР накладывает определенные ограничения на измерение неоднородностей. Также с помощью данного метода невозможно тестировать затухание в разъемных соединениях, ответвителях, изоляторах и т. п.

1.2.2 Метод вносимых потерь

Метод вносимых потерь основан на измерении одного значения оптической мощности излучения относительно другого (опорного). Метод реализуется по схеме, представленной на рисунке 6.

Источник излучения 1 генерирует оптический сигнал на определенной длине волны, который через устройство ввода 2 и вспомогательный оптический шнур 3 поступает в исследуемое ОВ 4. Ослабленный исследуемым ОВ сигнал через устройство вывода 5 поступает на приемник оптического излучения 6. Преобразованный в электрическую форму сигнал поступает на регистрирующую систему 7.

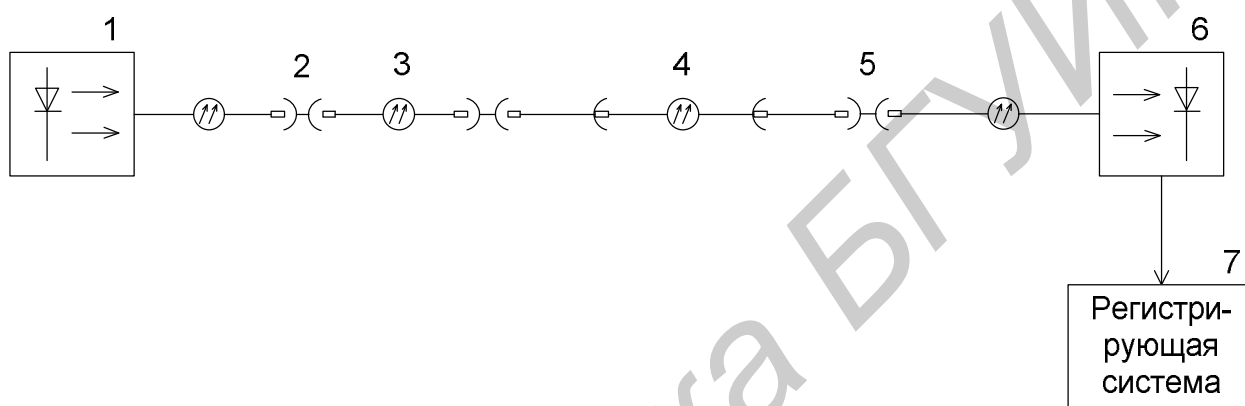


Рисунок 6 – Схема метода вносимых потерь

Положение и интенсивность источника излучения должны быть стабильны в течение всего времени проведения измерений. Длина волны и спектральная ширина источника излучения должны соответствовать требованиям, указанным в стандартах на измеряемый оптический кабель.

Устройство ввода излучения в измеряемое оптическое волокно кабеля должно обеспечивать юстировку входного конца волокна в трех взаимно перпендикулярных плоскостях для осуществления оптимального ввода энергии в волокно и жесткую фиксацию волокна. Жесткая фиксация волокна достигается использованием определенных оптических коннекторов.

Приемник излучения должен иметь фоточувствительную площадку, достаточную для регистрации всего конуса излучения, выходящего из оптического волокна. Приемник должен быть чувствительным к излучению во всем спектральном диапазоне, используемом в измерениях. Чувствительность приемника должна быть однородна по всей его площади.

Регистрирующая система должна обеспечивать регистрацию сигнала, поступающего с приемника излучения. Характеристика регистрирующего устройства должна быть линейной или известной.

Измерения проводят в следующем порядке:

1) с помощью регистрирующего устройства фиксируется значение уровня мощности на определенной длине волны на выходе измеряемого волокна;

2) отсоединяется измеряемое волокно оптического кабеля. Присоединяется вспомогательное волокно к приемнику излучения и регистрируется значение уровня мощности на выходе вспомогательного волокна.

Затухание измеряемого оптического волокна определяется по формуле

$$A(\lambda) = 10 \lg \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)}, \quad (3)$$

где $A(\lambda)$ – затухание оптического волокна, дБ;

$P_1(\lambda)$, $P_2(\lambda)$ – значения сигналов, соответствующие уровню мощности на выходе вспомогательного и измерительного оптического кабеля, Вт;

λ – длина волны, на которой производятся измерения, мкм.

Коэффициент затухания измеряемого оптического волокна определяется по формуле

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L}, \quad (4)$$

где $\alpha(\lambda)$ – коэффициент затухания измеряемого оптического волокна, дБ/км;

L – длина оптического волокна, км.

С помощью данного метода возможно измерить только общее затухание оптической линии связи. Данный метод не дает информации о наличии неоднородностей в ОВ, а также возможных причин увеличенного затухания ОВ. Еще одним недостатком данного метода является необходимость установки измерительного оборудования с двух сторон кабельной линии связи, что не всегда представляется возможным.

К достоинствам данного метода можно отнести возможность измерения большего диапазона затуханий и необходимость в менее чувствительных приемных оптических модулях. Также устройства, реализующие данный метод, являются более дешевыми по сравнению с устройствами, реализующими МОР. Данный метод измерений считается эталонным методом, т. к. с помощью данного метода оценивается непосредственное затухание оптического сигнала между точкой ввода 2 сигнала в волокно и точкой, к которой подключается приемник оптического сигнала 5 (см. рисунок 6).

2 МИКРОСКОП ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ИМЦЛ 100×50, А

2.1 Технические характеристики и комплектация ИМЦЛ 100×50, А

Микроскоп предназначен для измерения:

- в проходящем и отраженном свете наружных линейных размеров и диаметров изделий до 100 мм в продольном направлении и до 50 мм в поперечном направлении;

- углов изделий до 360° по угломерной головке и круглому столу;

- резцов, фрез, кулачков и другого инструмента, а также шаблонов любой формы и конфигурации, габариты которых позволяют установить их на измерительном столе микроскопа.

Измерение можно проводить в прямоугольных и полярных координатах:

- резьбы метчиков по диаметру, шагу и углу профиля;

- резьбовых калибров по шагу, углу профиля, прямолинейности профиля и внутреннему диаметру;

- конусных калибров, цилиндрических и конусных втулок, радиусных профилей;

- расстояний между центрами отверстий.

Технические характеристики микроскопа приведены в таблице 3.

Оценочные параметры погрешностей при измерениях даны в таблице 4.

Таблица 3 – Технические характеристики микроскопа

Наименование параметров и размеров	Нормы
Диапазон измерений длин, мм: - в продольном направлении; - в поперечном направлении	0–100 0–50
Диапазон измерений плоских углов окулярной угломерной головкой, °	0–360
Угол поворота накладного круглого стола, °	360
Угол поворота предметной плиты координатного стола, °	±5
Максимальный угол наклона линии центров бабки относительно горизонтальной плоскости, °	±12
Видимое увеличение отсчетного микроскопа окулярной угломерной головки, крат	45
Максимальное расстояние между объективом и предметным стеклом координатного стола, мм	175
Максимальное расстояние между центрами, мм: - бабки с наклоняемой линией центров; - бабки с горизонтальным положением линии центров при измерении изделий диаметрами: • до 39 мм; • до 85 мм	200 315 235

Продолжение таблицы 3

Наименование параметров и размеров	Нормы
Максимальный диаметр изделия, устанавливаемого в центрах, мм: - бабки с наклоняемой линией центров; - бабки с горизонтальным положением линии центров в призматических опорах	70 85
Расстояние от колонки до оси тубуса микроскопа (вылет), мм, не менее	110
Диапазон измерений по вертикальной координате при работе с контактным приспособлением, мм	0–28
Диапазон показаний шкалы дуг окружностей, мм	0,1–60
Диапазон измерений радиусов дуг окружностей, мм: - с объективом 1 ^x ; - с объективом 3 ^x	5,5–30 0,1–5
Цена деления, '': - шкалы окулярной угломерной головки; - нониуса шкалы наклона линии центров бабки; - нониуса шкалы поворота накладного круглого стола	1 15 3
Шаг цифрового отсчета при линейных измерениях, мм	0,0002
Максимальная масса измеряемого изделия, устанавливаемого на координатном столе, кг, не более	10
Номинальная потребляемая мощность, В×А	100
Габаритные размеры, мм, не более: - микроскопа; - транспортной тары	370×355×540 1330×1160×905
Масса, кг, не более: - микроскопа с окуляром; - комплекта микроскопа в упаковке	40 130
Напряжение питающей сети, В	220(+22 –33)
Частота тока, Гц	50±1

Таблица 4 – Погрешность измерения

Наименование показателя	Нормы
Пределы допускаемой абсолютной погрешности микроскопа при проверке по образцовой штриховой мере (исключая вариацию показаний) на высоте 25 мм от предметной плоскости координатного стола, мм	±0,003
Пределы допускаемой абсолютной погрешности микроскопа, '': - при измерении плоских углов с помощью круговой шкалы (лимба) окулярной угломерной головки; - при измерении плоских углов с помощью шкалы лимба круглого стола	±1 ±3

Продолжение таблицы 4

Наименование показателя	Нормы
Погрешность измерений размеров на длине 50 мм по вертикальной координате, мм, не более	0,05
Допуск прямолинейности движения координатного стола в пределах всего хода в продольном и поперечном направлениях, мм	0,002
Допуск перпендикулярности направлений продольного и поперечного перемещений координатного стола, "	20
Допуск прямолинейности движения тубуса микроскопа и перпендикулярности его перемещения относительно поверхности предметного стекла координатного стола, '	1
Допуск соосности внутренних и наружных центров в горизонтальной плоскости, мм: - для бабки с наклоняемой линией центров при расстоянии между центрами 20 и 150 мм (на длине 75 мм); - для бабки с горизонтальным положением линии центров при расстоянии между центрами: • 20 мм; • 300 мм (на длине 150 мм)	R 0,01 R 0,01 R 0,02
Допуск параллельности плоскости движения координатного стола в продольном и поперечном направлениях, мм: - рабочей поверхности плиты координатного стола на всей длине хода стола; - поверхности предметного стекла координатного стола на длине 90 мм; - поверхности предметного стекла круглого стола, установленного на координатном столе, на длине 90 мм	0,015 0,02 0,04
Погрешность установки угла наклона линии центра бабки с наклоняемой линией центров, '	15
Допуск параллельности горизонтальной линии перекрестия штриховой сетки окулярной угломерной головки продольному ходу координатного стола при нулевом показании угломерной шкалы, '	1
Смещение центра перекрестия штриховой сетки окулярной угломерной головки относительно оси вращения, мм, не более	0,003
Погрешность измерений радиусов дуг окружностей, мм, не более, в диапазоне размеров: - от 0,1 до 2 мм включительно; - от 2 до 5 мм; - от 5 до 20 мм; - от 20 до 30 мм	±0,003 ±0,050 ±0,125 ±0,250 ±0,400
Примечание – Основная погрешность микроскопа нормирует 25 мм от предметной плоскости координатного стола, на других высотах не нормируется.	

Погрешность при измерении на микроскопе в значительной степени зависит от квалификации оператора, качества обработки измеряемой детали, измеряемого элемента, диафрагмирования источника света, особенностей данного экземпляра микроскопа, внешних условий и других факторов.

Для устранения дополнительных погрешностей при измерении и фокусировке тубуса микроскопа подводку контура и фокусировку на резкость изображения производить строго с одной стороны.

Принцип действия микроскопа основан на бесконтактном методе измерения размеров деталей с помощью преобразователя линейных перемещений (ПЛФ) и выводом результатов измерений на устройство цифровой обработки (УЦО).

Параметры объектива микроскопа ИМЦЛ 100×50, А указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры объектива микроскопа

Линейное увеличение объектива, крат	Сменные окулярные головки с видимым увеличением окуляра 10 ^x		Микрометр оптический с видимым увеличением 16 ^x	
	видимое увеличение визирного микроскопа, крат	линейное поле визирного микроскопа в пространстве предметов, мм	видимое увеличение визирного микроскопа, крат	линейное поле визирного микроскопа в пространстве предметов, мм
1	10	21,00	–	–
3	30	7,00	–	–
5	50	4,20	80	1,6
10	100	2,10	160	0,8
20	200	1,05	320	0,4
40	400	0,52	–	–

Микроскоп состоит из основания, на котором смонтирован координатный стол и колонка с визирным микроскопом. Основание 14 (рисунок 7) прямоугольной формы имеет сверху базовые опорные площадки и отверстия для установки и фиксации координатного стола 1 и колонки 5.

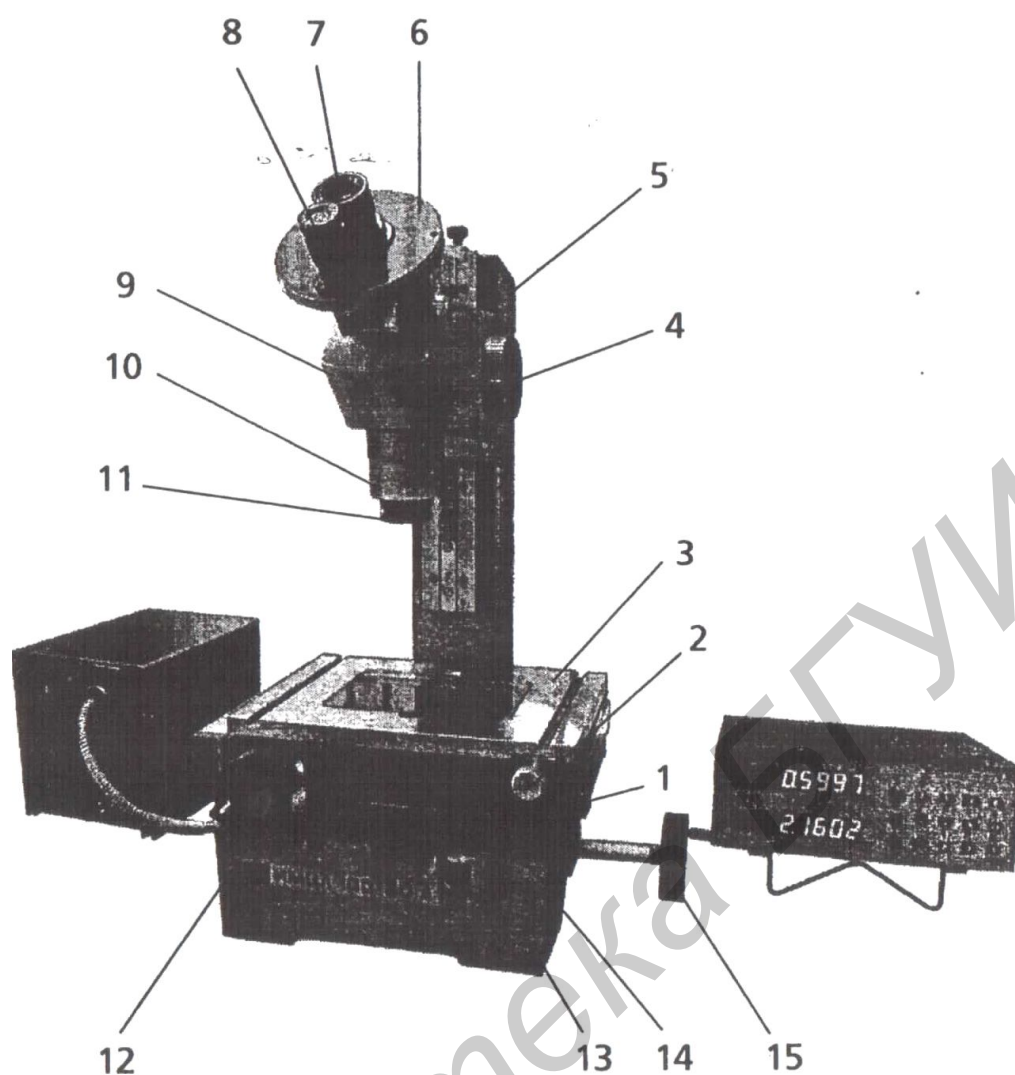


Рисунок 7 – Общий вид микроскопа

В основании закреплен осветитель проходящего света с оправой 9 (рисунок 8) для крепления выносного световода осветителя и механизмом регулировки диафрагмы. Установка необходимого размера диафрагмы осуществляется путем вращения трубы 5 (см. рисунок 8) со шкалой, на которой нанесены значения диаметров диафрагмы в миллиметрах. Колонка литая, прямоугольной формы, жестко крепится на основании.

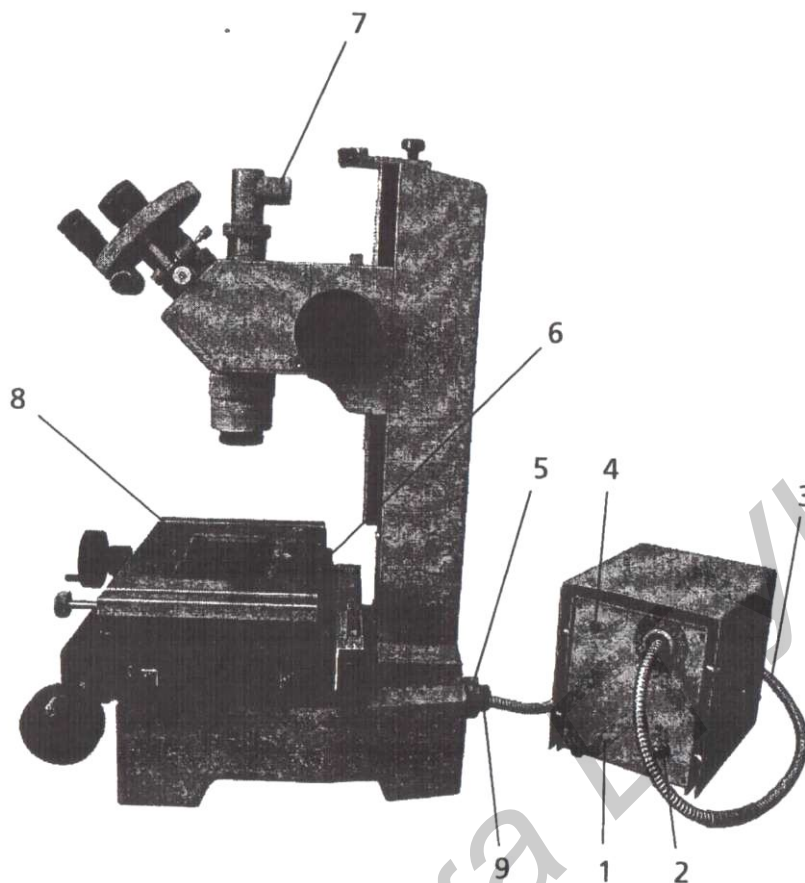


Рисунок 8 – Микроскоп с осветителем отраженного и проходящего света

Визирный микроскоп состоит из объектива, тубуса и окулярной головки. В верхней части тубуса имеются выходы для крепления окулярных головок и осветителя отраженного света 7 (см. рисунок 7). В нижней части тубуса крепятся сменные объективы 11 (см. рисунок 7). Перемещение тубуса на колонке осуществляется вращением маховика грубой наводки 4 и маховика тонкой наводки.

Координатный стол перемещается в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Прямолинейное движение стола осуществляется маховиками перемещения 12 и 15 (см. рисунок 7) (в поперечном и продольном направлениях). Рукоятки маховиков предназначены для ускоренного перемещения.

Для быстрого перемещения стола в продольном направлении необходимо рукоятку 13 поднять вверх до упора и переместить стол на необходимое расстояние. Верхняя плита 3 с предметным стеклом может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Поворот плиты осуществляется механизмом поворота 2.

При работе на микроскопе применяют следующие съемные головки:

- окуляр – для различных линейных измерений;
- окулярная угломерная головка – для различных линейных и угловых измерений;

- головка двойного изображения – для точных измерений расстояний между центрами отверстий, точного визирования на край изображения;
- головка двойного изображения в дополнительных цветах – для точных измерений прямолинейности кромок, измерения симметрии элементов измеряемой детали;
- окулярная головка с дугами разной кривизны – для измерений радиусов;
- окулярная головка с набором профилей резьб – для измерений профилей резьбы;
- микрометр оптический – преимущественно для линейных измерений с большими увеличениями в пределах поля зрения.

Окуляр 1 состоит из корпуса, внутри которого установлена сетка с перекрестием.

Вверху корпуса имеется окуляр 2. Поворотом оправы окуляра производят его настройку на резкость окулярной сетки в пределах ± 5 дптр.

В нижней части корпуса по резьбе устанавливается втулка, имеющая направляющий поясок, которым окуляр вставляется в отверстие тубуса, и фиксируется маховичком 5.

Окулярная угломерная головка 6 (см. рисунок 7) представляет собой круглый корпус, внутри которого смонтирован вращающийся лимб с сеткой.

Внизу головки находится маховичок с накаткой для поворота лимба с сеткой.

Вверху головки имеется окуляр 7 с оправой глазной линзы. Поворотом оправы окуляра производят его настройку на резкость окулярной сетки в пределах ± 5 дптр.

С края головки имеется отсчетное устройство 8 (отсчетный микроскоп) для считывания показаний лимба по специальной шкале.

В поле зрения окуляра видна сетка (перекрестие и ряд штриховых линий), у отсчетного микроскопа – отсчет угломерной головки. Закрепляется на тубусе так же, как и окуляр.

Головка двойного изображения состоит из корпуса 4 с раздваивающей призмой и окуляра 5. Закрепляется на тубусе так же, как и окуляр.

Головка двойного изображения в дополнительных цветах имеет дополнительно еще два светофильтра, в остальном аналогична предыдущей головке.

Окулярная головка с дугами разной кривизны – круглый корпус, внутри которого в фокальной плоскости окуляра смонтирована вращающаяся стеклянная сетка с нанесенными профилями дуг нормальных радиусов.

Дуги радиусами от 0,1 до 5 мм нанесены из расчета применения при работе объектива с увеличением 3^{\times} , а радиусами от 5,5 до 60 мм – объектива с увеличением 1^{\times} .

Значения радиусов дуг написаны над каждой из них. Вращение сетки осуществляется маховичком. Головка устанавливается на микроскопе вместо снятого окуляра или другой головки.

Закрепляется на тубусе так же, как и окуляр.

Окулярная головка с набором профилей резьб в отличие от предыдущей головки имеет в фокальной плоскости окуляра неподвижную угломерную шкалу с пределами измерения $\pm 7^\circ$, цена деления $10'$ и вращающуюся стеклянную сетку с нанесенными профилями метрической резьбы для шага от 0,2 до 6 мм и дюймовой резьбы от 4 до 24 ниток на дюйм.

На сетке, кроме того, нанесены пунктирные линии, составляющие углы 30, 40 и 90° , предназначенные для проверки соответствующих углов, пунктирные линии, составляющие углы 55 и 60° , и три линейные шкалы, предназначенные для проверки правильности профилей (цена деления линейных шкал составляет 0,02 мм).

При работе с данной головкой следует применять объектив с увеличением 3^\times . Головка закрепляется на тубусе так же, как окуляр.

Параметры увеличения объектива приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры увеличения объектива

Линейное увеличение объектива, крат	Числовая апертура, мм	Линейное поле объективов в пространстве предметов, мм
1	0,033	21,00
3	0,098	7,00
5	0,140	4,20
10	0,200	2,10
20	0,300	1,05
40	0,400	0,52

Микрометр оптический 1 закрепляется на корпусе 2 с помощью винта.

Осветитель. В качестве источника света в осветителе применяется лампа КГМ 12-40 (12 В, 40 Вт).

Питание лампы осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц через блок питания, размещенный в общем корпусе с осветителем.

На передней панели корпуса осветителя 1 (см. рисунок 8) расположены тумблер 2, гнездо световода 3, сигнальная лампа 4, которая при включении тумблера должна загореться.

На задней панели закреплены вставка плавкая, клемма для заземления, шнур питания, розетка 6,3 В, крышка, снимаемая для замены и центрировки лампы.

Микроскоп в комплекте с УЦО позволяет проводить измерения без предварительной ориентации детали по направлению хода стола.

Принцип действия УЦО и порядок работы с ним изложены в руководстве по эксплуатации.

Рассмотрим основные задачи УЦО при работе с микроскопом.

1 Измерение расстояния между точкой и прямой (измерение диаметров валиков, калибров, измерение расстояния между штрихами).

Установить и закрепить валик на измерительном столе. Ввести в поле зрения одну из образующих валика механизмом перемещения стола.

Навести визуально перекрестие окуляра на первую точку и нажать клавишу [2↓] на УЦО.

Переместив стол, навести окуляр на вторую точку этой же образующей и нажать клавишу [2↓].

С помощью механизмов перемещения измерительного стола ввести в поле зрения другую образующую.

Навести визуально на любую точку перекрестие окуляра и нажать клавишу [5 ∨].

На цифровом табло УЦО появится значение диаметра валика. Полученный результат может быть записан в памяти нажатием клавиши [ЗП].

Для усреднения результатов n измерений необходимо после каждого измерения клавишей [ЗП] записать результат в память, после нажатия клавиши [6~] на табло появится среднее арифметическое из n измерений.

По аналогичной методике проводится решение нижеприведенных измерительных задач.

2 Измерение угла между двумя линиями.

Измерение конусов углов профилей резьб и прочих углов деталей и инструмента осуществляется путем нажатия клавиши [7 ∟] после наведения на последнюю измерительную точку.

3 Измерение радиуса дуги, диаметра отверстия, координаты центра окружности. Количество точек измерения и порядок снятия показаний определяются путем нажатия клавиш [8^] [9∅].

4 Измерение расстояния между центрами окружностей. Количество точек измерения и порядок снятия показаний определяются путем нажатия клавиш [8^] и [R>].

Примечание – Для уменьшения погрешности измерения рекомендуется проводить измерения с использованием максимально разнесенных точек.

Микроскоп не исключает возможности измерения обычными методами с предварительной ориентацией детали по направлению движения координатного стола, используя при этом угломерную головку, головку двойного изображения, контактное приспособление и т. п.

2.2 Назначение и принцип работы устройства цифровой обработки (УЦО-209С)

УЦО-209С предназначено для приема и обработки сигналов с растровых преобразователей, установленных в контрольно-измерительных приборах

(КИП), измерительных системах, технологическом оборудовании, и индикации результатов обработки (рисунок 9).

ПОДКЛЮЧЕНИЕ

Преобразователи ПЛФ подключаются через разъемы «X» и «Y» типа РС-10.

Конт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Цепь	is	-is	+UL	-UL	ic	-ic	io	-io	экран

Компьютер подключается стандартным нуль-модемным кабелем 25f/25f или 9f/25f через разъем типа DB25.

Конт.	2	3	7
Цепь	TxD	RxD	GND

ФОРМА СИГНАЛОВ НА ВХОДНЫХ РАЗЪЕМАХ

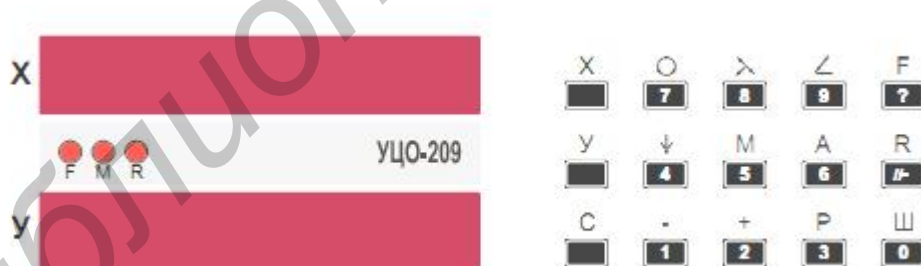
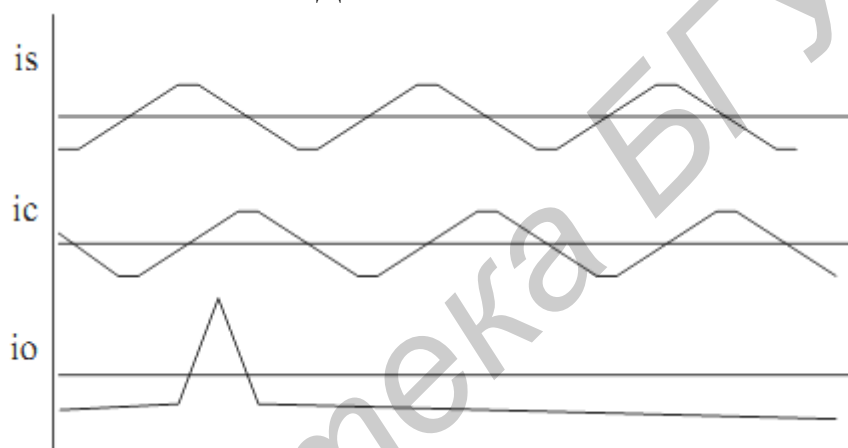


Рисунок 9 – Внешний вид УЗО-209С

НАЗНАЧЕНИЕ КЛАВИШ

Клавиши



Назначение

Префиксные – определяют, к какой координате относятся операции X или Y.

Цифровые 0...9, ± – для набора величин.



Функциональные

C – сброс показаний индикаторов X или Y или отмена ввода числа;

Ø – отмена предыдущего действия или выход из режимов;

R – режим измерения расстояний в векторной форме;

F – изменение режима.



Увеличение/уменьшение значения предустановки или остаточного пути.



Запоминание точек измерения в измерительных задачах.



M – запоминание в памяти текущих координат или результатов измерений;

A – индикация результатов усреднения;

P – вывод на компьютер текущих координат, результатов измерения или содержимого памяти.



Исполнительные

⊕ – измерение диаметров отверстий;

λ – измерение расстояния от точки до прямой;

∠ – измерение угла между двумя прямыми.

Ниже приведены краткие характеристики семейства УЦО-209 (таблица 7).

Таблица 7 – Краткие характеристики семейства УЦО-209

Характеристики	УЦО-209А	УЦО-209С	УЦО-209АМ
Тип датчика	круговой	линейный	круговой «устаревший»
Применяемость	ИМЦ100×50, ИМЦ150×50, ОСК-2, ПИ-360ЦВ1	ИМЦЛ100×50, ИМЦЛ150×50, ПИ600ЦВ	БМИ-1Ц, ИМЦ100×50, ИМЦ150×50, УМИ-2Ц, ОСК-2, ПИ-360ЦВ1
Тип сигнала: - синусоидальный; - прямоугольный	TTL	6–12 мкА (шаг шкалы 20 мкм)	TTL
Интерфейс RS-232C	Есть	Есть	Есть
Измерительные задачи	Да	Да	Да
Измерительные длины вектора	Да	Да	Да
Учет концевых мер	Нет	Нет	Да
Дискретность, мкм	0,5; 1,0	0,1; 1,0	0,5; 1,0
Мощность потребления, Вт	5	8	6
Входная частота, [кГц]	250	10	250

ФУНКЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ УСТРОЙСТВОМ:

- 1) ввод предустановки с возможностью сложения и вычитания с результатом измерения;
- 2) вывод результатов измерения через интерфейс «RS-232C» на компьютер или печать;
- 3) вычисление расстояния между двумя точками, не лежащими на одной прямой – режим R,

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2};$$

- 4) возможность работы в полярных координатах.

2.3 Решение измерительных задач

Основной круг геометрических задач может быть сведен к следующим измерениям:

- измерение расстояния между точкой и прямой;
 - измерение диаметра окружности, радиуса кривизны и координат центра окружности;
 - измерение угла между прямыми, точки пересечения двух прямых;
- По результатам измерений начало координат может быть перенесено:
- при измерении параметров окружности – в центр окружности;
 - при измерении расстояния от точки до прямой – в точку пересечения прямой и перпендикуляра;
 - при измерении угла между прямыми – в вершину угла (точка пересечения двух прямых);
 - при вычислений среднего значения координат – в точку с усредненными координатами.

2.3.1 Порядок работы

Сразу после включения устройство готово к работе, на верхнем и нижнем индикаторах индицируются нули, характеризующие рабочее состояние изделия.

Сброс показаний цифрового табло производится отдельно для координат X и Y посредством последовательного нажатия клавиш:

$$[X] + [C] \text{ или } [Y] + [C]$$

В изделии используется многофункциональная предустановка. Для ввода предустановки необходимо:

- 1) выбрать координату для ввода нажатием кнопки [X] или [Y];
- 2) нажатием кнопок [-], [0 ... 9] ввести необходимое числовое значение;

3) запомнить набранное значение нажатием клавиши [Δ], во время ввода мигает десятичная точка в соответствующей координате

$$[X] + [/-][0 \div 9] + [\Delta] \text{ или } [Y] + [/-][0 \div 9] + [\Delta].$$

После нажатия клавиши [Δ] светодиод F светит, сигнализируя о наличии предустановки в памяти устройства. В случае ошибочного набора необходим повторный ввод после нажатия клавиши [C]. Выход из режима ввода без изменения данных осуществляется повторным нажатием [X] или [Y].

В памяти устройства хранятся две предустановки: *первая* (введенная оператором с клавиатуры) и *текущая*. Сразу после ввода новой предустановки *текущая* равна *первой*, но затем *текущая* предустановка может быть увеличена/уменьшена нажатием кнопок [+]/[-] на величину *первой* предустановки.

При индикации текущих координат отображаемые значения вычисляются как сумма показаний датчиков и величины *текущей* предустановки.

Для контроля *первой* предустановки следует последовательно нажать [F]+[1], а для контроля *текущей* – [F]+[2]. Режим контроля предустановки совмещен с режимом индикации остаточного пути. То есть на индикации отображается расстояние от текущей точки до точки, отстоящей от начальной на величину предустановки. Признаком активности режима индикации остаточного пути является мигание светодиода F.

При индикации остаточного пути нажатием кнопок [+]/[-] можно оперативно изменять отображаемое значение на величину первой предустановки. При этом изменяется только отображаемый остаточный путь, а величина текущей предустановки остается неизменной. Таким образом, можно проводить циклические измерения оптимальным образом. В режиме индикации остаточного пути выполняются все измерительные задачи и функции, доступные в обычном режиме.

Выход из режима осуществляется повторным нажатием кнопки [F].

Результаты измерений могут выводиться на компьютер нажатием клавиши [ЗР].

Если в процессе работы возникнет необходимость в многократных измерениях одного размера с усреднением, то после каждого единичного измерения надо нажать клавишу [5M]. После первого нажатия клавиши [5M] загорается светодиод M. Возможно аннулирование ошибочно введенного последнего значения нажатием клавиши [Ø]. Если в памяти нет больше данных, то светодиод M гаснет.

Результаты измерений, находящиеся в памяти, могут быть выведены на индикаторное табло в виде среднего арифметического измеренных величин нажатием клавиши [6A] с последующей возможностью вывода на печать нажатием клавиши [ЗР].

Повторное нажатие клавиши [6A] восстанавливает индикацию текущего значения.

Если при индикации среднего арифметического нажать клавишу [Ø], то происходит выход из режима с обнулением массива запомненных значений.

2.3.2 Измерение расстояния между двумя точками

Устройство обеспечивает измерение расстояния между двумя точками, не лежащими на оси X или Y (рисунок 10).

Для этого необходимо навестись визуально на первую точку M(1) и нажать клавишу [R], затем произвести наведение на вторую точку M(2) и вновь нажать клавишу [R]. При этом на индикаторных табло X и Y появится значение, равное расстоянию между двумя точками, и начинает мигать светодиод R. Повторное нажатие клавиши [R] восстанавливает индикацию текущего значения.

Процесс измерения расстояний можно продолжить. При этом на табло X всегда появляется значение R, равное расстоянию между двумя последними точками наведения, а на табло Y – значение R, равное расстоянию относительно точки, когда была нажата клавиша [R] в первый раз. Это позволяет решать на плоскости задачи векторной алгебры.



Рисунок 10 – Изображение результатов измерений координат

Аннулировать режим можно нажатием клавиши [Ø]. После первого нажатия клавиши [R] загорается светодиод R, который гаснет при аннулировании режима. Сброс любой координаты X или Y приводит к выходу из режима R.

Результаты измерений могут быть занесены в память клавишей [5M] или выведены на печать. Наличие режима R позволяет решать стандартные задачи более рациональным способом. Например, при измерении большого количества однотипных линейных размеров (рисунок 11).

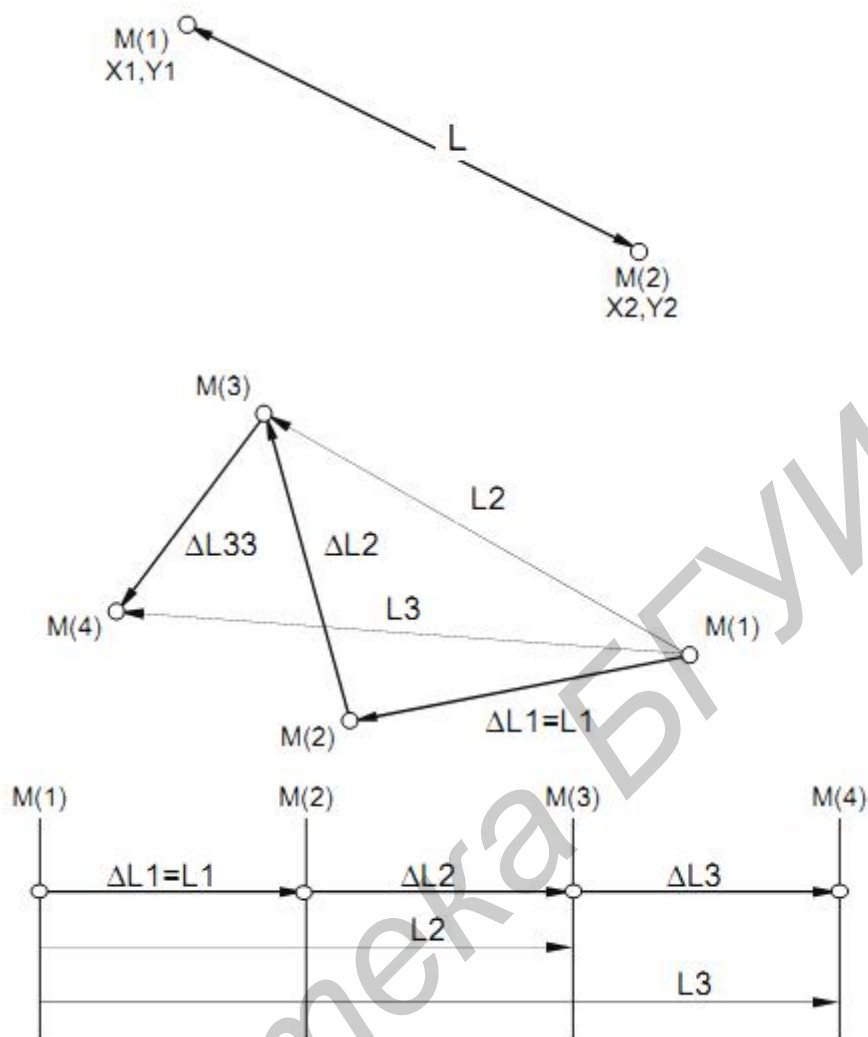


Рисунок 11 – Варианты измерения линейных размеров

2.3.3 Решение сложных измерительных задач

При необходимости работы в режиме решения измерительных задач алгоритм работы следующий: после наведения на измерительную точку (она фиксируется нажатием клавиши [4↓]) фиксация последней измерительной точки и получение результатов измерения происходит после нажатия одной из функциональных клавиш [7Φ], [8>], [9<].

В зависимости от того, какая клавиша была нажата, характер результата может быть следующий:

- диаметр окружности или координаты центра окружности;
- расстояние от точки до прямой;
- угол между двумя прямыми.

Результаты измерения могут запоминаться в памяти нажатием клавиши [5]. Возможен режим многократных измерений с запоминанием усредненного результата нажатием клавиши [6A]. Чтобы отличить усредненный ре-

зультат от текущих координат, индикация сопровождается миганием фиксированной запятой в четвертом разряде.

После окончания измерений выход из режима измерительной задачи осуществляется нажатием клавиши [Ø]. При этом в задачах [8>] и [9<] в памяти измерительных точек сохраняются два первых отсчета, позволяющие производить многократные измерения более рациональным образом.

Количество решаемых задач может быть намного больше трех, имеющих фиксированные клавиши на передней панели УЦО, путем объединения различных задач в режиме R. Особенно это удобно в исследовательских учреждениях, когда приходится решать большое количество нестандартных задач. В следующем пункте рассмотрим основные задачи и методы их решения.

2.3.4 Определение расстояния между точкой и прямой

Сначала фиксируются две точки, лежащие на прямой M(1) и M(2), а затем третья точка M(3), расстояние от которой до прямой нужно измерить (рисунок 12).

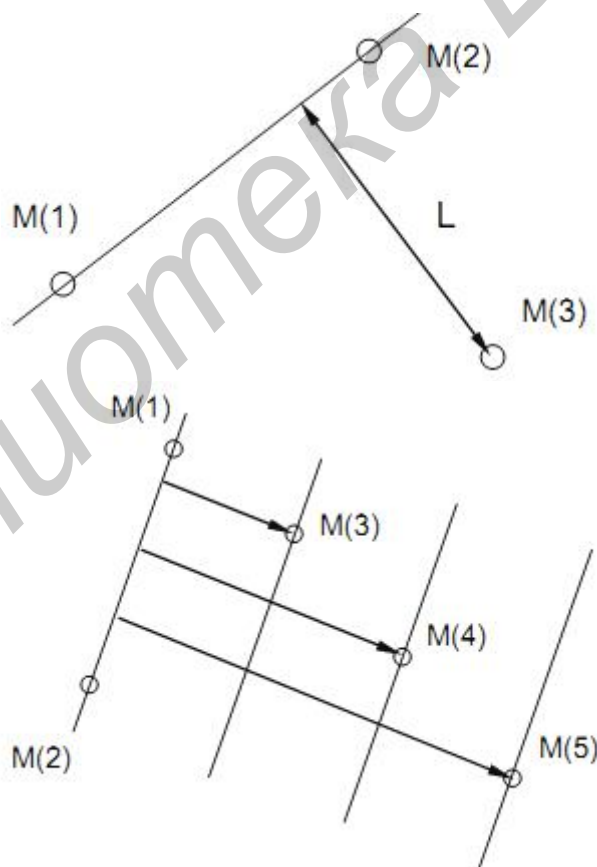


Рисунок 12 – Диаграммы, поясняющие процесс измерения расстояния от точки до прямой

После нажатия клавиши [8 >] на верхнем индикаторе появится результат измерения (рисунок 13).



Рисунок 13 – Изображение результатов измерений расстояния

При необходимости повторить измерение от любой другой точки до данной прямой достаточно нажать клавишу [0] , навестись на требуемую точку и вновь нажать клавишу [8 >] . Процесс можно продолжать неограниченное количество раз. Многократные измерения расстояний от базовой прямой до произвольных точек, эквивалентны переходу в другую систему координат.

Если необходимо определить диаметр окружности, проходящей через эти точки одновременно, с определением расстояния до прямой, которая в данном случае является хордой, достаточно нажать последовательно клавиши [0] , [8 >] .

2.3.5 Измерение угла между двумя прямыми

После фиксации двух точек на одной прямой $M(1)$ и $M(2)$ и одной точки на другой прямой $M(3)$ необходимо навестись на четвертую точку $M(4)$ и нажать клавишу [9 <] (рисунок 14).

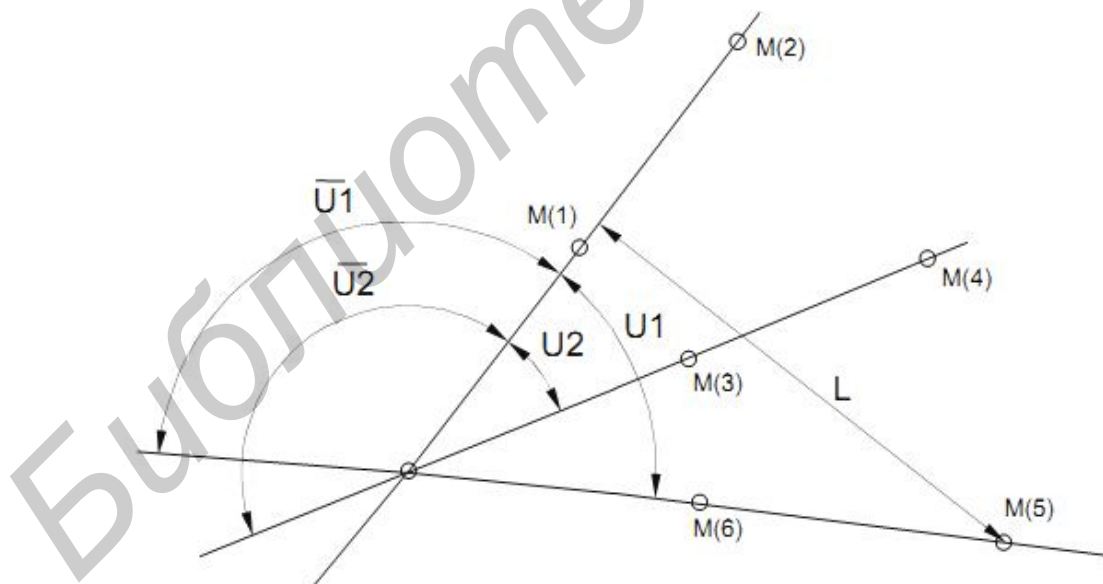


Рисунок 14 – Диаграмма, поясняющая процесс измерения

На верхнем табло отображается значение угла от 0 до 180° , а на нижнем – значение угла, дополняющего до 180° (рисунок 15).



Рисунок 15 – Изображение результатов измерений угла

Возможна индикация угла в радианах при повторном нажатии клавиши [9<]. Так как после выхода из режима нажатием клавиши [0] значения двух точек на первой прямой сохраняются, то возможно продолжить измерение углов между первой прямой и любыми другими. Для этого достаточно нажать клавишу [0] и продолжить фиксацию точек на второй прямой.

В любой момент времени существует возможность определения расстояния L между первой прямой и любой точкой второй прямой без нарушения последовательности измерения углов.

2.3.6 Измерение диаметра и координат центра окружности

После фиксации двух точек M(1) и M(2), лежащих на окружности (дуге), навестись на третью точку M(3) и нажать клавишу [7<] (рисунок 16).

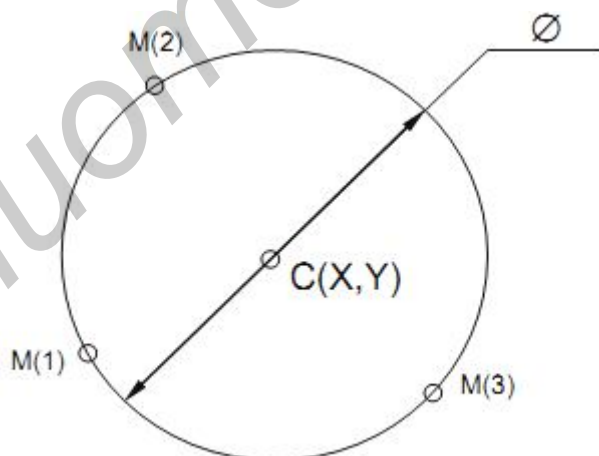


Рисунок 16 – Диаграмма измерения радиуса кривизны и координаты центра окружности

На табло высвечиваются координаты центра окружности.

При повторном нажатии клавиши [7<] на табло появляется значение диаметра окружности и радиуса кривизны (рисунок 17).



Рисунок 17 – Изображение результатов измерений диаметра

Аналогично измеряются радиусы кривизны и координаты центра окружности, когда центр находится вне объекта.

2.3.7 Измерение расстояния между центрами двух окружностей

Данная задача является совокупностью режима R и задачи определения координат центра.

Для решения данной задачи находят координаты центра первой окружности, нажимают клавишу [R], затем находят координаты центра второй окружности и повторно нажимают клавишу [R].

В данной задаче осуществляется использование координат центров окружностей как точек измерения при работе в режиме R.

Этот процесс можно продолжить неограниченное количество раз, рассматривая координаты центров окружностей как точки измерения. При этом на верхнем табло индицируется расстояние между двумя соседними центрами окружностей, а на нижнем – расстояние между центрами первой и последней окружностей.

Эффективность этого метода при аттестации размеров детали с большим количеством отверстий иллюстрирует рисунок 18.

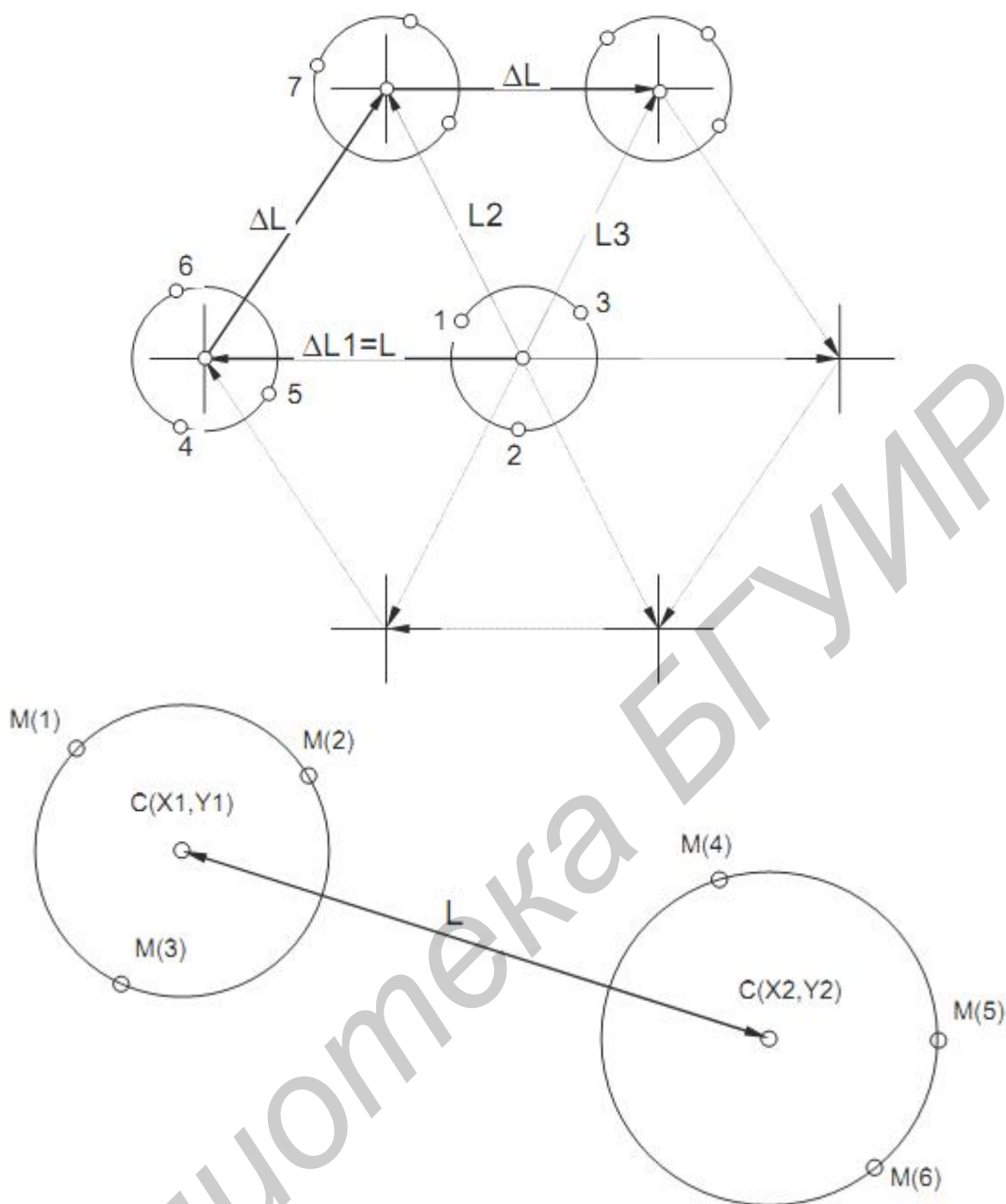


Рисунок 18 – Диаграммы, поясняющие процесс измерения расстояний между центрами окружностей

2.3.8 Измерение расстояния от центра окружности до прямой

После фиксации двух точек на одной прямой M(1) и M(2) и двух точек на окружности M(3) и M(4) навести курсор на пятую точку M(5) и нажать клавишу [7Φ] (рисунок 19).

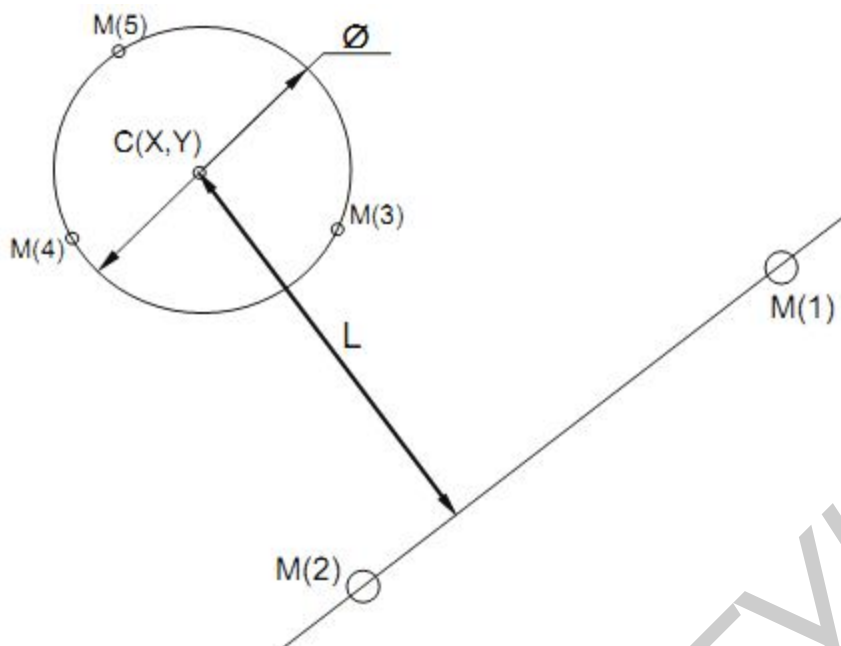


Рисунок 19 – Диаграмма измерения расстояния от центра окружности до прямой

На индикаторах появится значение координат центра окружности. После нажатия клавиши [8 >] на верхнем индикаторе появится результат измерения (рисунок 20).

0888.7014

Рисунок 20 – Изображение результатов измерения

2.3.9 Перенос начала координат в характерную точку измерительной задачи

По результатам измерительных задач центр координат может быть перенесен в характерную точку задачи:

- при измерении параметров окружности – в центр окружности;
- при измерении расстояния от точки до прямой – в точку пересечения прямой и перпендикуляра, опущенного из точки на прямую;
- при измерении угла между двумя прямыми – в вершину угла;
- при вычислении среднего значения координат – в точку с усредненными координатами.

Таким образом, за начало координат принимается точка, в координатах которой либо трудно произвести обнуление без предварительных расчетов, либо она лежит вне объекта или даже вне диапазона рабочих длин изделия.

Для переноса нуля нужно, не выходя из режима индикации результатов измерительной задачи, последовательно нажать кнопки [F][C]. При этом также происходит выход из измерительной задачи.

При переносе системы координат сохраняется только значение первой предустановки, а значение текущей корректируется для переноса нуля.

2.3.10 Использование режима усреднения для повышения точности измерений

В любой момент времени значения на индикаторном табло могут запоминаться нажатием клавиши [5M] или переданы в компьютер или напечатаны нажатием клавиши [3P] без нарушения последовательности измерения.

Значения в памяти могут быть усреднены нажатием клавиши [6A] и в таком виде переданы в компьютер.

Режим усреднения может иметь самостоятельное значение, например, для измерения среднего диаметра кольца (рисунок 21) или точного значения расстояния между двумя прямыми с учетом погрешностей их изготовления.

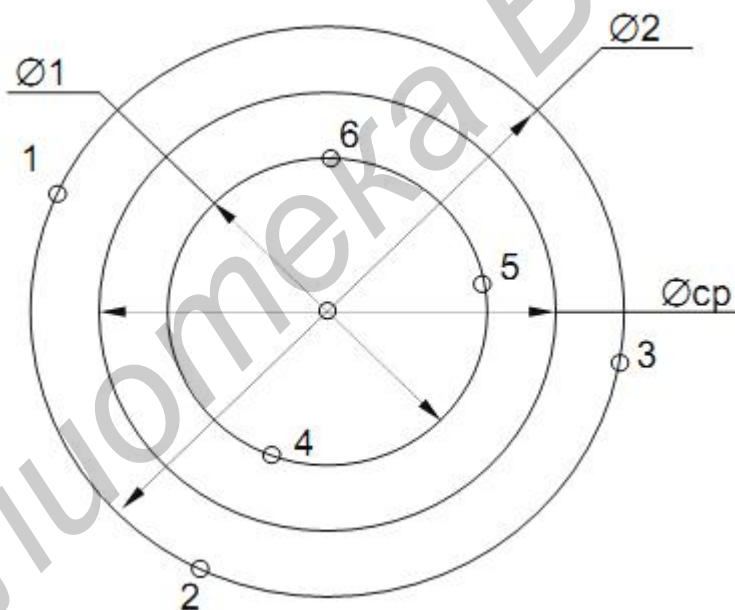


Рисунок 21 – Пределы отклонения измеряемых диаметров

Особенно следует отметить использование режима усреднения для повышения точности измерений. Например, при точном измерении диаметра окружности или измерении углов производится несколько измерений с использованием разных точек и промежуточным запоминанием в памяти клавишей [5M] (рисунок 22).

При нажатии [5M], если в памяти есть данные другого типа, то ввод новой точки игнорируется. Подается звуковой сигнал.

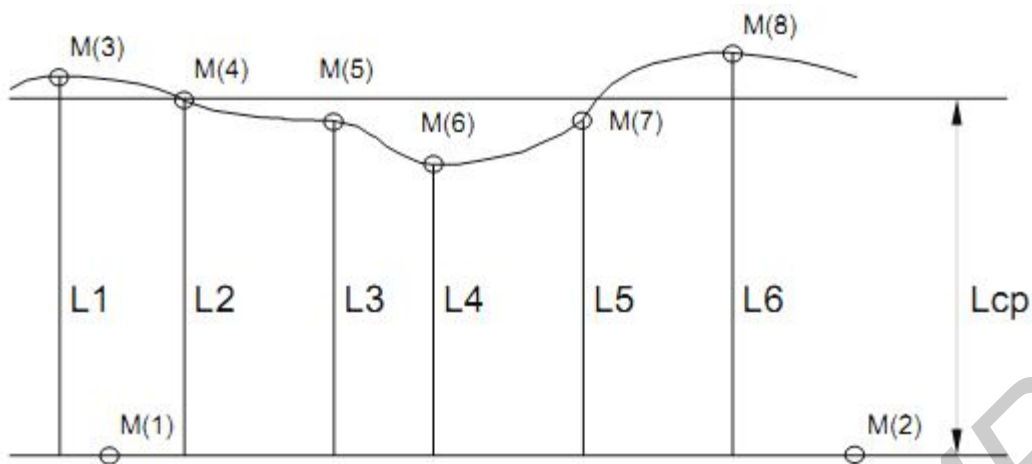


Рисунок 22 – Диаграмма, поясняющая принцип усреднения

2.3.11 Режим индикации (вход по нажатию кнопки F)

Вход в режим F осуществляется нажатием кнопки [F]. При этом начинает мигать светодиод F, а на индикаторах появляется сообщение (рисунок 23).



Рисунок 23 – Изображение результатов измерения

После этого нужно нажать кнопку выбора операции или выйти из режима, повторно нажав кнопку [F].

Включение/выключение отображения младшего разряда индикации. При малой величине дискретности датчика возможно дрожание младшего разряда индикатора. Если его значение реально не учитывается и/или дрожание мешает восприятию информации, отображение младшего разряда можно отключить последовательным нажатием клавиш [F][0]. При этом округления данных не происходит. Отменить гашение младшего разряда можно повторным нажатием той же последовательности клавиш. Режим гашения младшего разряда является глобальным, т. е. учитывается при отображении любых данных.

Включение/выключение индикации данных в полярных координатах. Для включения/выключения индикации данных в полярных координатах следует последовательно нажать клавиши [F][7]. При этом на верхнем индикаторе будет выводиться длина вектора, а на нижнем – угол (рисунок 24).



Рисунок 24 – Изображение результатов измерения в полярной системе координат

Данный режим только изменяет режим отображения координат точки. Он действует на отображение любых координат (средних, вычисленных, текущих и т. д.). В режиме индикации полярных координат недоступна операция ввода предустановки.

2.3.12 Формат выдачи данных (данные выдаются в формате ASCII)

Текущие координаты в декартовых координатах:

$X = -72,5800$ мм $Y = -80,8399$ мм

Текущие координаты в полярных координатах:

$L = -108,6414$ мм УГОЛ = $-131,9183^\circ$

Результаты измерений в режиме R:

$DX = -72,5800$ мм $DY = -80,8399$ мм

Контроль предустановка/индикация остаточного пути:

ОСТАТОЧНЫЙ ПУТЬ

$X = -72,5800$ мм $Y = -80,8399$ мм

Координаты центра окружности в декартовых координатах (результат измерительной задачи):

ЦЕНТР ОКРУЖНОСТИ $X = -72,5800$ мм $Y = -80,8399$ мм

Координаты центра окружности в полярных координатах (результат измерительной задачи):

ЦЕНТР ОКРУЖНОСТИ $L = 108,6414$ мм УГОЛ = $-131,9183^\circ$

Параметры окружности (результат измерительной задачи):

РАДИУС = $229,9175$ мм

ДИАМЕТР = $459,8350$ мм

Расстояние от точки до прямой (результат измерительной задачи):

$L = 0,2000$ мм

Угол в градусах между прямыми (результат измерительной задачи):

УГОЛ = $0,1146^\circ$; $179,8854^\circ$

Угол в радианах между прямыми (результат измерительной задачи):

$$\text{УГОЛ} = 0,0020^\circ; 3,1396^\circ$$

При выдаче средних значений перед данными в формате, приведенном выше, передается текст: СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ.

2.3.13 Дополнительные возможности УЦО209С с выходом RS232

Формат вывода данных на компьютер полностью совпадает с форматом вывода на печать. Скорость обмена 19200 бод, 8 бит данных без проверки на четность, 1 стоповый и 1 стартовый биты. Данные представляются в кодах ASCII. В конце строки передается код возврата каретки <ВК>.

В конце передачи передается код 0. Передача данных начинается по нажатию кнопки [3]. Данные, содержащиеся на индикации УЦО, могут быть выданы в порт по запросу в формате

С Р<ВК>,

где С – признак начала команды.

По команде Р УЦО выполняет точно те же действия, что и при нажатии кнопки [3].

Для постоянного опроса текущих координат предусмотрены две команды:

С Х<ВК> – запрос текущей координаты Х;

С Y<ВК> – запрос текущей координаты Y.

В ответ на эти команды УЦО передает значение текущей координаты с учетом предустановки. Посылка заканчивается кодом 0. При непрерывном опросе текущих координат следует учитывать, что длительность цикла обмена зависит от режима, в котором находится УЦО. Примерно 20–50 мс.

При обнаружении неизвестной команды, контроллер выдает признак ошибки Б 2. Кроме описанных в паспорте распечатываемых данных, на компьютер может выводиться «Измерительный протокол». При составлении измерительного протокола используется массив координат точек, запомненных нажатием кнопки [5]. В этом случае данный массив рассматривается не как данные для усреднения, а как последовательные замеры некоторой задачи контроля или аттестации. В протокол выводятся координаты точек и расстояние между ними. Для первой точки выдается расстояние до нуля координат, а для каждой последующей точки указывается расстояние от нее до предыдущей. Передача данных начинается по нажатии кнопки [3] в режиме [F], т. е. последовательным нажатием [F][3].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН МЕТОДОМ ВНОСИМЫХ ПОТЕРЬ

1 Цель работы

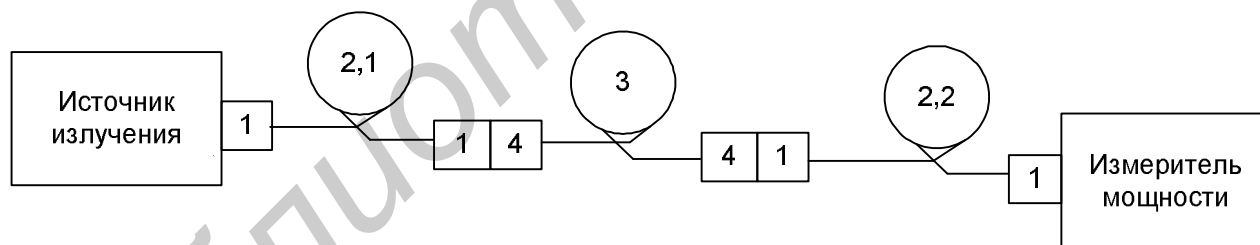
Изучение факторов, вызывающих ослабление оптического излучения в оптических волокнах (ОВ) оптических кабелей (ОК); освоение техники измерения затухания волокон ОК методом вносимых потерь; знакомство с технологическими процессами входного контроля ОК.

2 Задания к работе

- 1 Ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.
- 2 Изучить причины, вызывающие ослабление оптического излучения в ОВ.
- 3 Изучить принцип работы прибора по измерению затухания в ОВ.
- 4 Изучить структурную схему и принципы измерения затухания волокон ОК методом вносимых потерь.
- 5 Изучить порядок выполнения лабораторной работы.

3 Описание лабораторного макета

Структурная схема лабораторного макета приведена на рисунке 25.



1 – оптические вилки; 2,1 и 2,2 – вспомогательные оптические шнуры, оконеченные вилками 1; 3 – измеряемый оптический кабель; 4 – оптический соединитель оконеченного оптического устройства (оптического кросса), являющийся частью измеряемой линии и состоящий из оптической вилки, измеряемого кабеля и оптической розетки

Рисунок 25 – Схема измерения затухания ОВ методом вносимых потерь

Процесс измерения заключается в следующем (см. рисунок 25):

- 1) подготовка ОВ (вход измеряемого ОВ подключается к источнику излучения, а выход – к измерителю мощности отрезками волокна, оснащенных вилками);
- 2) первое измерение (фиксируются показания источника излучения $P_{\text{вх}}$);
- 3) второе измерение (производится соединение источника излучения и измерителя мощности через вспомогательный оптический шнур, снимаются показания измерителя мощности $P_{\text{вх}}$);

4) определение потерь (разность между эталонным и измеренным уровнями и дает потери ОВ: $A = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}$; если необходимо определить погонное затухание ОВ, последнее значение необходимо поделить на длину волокна).

В качестве источника излучения и измерения мощности в лабораторном макете используется тестер ОТ-2-5.

Тестер состоит из двух приборов:

- 1) источника оптического излучения ОТ-2-5/ИИ с высокой стабильностью;
- 2) измерителя оптической мощности ОТ-2-5/ИМ, позволяющего с высокой точностью произвести измерения оптической мощности и затухания в волоконно-оптических линиях связи.

ОТ-2-5 имеет удобный интерфейс и широкий набор сервисных функций, включая:

- хранение результатов измерений в энергонезависимой памяти с привязкой ко времени и дате проведения измерений;
- считывание и просмотр результатов измерений на ПЭВМ;
- календарь и часы реального времени;
- регулировка контрастности индикатора;
- индикация состояния аккумулятора;
- автоматическое отключение.

Измеритель мощности имеет три основных диапазона длин волн принимаемого оптического излучения с центральными длинами волн 850, 1310 и 1550 нм. В процессе измерения с помощью настроек можно изменить значение длины волны измеряемого оптического излучения на ± 40 нм с шагом 10 нм около выбранной центральной длины волны.

Технические характеристики

1 Длина волны источника излучения (ИИ), тип ОВ и оптического разъема и излучаемая мощность для различных модификаций прибора указаны в таблице 8.

Таблица 8 – Основные технические характеристики

Длина волны ИИ, нм	1310±30	1550±30	1310±30/ 1550±30	850±30	1300±30	850±30/ 1300±30
Тип ОВ	ОМ	ОМ	ОМ	ММ	ММ	ММ
Тип оптического разъема	FC	FC	FC	ST	ST	ST
Мощность излучения не менее, дБм	-4	-4	-5	-2	-2	-3

2 Режимы работы – непрерывный и с модуляцией мощности оптического излучения сигнала с частотой 270 Гц, 1 и 2 кГц.

3 Нестабильность уровня мощности постоянного излучения за 15 мин – не более 0,05 дБ.

4 Время установления рабочего режима – не более 15 мин.

5 Питание прибора осуществляется от сети с напряжением 230 ± 23 В и частотой $50\pm 0,4$ Гц через блок питания, входящий в комплект поставки, и от трех аккумуляторных батарей с суммарным напряжением $3,75\pm 0,25$ В.

6 Время непрерывной работы от аккумуляторов емкостью не менее 2000 мАч составляет не менее 50 часов. Время перерыва до повторного включения после полного цикла непрерывной работы должно быть не менее 15 мин.

Прибор выполнен в малогабаритном прямоугольном металлическом корпусе. Внешний вид прибора и верхняя панель с открытой крышкой показаны на рисунке 26.

На передней панели прибора находятся жидкокристаллический индикатор (ЖК-индикатор), кнопки ВКЛ/ВЫКЛ, ЛАЗЕР, ПОДСВЕТКА, МОДУЛЯЦИЯ, МЕНЮ, ◀ (МЕНЬШЕ), ▶ (БОЛЬШЕ).

На верхней панели установлен оптический разъем.

На внутренней стороне верхней крышки нанесено обозначение «ИИ», а также указаны тип ОВ и длины волн излучения прибора.

На нижней панели находится разъем «=7,5V» для подключения блока питания, индикатор заряда аккумуляторов (красный светодиод), нанесены номер прибора и год выпуска.



Рисунок 26 – Источник оптического излучения OT-2-5/ИИ и измеритель оптической мощности OT-2-5/ИМ

Принцип действия

Для генерации оптического излучения в качестве источника излучения используется лазерный диод с выводом сигнала на оптический разъем. Мощность излучения стабилизируется с помощью фотодиода обратной связи.

В модификации на две длины волны используются два лазерных диода с выводом на оптический разъем через оптический разветвитель.

Источник излучения имеет два режима работы: непрерывный и с модуляцией мощности импульсного сигнала с частотой 270 Гц, 1 и 2 кГц. Средняя мощность излучения в режиме модуляции в 2 раза меньше, чем при работе в непрерывном режиме.

Включение (выключение) прибора производится нажатием кнопки ВКЛ/ВЫКЛ. После включения на ЖК-индикаторе появляется следующая информация:

- текущее время (в левом верхнем углу);
- время (в минутах) до автоматического отключения прибора (в правом верхнем углу);
- режим работы: laser OFF – лазер(ы) выключен(ы).

Для включения излучения надо нажать кнопку ЛАЗЕР – информация на ЖК-индикаторе примет вид: laser XXXX nm (XXXX – номинальное значение длины волны, например, 1550 нм).

Для включения другого лазера и/или выключения излучения нужно последовательно нажимать кнопку ЛАЗЕР.

Режимы излучения (непрерывный и с модуляцией) переключаются последовательным нажатием кнопки модуляции. При этом в нижней части ЖК-индикатора появляется надпись MOD XXXX Hz (XXXX – частота модуляции).

Прибор совместно с измерителем мощности может быть использован для измерения затухания в оптических волокнах, оптических кабелях и соединителях.

Для измерения затухания, например, в оптической розетке, сначала прибор и измеритель мощности соединяются между собой коротким (длиной 3–5 м) кабелем, и измеряется мощность P_0 (дБм) на его выходе. Затем, не нарушая соединения с прибором, к кабелю присоединяют через проверяемую розетку еще один короткий кабель, и измерителем мощности измеряют мощность P_1 (дБм) на его выходе. Затухание в розетке в дБ находится как разность величин P_0 и P_1 .

Включение подсветки ЖК-индикатора осуществляется нажатием кнопки «подсветка». При включенной подсветке ЖК-индикатора значительно увеличивается ток потребления прибора от встроенных аккумуляторов по сравнению с другими режимами, и ускоряется их разряд. Поэтому для увеличения времени непрерывной работы прибора целесообразно включать этот режим только перед проведением соответствующих работ.

В приборе предусмотрена возможность установки следующих параметров:

- даты;
- текущего времени;
- контрастности изображения;
- времени автоматического выключения прибора после последнего нажатия одной из кнопок;
- проверки напряжения питания аккумуляторов;
- контроля температуры кристалла процессора.

Для перехода в этот режим необходимо нажать кнопку МЕНЮ. При этом на ЖК-индикаторе высвечиваются:

- в первой строке – дата (число:месяц:год) и текущее время (час:мин:сек);
- во второй строке – время автоматического отключения прибора (в мин);
- в третьей строке – контрастность изображения;
- в четвертой строке – напряжение питания аккумуляторов в вольтах;
- в пятой строке – температура кристалла процессора;
- в правом нижнем углу ЖК-индикатора показан номер версии программы прибора.


Выбор устанавливаемых параметров производится нажатием кнопки МЕНЮ. Изображение изменяемого параметра при этом начинает мигать, изменение значения осуществляется кнопками \triangleright (больше), \triangleleft (меньше).


Выход из режима установки осуществляется нажатием кнопки ЛАЗЕР.


Если напряжение питания аккумуляторов менее 3,6 В, их необходимо зарядить.

Если температура кристалла процессора превышает 55 °С, прибор необходимо выключить.

В приборе предусмотрена индикация разряда аккумуляторов.

Если аккумуляторы разряжены наполовину, то в правом нижнем углу ЖК-индикатора появляется символ .

Если аккумуляторы разряжены почти полностью, в правом нижнем углу ЖК-индикатора появляется символ , который мигает. В этом случае необходимо подключить к прибору блок питания (к разъему на нижней торцевой панели).

При подключении внешнего блока питания на ЖК-индикаторе в правом нижнем углу загорается символ .

4 Порядок выполнения работы

1 Подключите оконцованную с одной стороны пигтэйлом катушку с измеряемым ОВ к источнику оптического излучения (см. рисунок 25).

2 Подключите другой конец измеряемой катушки, оборудованный пигтэйлом, к измерителю оптической мощности (см. рисунок 25).

3 Выполните измерение выходной мощности $P_{\text{вых}}$ на выходе измеряемого ОВ (катушка ОВ) на заданной длине волны (измерения выполняются для двух длин волн 1550 нм и 1310 нм).

3.1 Включите источник излучения и выберите требуемую длину волны излучения (1550 нм или 1310 нм).

3.2 Включите измеритель оптической мощности и выберите ту же длину волны (1550 нм или 1310 нм) нажатием клавиши SET .

3.3 Прогрейте источник и приемник излучения в течение 5–10 мин.

3.4 Запишите показание на дисплее измерителя оптической мощности ($P_{\text{вых}}$, дБ).

4 Рассчитайте затухание ОВ по формуле: $\alpha = (P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}})/L$ (дБ/км), где L – длина измеренного длинного отрезка ОВ (задается преподавателем).

5 Результаты измерений занесите в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты измерений

ОВ	Длина волны, нм	$P_{\text{вх}}$, дБ	$P_{\text{вых}}$, дБ	α , дБ/км	Затухание ОВ по паспорту, дБ/км
1	1550				
	1310				
2	1550				
	1310				
3	1550				
	1310				

6 Полученные значения затухания ОВ сравните с паспортными данными на ОВ (паспорт на ОВ выдается преподавателем). Сделайте выводы о пригодности ОВ к эксплуатации.

7 Повторите измерения по пунктам 1–5 для других образцов ОВ.

8 Соедините отдельные отрезки с помощью вспомогательных оптических шнуров и измерьте затухание полученного оптического тракта.

5 Содержание отчета

1 Структурная схема метода измерения.

2 Таблицы результатов измерения.

3 Выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

1 Каковы причины затухания оптического излучения в ОВ и ОК?

2 Какими методами можно выполнить измерение затухания ОВ?

3 Зарисуйте и поясните ход спектральной характеристики затухания ОВ.

4 Назовите факторы, влияющие на точность измерений затухания методом вносимых потерь.

5 Какие операции включает в себя процесс входного контроля ОК?

6 Каков порядок выполнения измерений затухания методом вносимых потерь?

7 Какие средства измерений могут применяться для реализации метода вносимых потерь?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ТРАКТАХ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

1 Цель работы

Изучить причины затухания в оптическом тракте; произвести измерение затухания в оптических трактах при помощи рефлектометра.

2 Задание к работе

- 1 Изучить инструкцию по технике безопасности.
- 2 Ознакомиться со структурной схемой лабораторной работы.
- 3 Изучить устройство, принцип работы и инструкцию по пользованию рефлектометром.
- 4 Произвести измерения затухания ОВ методом обратного рассеяния.

3 Описание лабораторного макета

На рисунке 27 приведена структурная схема лабораторного макета.

В состав макета входят:

- 1) рефлектометр;
- 2) оптические шнуры;
- 3) оптические адаптеры;
- 4) магазин оптических волокон (МОВ).

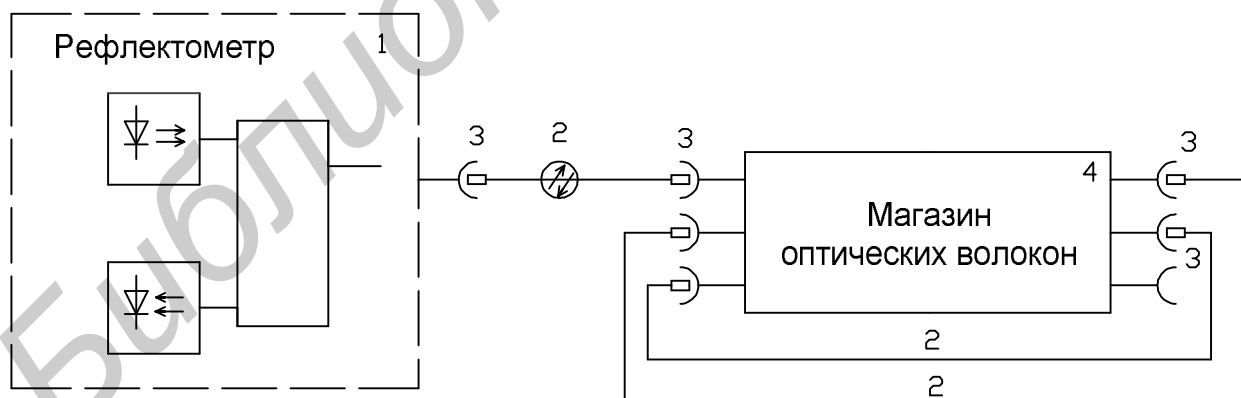


Рисунок 27 – Схема лабораторного макета

4 Устройство и принцип работы рефлектометра

Рефлектометр состоит из базового блока, сменных оптических блоков, ПЭВМ типа notebook, источника питания и соединительных кабелей.

Базовый блок выполнен в прямоугольном металлическом корпусе настольно-переносного типа фирмы «Vorla». Внешний вид рефлектометра показан на рисунке 28.



Рисунок 28 – Внешний вид рефлектометра

В базовом блоке расположены аккумуляторная батарея, импульсный преобразователь напряжения и электронные узлы для управления процессом измерения и накопления информации, а также сменный оптический блок. Сменный оптический блок крепится к корпусу базового блока с помощью винта. Для удобства извлечения сменного оптического блока на его передней панели имеется специальный ключ.

Сменный оптический блок включает в себя оптическое приемное устройство, оптическое передающее устройство и оптический разветвитель. На передней панели сменного оптического блока установлен оптический разъем для подключения измеряемого ОВ.

Принцип работы оптического рефлектометра основан на измерении сигнала обратного рэлеевского рассеяния при прохождении по ОВ мощного одиночного оптического импульса. Слабый сигнал обратного рассеяния регистрируется чувствительным оптическим приемником, преобразуется в цифровую форму и многократно усредняется.

Структурная схема рефлектометра представлена на рисунке 29.

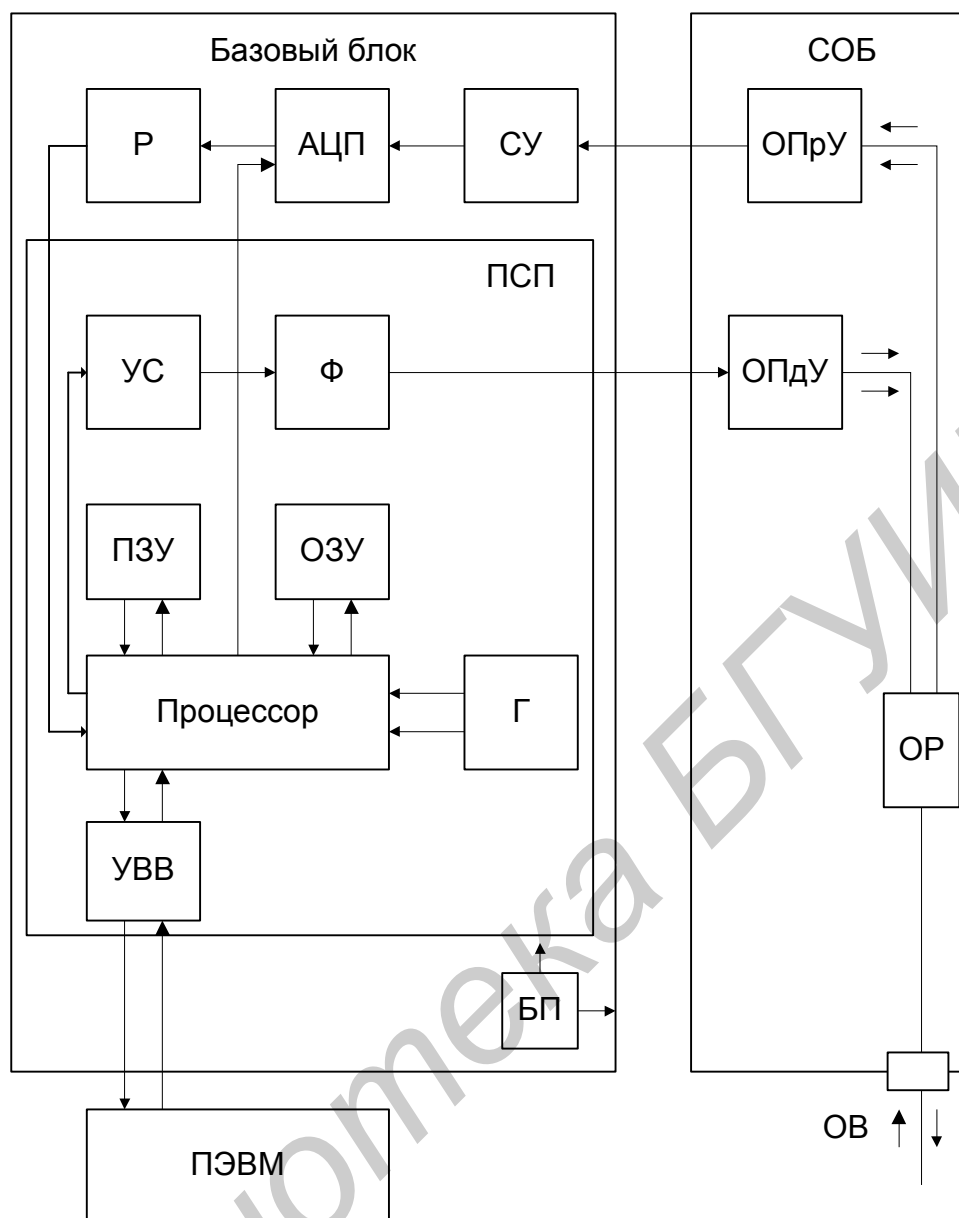


Рисунок 29 – Структурная схема рефлектометра

Рефлектометр содержит:

- регистр P для считывания данных с выхода аналого-цифрового преобразователя и передачи их в процессор;
- аналого-цифровой преобразователь АЦП для преобразования аналогового сигнала с выхода согласующего усилителя в цифровую форму;
- согласующий усилитель СУ для согласования уровней сигналов оптического приемного устройства и АЦП;
- устройство сдвига УС для увеличения пространственного разрешения рефлектометра путем создания дополнительного сдвига лазерного импульса относительно управляющего сигнала процессора;
- формирователь Ф для формирования сигнала запуска оптического передающего устройства;

- оперативное запоминающее устройство ОЗУ для запоминания данных рефлектограммы;
- постоянное запоминающее устройство ПЗУ для хранения программ;
- генератор Г для формирования тактовых сигналов процессора;
- устройство ввода – вывода УВВ для организации связи процессора по последовательному интерфейсу с персональной ЭВМ;
- процессор, вырабатывающий сигналы управления блоками Р, УС, ОЗУ, ПЗУ, УВВ, считывает данные с этих блоков и осуществляет связь рефлектометра с персональной ЭВМ. Блоки УС, Ф, ОЗУ, ПЗУ, Г, УВВ объединены на плате сигнального процессора ПСП;
- сменный оптический блок СОБ, состоящий из оптического передающего устройства ОПДУ, оптического приемного устройства ОПРУ и оптического разветвителя ОР;
- ОПДУ, содержащее мощный лазерный диод, предназначено для генерации оптических импульсов с заданной длительностью. ОПРУ служит для регистрации и усиления рассеянного сигнала. ОР служит для ввода импульсов в исследуемый ОВ и подачи сигнала обратного рассеяния на ОПРУ.

5 Описание работы

Рефлектометр работает следующим образом. В соответствии с командами управляющей программы, находящейся в оперативной памяти ПЭВМ, процессор вырабатывает код для запуска оптических импульсов (с помощью блоков УС, Ф и ОПДУ). При прохождении импульса по ОВ часть его энергии рассеивается назад и поступает на ОПРУ, в котором преобразуется в электрическую форму и усиливается. Длительность сигнала обратного рассеяния на выходе ОПРУ равна двойному времени прохождения света по ОВ. Через согласующий усилитель СУ сигнал обратного рассеяния поступает на вход АЦП и преобразуется в цифровую форму. Работа АЦП синхронизируется процессором. За один период запуска оптических импульсов АЦП считывает 16384 отсчетов измеряемого сигнала. Отсчет, взятый в момент времени t относительно момента запуска оптического импульса, соответствует сигналу, рассеянному от точки ОВ, находящейся на расстоянии

$$z = ct/(2n), \quad (5)$$

где c – скорость света в вакууме;
 n – показатель преломления сердцевины ОВ.

Таким образом, за один период запуска оптического импульса измеряются сигналы, пришедшие от большого числа точек ОВ.

Каждый отсчет, преобразованный АЦП в цифровую форму, запоминается оперативным запоминающим устройством ОЗУ. Для точного измерения сигнала обратного рассеяния осуществляется многократный запуск оптического импульса. При этом процессор усредняет отсчеты, соответствующие одинаковым

точкам ОВ, что приводит к увеличению отношения сигнал – шум. После нескольких таких циклов полученные значения сигнала из ОЗУ передаются в ПЭВМ, запоминаются в ней и отображаются на экране. Затем процесс измерения, усреднения и очищения регистров ОЗУ повторяется вновь. Таким образом измеряется, запоминается и отображается вся рефлектограмма ОВ. Для увеличения точности и динамического диапазона измерения оператор, работающий с рефлектометром, может увеличить число усреднений, установив в режиме измерений с усреднением величину $N_{av} > 1$; эта величина может быть выбрана равной 1, 2, 4, 8...1024. При этом время измерения пропорционально увеличивается.

Измеряя уровень излучения, рефлектометр позволяет получить графическое представление линии, которое вернулось после отправления импульса. Излучение имеет два типа:

1) постоянный низкий уровень, возникающий в волокне, который называется рэлеевским рассеянием;

2) пиковое отражение высокой мощности в точках соединения, которое называется френелевским отражением.

Рэлеевское рассеяние используется для расчета уровня затухания в волокне в виде функции от расстояния (выражается в дБ/км). Это затухание показано прямой наклонной линией на рефлектограмме. Это явление возникает по причине естественного отражения и поглощения излучения на неоднородностях волокна. При попадании в неоднородность происходит перенаправление излучения в различных направлениях, что создает затухание сигнала и обратное рассеяние. Короткие длины волн затухают больше, чем длинные, которые могут распространяться на большие расстояния в стандартном волокне.

Френелевское отражение позволяет обнаружить физические дефекты в линии. Когда свет наталкивается на резкое изменение показателя преломления (например: переход стекло – воздух), большое количество излучения отражается обратно, создавая френелевское отражение, которое может быть в тысячи раз больше рэлеевского рассеяния. Такое отражение отображается пиковым изменением уровня мощности на рефлектограмме линии. Примерами подобных отражений могут послужить коннекторы, механические соединители, оптические розетки, обрывы волокон или открытые коннекторы. На рисунке 30 показаны различные соединения, которые создают френелевские отражения.

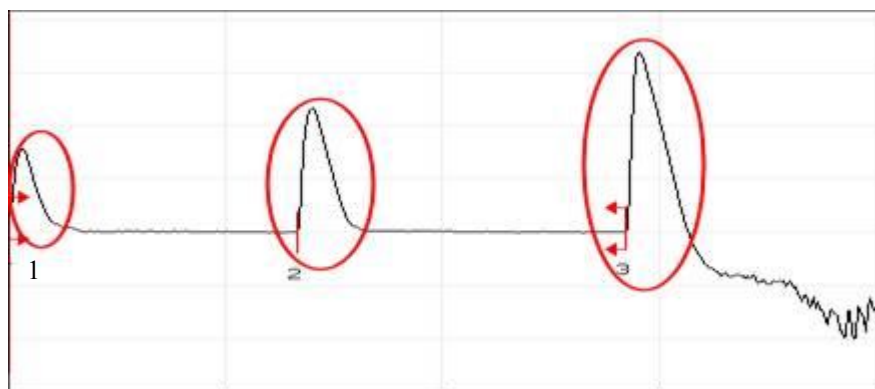


Рисунок 30 – Френелевские отражения, созданные механическим соединителем (1), оптической розеткой (2), открытым коннектором (3)

6 Порядок выполнения работы

1 Подготовка рефлектометра к работе.

На передней панели базового блока находятся выключатель и индикаторный светодиод питания, под которым расположена надпись СЕТЬ. Рядом с ним находятся зеленый индикаторный светодиод ЗР БАТ (заряд аккумуляторной батареи) и красный индикаторный светодиод РР БАТ (разряд аккумуляторной батареи). Справа установлен сменный оптический блок (СОБ).

На задней панели расположены:

- разъем (вилка типа РС4ТВ) =12V – для подключения кабеля питания рефлектометра;
- разъем RS232 – для подключения интерфейсного кабеля для соединения с ПЭВМ;
- крышка БАТ, которая закрывает доступ к аккумуляторной батарее.

Перед началом работы (до включения питания рефлектометра) необходимо соединить рефлектометр с ПЭВМ. Базовый блок соединяется с ПЭВМ интерфейсным кабелем (кабель с вилкой и розеткой на девять контактов), подключаемым на задней панели рефлектометра к разъему RS232, а на стороне ПЭВМ к разъему RS-232 (порт СОМ-1 или СОМ-2 и т. д.).

При питании рефлектометра от сети переменного тока необходимо использовать блок питания БПН 12-1, а от внешнего источника питания 12 В – кабель питания с двумя однополюсными вилками. Питание рефлектометра может осуществляться от встроенной аккумуляторной батареи Panasonic VW-VBF2E (12 В, 2 А/ч).

Измеряемое ОВ присоединяется к рефлектометру через оптический разъем на передней панели сменного оптического блока.

2 Включение рефлектометра.

Рефлектометр включается выключателем питания, расположенным на передней панели базового блока, при этом должен загореться индикаторный светодиод СЕТЬ.

Если аккумуляторная батарея, встроенная в рефлектометр, заряжена не полностью, то при питании рефлектометра от внешнего источника будет происходить ее заряд и гореть индикаторный светодиод ЗР БАТ. После заряда аккумуляторной батареи до номинального напряжения светодиод погаснет.

При питании рефлектометра от встроенной аккумуляторной батареи для индикации ее разряда используется светодиод РР БАТ. После загорания индикаторного светодиода рефлектометр может работать от аккумуляторной батареи **не менее 30 мин**. При ее полном разряде рефлектометр выключится, светодиод СЕТЬ на передней панели погаснет, а светодиод РР БАТ будет продолжать гореть. При включении рефлектометра от полностью разряженной аккумуляторной батареи горит только светодиод РР БАТ. Если рефлектометр с полностью разряженной аккумуляторной батареей включить от внешнего источника питания, то сразу с ним нельзя будет работать. Светодиод СЕТЬ загорится с некоторой задержкой (1–10 мин), пока не произойдет подзаряд аккумуляторной батареи. Только после этого можно работать с рефлектометром.

3 Проведение измерений.

Программное обеспечение для рефлектометра поддерживает работу с операционными системами Microsoft (до Windows XP SP3 включительно). В этом случае можно сразу выполнять процедуру 3.2. Во всех более поздних версиях операционных систем требуется включать виртуальную машину, которая эмулирует работу операционной системы Windows XP. Для этого предварительно необходимо сделать процедуру 3.1 и далее 3.2.

3.1 Порядок включения рефлектометра на виртуальной машине*.

1 Включить рефлектометр.

2 Включить программу Пуск → Все программы → Oracle VM VirtualBox → Oracle VM VirtualBox.


3 Нажать кнопку старт (стрелочка зеленого цвета). Произойдет загрузка виртуальной системы.

4 После загрузки виртуальной системы XP выбрать в нижнем левом углу ярлык ОР-2-2 и активировать данное приложение мышью.

3.2 Следующие действия в программе доступны лишь в том случае, если к ПЭВМ подключен рефлектометр и при загрузке программного обеспечения была проведена успешная инициализация рефлектометра.

* Порядок выключения виртуальной машины такой же, как и в обычной операционной системе.

1 Установка параметров измерения.

2 Перед началом процесса измерений следует установить его параметры. Для этого требуется выбрать пункт меню Измерение → Параметры либо нажать кнопку  на панели кнопок. После этого на экране появится окно, представленное на рисунке 31, в котором необходимо установить численные значения соответствующих параметров.

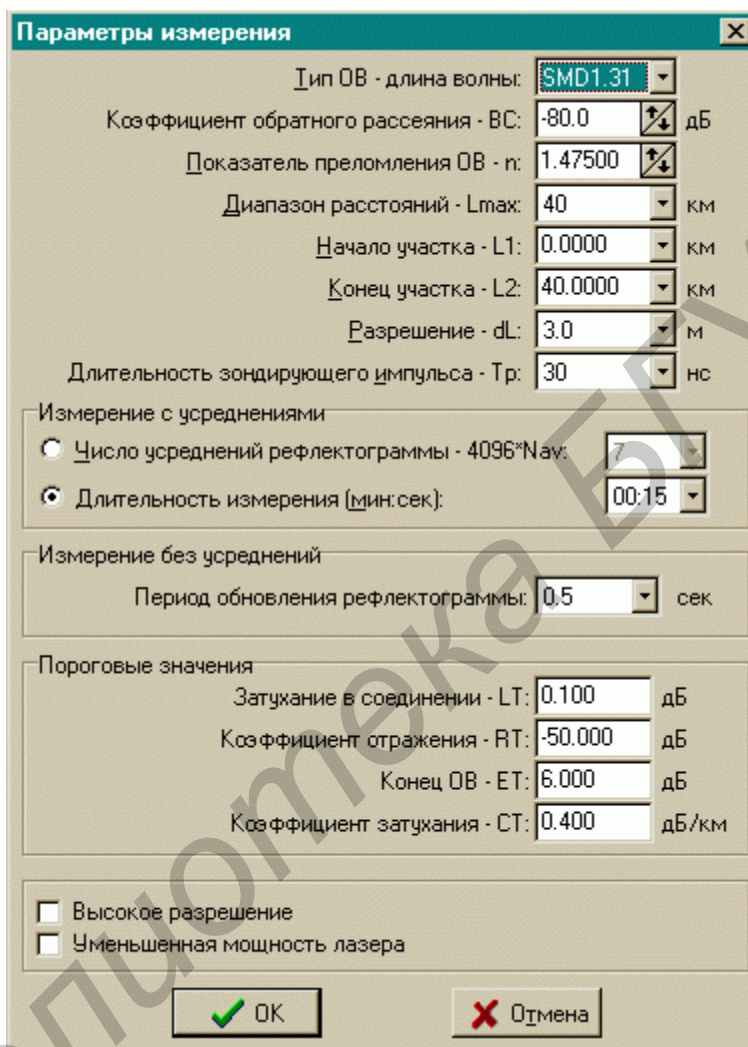


Рисунок 31 – Отображение параметров проводимых измерений

Тип ОВ - длина волны – указывается тип сменного оптического блока (СОБ), установленного в рефлектометре. Определение типа блока производится программой при инициализации рефлектометра и отображается автоматически, при этом для СОБ ММ-0,85 мкм, ММ-1,31 мкм, ОМ-1,31 мкм и ОМ-1,55 мкм эта строка недоступна. Если установлен СОБ на две длины волны, то отображается SMD-1,31 или SMD-1,55 для ОМ СОБ и MMD-0,85 или MMD-1,31 для ММ СОБ, и оператор выбирает в этой строке длину волны.

Коэффициент обратного рассеяния - ВС – доля мощности оптического импульса в дБ, рассеиваемая в ОВ и распространяющаяся к его началу. В программном обеспечении, поставляемом пользователю, установлены следующие значения:

- минус 81 дБ для ОМ ОВ и длины волны 1,55 мкм;
- минус 80 дБ для ОМ ОВ и длины волны 1,31 мкм;
- минус 75 дБ для ММ ОВ и длины волны 1,31 мкм;
- минус 72 дБ для ММ ОВ и длины волны 0,85 мкм.

Коэффициент обратного рассеяния можно изменять с шагом 0,1 дБ.

Показатель преломления ОВ - n – значение показателя преломления ОВ; изменяется с шагом 0,00001. В программном обеспечении, поставляемом пользователю, установлены следующие значения:

- 1,4682 для ОМ ОВ и длины волны 1,55 мкм;
- 1,4675 для ОМ ОВ и длины волны 1,31 мкм;
- 1,486 для ММ ОВ и длины волны 1,31 мкм;
- 1,490 для ММ ОВ и длины волны 0,85 мкм.

Диапазон расстояний - L_{\max} – максимальное значение длины измеряемых расстояний, может принимать значения: 2, 5, 10, 20, 40, 80, 120, 160 и 240 км. Устанавливается оператором. Значение L_{\max} должно превышать возможную длину измеряемой линии. Параметр L_{\max} определяет период запуска зондирующих импульсов, который должен быть больше, чем двойное время прохождения оптического импульса по ОВ.

Начало участка - $L1$ – расстояние от начала ОВ до начала измеряемого участка; может принимать любые значения в пределах от 0 до L_{\max} .

Конец участка - $L2$ – расстояние от начала ОВ до конца измеряемого участка; может принимать любые значения в пределах от $L1$ до L_{\max} .

Разрешение - dL – расстояние между двумя отсчетами (интервал дискретизации) рефлектометра.

Длительность зондирующего импульса - Tp – значение длительности зондирующего импульса; может принимать значения 10, 30, 90, 300, 1000, 3000, 10000, 20000 нс. Диапазон допустимых значений длительности оптических импульсов зависит от выбранного значения L_{\max} и автоматически ограничивается управляющей программой.

Измерение с усреднениями

Число усреднений рефлектограммы $4096 \times Nav$ – определяет общее число усреднений рефлектограммы в памяти ПЭВМ в режиме работы с усреднением. Вводимое значение Nav может принимать значения 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024.

Длительность измерений (мин:с) – задает длительность процесса измерений с усреднением.

Если в режиме измерений с усреднением оператор задает число усреднений рефлектограммы, то при этом автоматически высвечивается примерная длительность процесса измерений. Если оператор задает длительность процесса измерений, то автоматически определяется, какому количеству усреднений рефлектограммы это соответствует.

Измерение без усреднений

Период обновления рефлектограммы – определяет период обновления отображения рефлектограммы на экране при измерениях в режиме реального времени; принимает значения 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 с.

Пороговые значения

Затухание в соединении - LT – пороговое значение затухания в неоднородности, дБ. Неоднородности, затухание в которых превышает заданное пороговое значение, отображаются в таблице отметок при автоматическом анализе рефлектограммы. В программном обеспечении, поставляемом пользователю, установлено значение 0,1 дБ для одномодовых сменных оптических блоков и значение 0,2 дБ для многомодовых.

Коэффициент отражения - RT – пороговое значение коэффициента отражения, дБ. Неоднородности с коэффициентом отражения выше этого порогового значения отображаются в таблице отметок при автоматическом анализе рефлектограммы. В программном обеспечении, поставляемом пользователю, установлено значение минус 50 дБ.

Конец ОВ - ET – пороговое значение затухания, дБ, для определения конца ОВ. Первая неоднородность с затуханием, превышающим пороговое значение, определяется при автоматическом анализе рефлектограммы как конец ОВ, все последующие неоднородности игнорируются. В программном обеспечении, поставляемом пользователю, установлено значение 6 дБ.

Коэффициент затухания - ST – пороговое значение коэффициента затухания участка, дБ/км. Превышение порогового значения коэффициента затухания отмечается звездочкой в таблице отметок. В программном обеспечении, поставляемом пользователю, установлены следующие значения:

- 0,25 дБ/км для ОМ ОВ и длины волны 1,55 мкм;
- 0,4 дБ/км для ОМ ОВ и длины волны 1,31 мкм;
- 1,0 дБ/км для ММ ОВ и длины волны 1,31 мкм;
- 3,0 дБ/км для ММ ОВ и длины волны 0,85 мкм.

Высокое разрешение – в этом режиме увеличена полоса пропускания оптического приемника, что дает возможность уменьшить мертвую зону и лучше различать близко лежащие неоднородности. Однако в этом режиме увеличиваются шумы оптического приемника.

Уменьшенная мощность лазера – включается режим измерения рефлектограммы с уменьшенной мощностью излучения лазера. Такой режим целесообразен для измерения больших коэффициентов отражения от неоднородностей.

Значения параметров измерений, устанавливаемые оператором, зависят от предполагаемых параметров ОВ (линии): длины и среднего затухания. При измерении этих характеристик с помощью оптического рефлектометра предельная величина измеряемого полного затухания увеличивается пропорционально длительности оптического импульса (и соответственно его энергии), но одновременно ухудшается пространственное разрешение рефлектометра,

так как пространственная длина оптического импульса связана с его длительностью соотношением

$$L_p = c \frac{T_p}{2n}, \quad (6)$$

где c – скорость света в вакууме.

Например, длительности импульса $T_p = 300$ нс соответствует величина $L_p \approx 30$ м. Это значит, что практически невозможно различить две неотражающие неоднородности (типа сварного соединения ОВ), расстояние между которыми меньше L_p . С другой стороны, повысить динамический диапазон рефлектометра можно за счет увеличения числа усреднений, задаваемого параметром Nav (на 0,75 дБ при увеличении Nav в два раза), но при этом возрастает время измерения.

Величина L_{max} , устанавливаемая перед началом измерения, должна превышать длину измеряемой линии. Если длина линии близка к какому-либо значению L_{max} (превышает $2/3 \times L_{max}$), то наличие в сигнале обратного рассеяния мощного импульса, отраженного от дальнего конца ОВ, может приводить к небольшим искажениям затухания дальних участков линии или появлению на гладком участке рефлектограммы ложных отраженных импульсов. Во избежание этого рекомендуется выбирать значение L_{max} не менее удвоенной длины линии.


3 Подключите рефлектометр к магазину волоконных световодов.

4 Произвести измерение длины волокна.

При измерении расстояния до неоднородности маркер устанавливается на ее левый край, и расстояние определяется по соответствующей строке таблицы информационной панели.

Для более точного измерения расстояния рекомендуется растянуть рефлектограмму по горизонтали и вертикали.

Как следует из формул (5) и (6), точность определения расстояния по рефлектограмме зависит, в частности, от правильности установки значения показателя преломления ОВ. Если оно неизвестно, а известна точно длина измеряемого ОВ, то можно установить любой маркер на конец ОВ и осуществить корректировку показателя преломления так, чтобы длина ОВ, измеренная по рефлектограмме, совпадала с известной.

Для корректировки значения показателя преломления ОВ необходимо выбрать пункт меню Режим → Показатель преломления, или нажать кнопку , или клавишу N.

После этого на экране появится окно (рисунок 32), в котором указываются положения маркеров и предоставляется возможность изменить значение показателя преломления. При изменении показателя преломления происходит перерасчет положения маркеров. Нажатие кнопки ОК фиксирует новый показатель преломления ОВ для текущей рефлектограммы, нажатие кнопки Отмена или клавиши ESC возвращает его исходное значение.

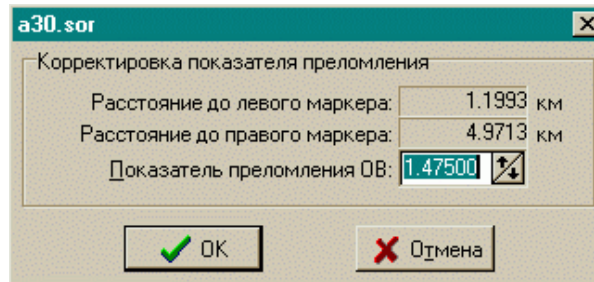



Рисунок 32 – Отображение параметров проводимых измерений

4 Произвести измерение затухания по двум точкам.

При измерении затухания по двум точкам или для возвращения в этот режим измерений из какого-либо другого режима (см. ниже) необходимо выбрать пункт меню Режим → Измерение затухания по двум точкам, или нажать кнопку , или нажать клавишу P.

Для измерения затухания какого-либо участка ОВ и его длины следует установить маркеры на концах этого участка и прочесть его характеристики в верхней таблице информационной панели (рисунок 33): протяженность участка LB-LA, км; затухание между точками пересечения маркеров с рефлектограммой, дБ; величину коэффициента затухания, дБ/км.

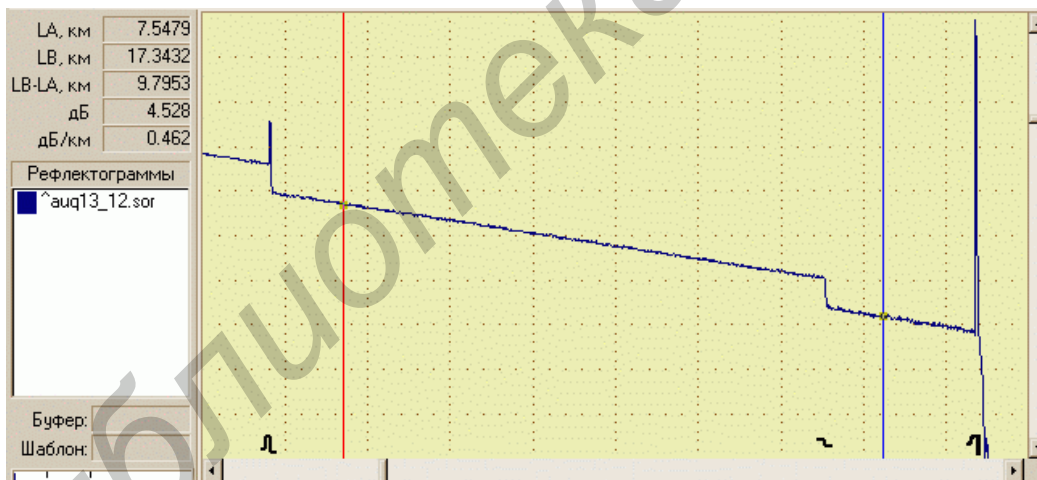


Рисунок 33 – Диаграмма измерения затухания световода по двум точкам


При измерении затухания всего ОВ левый маркер должен быть установлен за пределами мертвой зоны.

5 Присоединить к первому волокну магазина ОВ второе и повторить измерение затухания по пункту 4.

6 Осуществить полное соединение всех волокон, входящих в магазин ОВ, и произвести измерения полного затухания МОВ.

7 Произвести измерение затухания в соединении ОВ.

Программа позволяет определить затухание в соединении ОВ методом пяти маркеров (рисунок 34).

Для этого следует установить маркеры вблизи места соединения так, чтобы оно оказалось между ними, выбрать пункт меню Режим → Затухание в соединении ОВ, или нажать кнопку , или клавишу S. При этом участки некоторой длины левее левого и правее правого маркеров аппроксимируются прямыми линиями, и тогда рассчитывается затухание в соединении. Место соединения отмечается вертикальным маркером-столбиком, а участки аппроксимации – жирными линиями. Все пять маркеров могут перемещаться независимо друг от друга.

Участки аппроксимации должны по возможности иметь максимальную длину и быть однородными. Вертикальный маркер-столбик следует установить на левый край участка соединения.

Результат измерения отображается в четвертой и пятой строках таблицы информационной панели: Spl, дБ – затухание в соединении; Spl, км – расстояние от начала ОВ до места соединения (до центрального маркера-столбика).

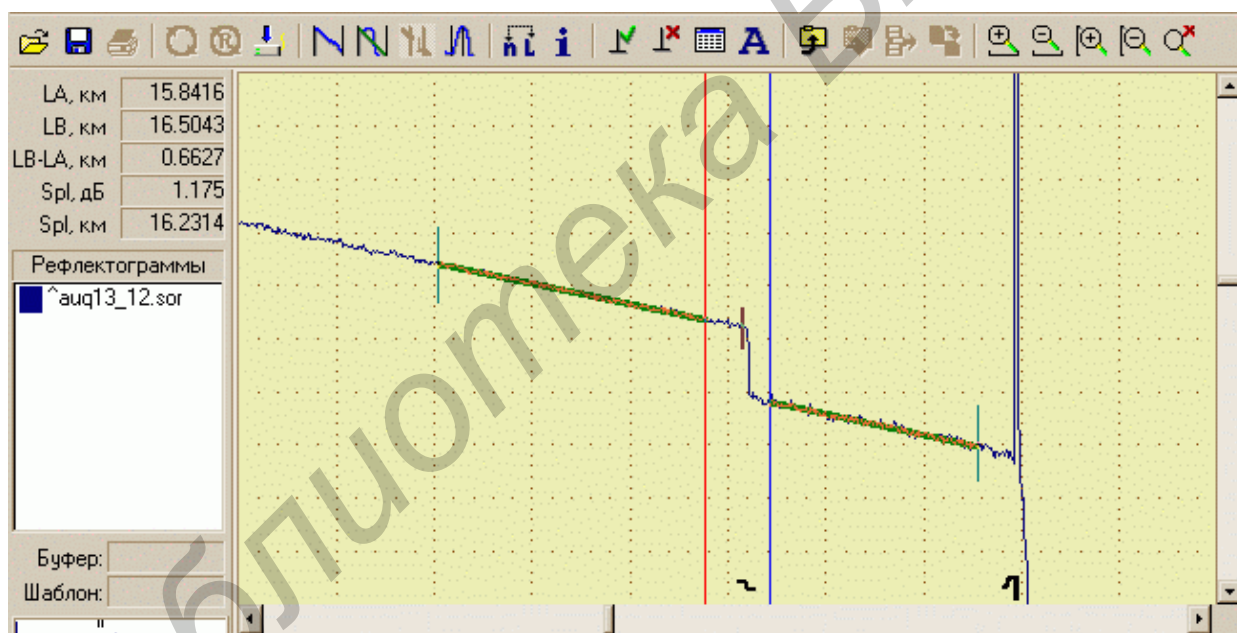


Рисунок 34 – Диаграмма измерения затухания в соединении ОВ

8 Произвести измерение коэффициента отражения.


Для измерения коэффициента отражения от разъёмного соединения двух ОВ или от конца ОВ следует правый маркер установить на вершину отраженного импульса, а левый – на участок рефлектограммы непосредственно перед ним (рисунок 35). Затем следует нажать кнопку , или клавишу R, или выбрать пункт меню Режим → Коэффициент отражения. Результат измерения отображается в четвертой и пятой строках таблицы информационной панели: R, дБ – коэффициент отражения; R, км – расстояние от начала ОВ до левого маркера.



Рисунок 35 – Диаграмма измерения коэффициента отражения

7 Содержание отчета

- 1 Схема лабораторного макета и рефлектометра.
- 2 Результаты измерений и рефлектограммы.
- 3 Выводы по работе.

8 Контрольные вопросы

- 1 Каковы причины затухания оптического излучения в ОВ и ОК?
- 2 Какими методами можно выполнить измерение затухания ОВ?
- 3 Зарисуйте и поясните ход спектральной характеристики затухания ОВ.
- 4 Назовите основные типы отражения, используемые в рефлектометрах.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ В РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

1 Цель работы

- 1 Изучение методов измерения затухания в разъемных соединениях оптических волокон.
- 2 Изучение факторов, влияющих на затухание при соединении оптических волокон.
- 3 Экспериментальное исследование затухания в разъемных соединениях оптических волокон.

2 Задание к лабораторной работе

- 1 Изучить инструкцию по ТБ.
- 2 Ознакомиться с основными характеристиками соединителей.
- 3 Изучить схему лабораторного макета, ознакомиться с правилами эксплуатации приборов.
- 4 Экспериментально исследовать:
 - зависимость затухания в разъемных соединениях от поперечного продольного и углового смещения соединяемых волокон;
 - рассчитать зависимость затухания в соединителях от поперечного продольного и углового смещения и сравнить с экспериментальными характеристиками.

3 Описание лабораторного макета

На рисунке 36 приведена схема лабораторного макета.

В состав макета входят:

- 1) источник излучения;
- 2) оптический шнур;
- 3) координатный стол, на котором закреплено разъемное соединение двух оптических шнуров;
- 4) регистратор.

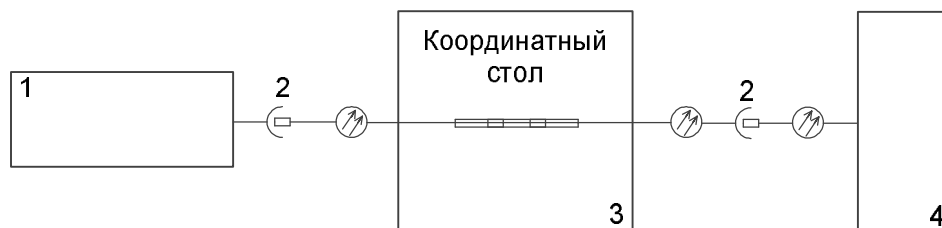


Рисунок 36 – Схема лабораторного макета

Координатный стол обеспечивает поперечное, продольное и угловое смещение в разъемном соединении, а также возможность измерения этих перемещений. В качестве координатного стола используется инструментальный микроскоп ИМЦЛ 100×50 (описание микроскопа приведено в разделе 2).

4 Измеритель оптической мощности

В качестве источника излучения и измерения мощности в лабораторном макете используется тестер ОТ-2-5.

Тестер состоит из двух приборов:

- источника оптического излучения ОТ-2-5/ИИ с высокой стабильностью;
- измерителя оптической мощности ОТ-2-5/ИИ, позволяющего с высокой точностью произвести измерения оптической мощности и затухания в волоконно-оптических трактах.

ОТ имеет удобный интерфейс и широкий набор сервисных функций. Подробно описание тестера приведено в лабораторной работе №1.

5 Порядок выполнения лабораторной работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по пользованию приборами.
- 2 Включить приборы и лабораторный макет. Произвести проверку работы измерительного устройства, для чего необходимо соединить передающее и приемное устройства отрезком волокна длиной 1–3 м и убедиться, что оптическая мощность соответствует заданному уровню (приблизительно 1 мВт).
- 3 Исследовать зависимость затухания в соединениях.
 - 3.1 Ввести оптическое излучение в оптический шнур.
 - 3.2 Второй отрезок волокна соединить с приемным устройством.
 - 3.3 Используя микроскоп, добиться соосности волокна и чтобы угол между осями был равен 0.
 - 3.4 Изменяя расстояние между торцами волокна (начиная с 0), снять зависимость от продольного сдвига волокон. Построить зависимость затухания от продольного сдвига. Измерения расстояния между торцами разъемных соединений производить в соответствии с пунктом 2.3.2 (см. с. 29).
 - 3.5 Максимально сблизить волокна, изменяя расстояние между осями волокон в поперечном направлении, измеряя при этом величину затухания. Измерение поперечного смещения производить в соответствии с пунктом 2.3.2 (см. с. 29). Построить график зависимости затухания от поперечного сдвига.
 - 3.6 Изменяя угол между осями волокон, измерить зависимость затухания в соединителях от переноса волокон. Измерение углового рассогласования производится в соответствии с пунктом 2.3.5 (см. с. 33). Построить график зависимости.
 - 3.7 Установить волокна таким образом, чтобы затухание в месте соединения было минимальным, измерить затухание оптического волокна с соединителем.

6 Содержание отчета

- 1 Структурные схемы методов измерения.
- 2 Таблицы результатов измерений.
- 3 Графики экспериментальных зависимостей.
- 4 Графики расчетов.
- 5 Выводы по работе.

Основные данные для расчетов:

- 1) показатель преломления сердцевины ОВ $n_1 = 1,47$;
- 2) числовая апертура ОВ, $NA = 0,2$.

7 Контрольные вопросы

- 1 Опишите механизм затухания оптического сигнала в разъемных соединениях ОВ.
- 2 Поясните факторы, влияющие на затухания в соединительных ОВ.
- 3 Какие вы знаете методы измерения затухания в соединителях?
- 4 В чем состоит суть метода обратного рассеяния? Укажите его достоинства и недостатки.
- 5 Опишите метод сравнения, его достоинства и недостатки при измерении затухания в соединителях.
- 6 Почему точность измерения затухания зависит от условий ввода излучения в волокно?
- 7 Назовите факторы, влияющие на потери в соединителях, дайте их критический анализ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

1 Цель работы

- 1 Изучение методов измерения геометрических размеров оптических элементов инструментальным микроскопом ИМЦЛ 100×50, А.
- 2 Экспериментальные измерения геометрических параметров оптического элемента.

2 Задание к работе

- 1 Изучить инструкцию по технике безопасности.
- 2 Ознакомиться с принципом измерения малых геометрических размеров.
- 3 Изучить схему лабораторной установки, ознакомиться с возможностью и правилами эксплуатации инструментального микроскопа.
- 4 Провести измерение геометрических размеров детали, представленной преподавателем.

3 Описание лабораторного макета

Макет лабораторной работы реализован на базе инструментального микроскопа ИМЦЛ 100×50, А. Описание его технических возможностей приведено в разделе 2.

4 Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по пользованию инструментальным микроскопом ИМЦЛ 100×50, А.
- 2 Включить приборы, входящие в лабораторный макет. Провести проверку измерительного устройства УОС.
- 3 Закрепить измеряемую деталь на координатном столике инструментального микроскопа.
- 4 Измерить внешние геометрические размеры детали в соответствии с пунктом 2.3.2 (см. с. 29).
- 5 Измерить расстояние между точкой и прямой в соответствии с пунктом 2.3.4 (см. с. 32).
- 6 Измерить угол между двумя прямыми в соответствии с пунктом 2.3.5 (см. с. 33).
- 7 Измерить диаметр и координаты центра окружности. Измерение проводить в соответствии с пунктом 2.3.6 (см. с. 34).

8 Измерить расстояние между центрами двух окружностей и провести усреднение результатов для повышения точности измерения в соответствии с пунктом 2.3.7 (см. с. 35).

5 Содержание отчета

- 1 Рисунки измерений.
- 2 Таблицы результатов измерений.
- 3 Выводы по работе.

6 Контрольные вопросы

- 1 Опишите технические параметры инструментального микроскопа ИМЦП 100×50, А.
- 2 Какова точность измерения ИМЦП 100×50, А?
- 3 Назовите виды приводимых измерений на ИМЦП 100×50, А.
- 4 Поясните методику измерения геометрических размеров детали.
- 5 Поясните методику измерения углов.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АЦП	– аналого-цифровой преобразователь
ВОЛП	– волоконно-оптическая линия передач
ВОЛС	– волоконно-оптическая линия связи
Г	– генератор
КИП	– контрольно-измерительный прибор
ЛФД	– лавинный фотодиод
МОР	– метод обратного рассеяния
МЭК	– международная электротехническая комиссия
НО	– направленный ответитель
ОВ	– оптическое волокно
ОЗУ	– оперативное запоминающее устройство
ОР	– оптический разветвитель
ОРС	– оптическое разъемное соединение
ПЗУ	– постоянное запоминающее устройство
ПЛФ	– преобразователь линейных перемещений (фотодетектор)
ПОМ	– передающий оптический модуль
ПрОМ	– приемный оптический модуль
Р	– регистр
СУ	– согласующий усилитель
УВВ	– устройство ввода – вывода
УО	– устройство отображения
УОС	– устройство обработки сигнала
УС	– устройство сдвига
УЦО	– устройство цифровой обработки
Ф	– формирователь
ADZ	– attenuation dead zone – мертвая зона по затуханию
EDZ	– event dead zone – мертвая зона по событию
FWHM	– full-width at half-maximum – ширина всплеска по половинному уровню
MM	– multi mode – многомодовое
NDSF	– no dispersion shifted fiber – волокно с несмещенной дисперсией
OTDR	– optical time domain reflectometer – оптический импульсный рефлектометр
SF	– standard fiber – стандартное волокно
SM	– single mode – одномодовое
SSMF	– standard single mode fiber – стандартное одномодовое волокно

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Волоконно-оптическая техника. Современное состояние и новые перспективы / под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова. – М. : Техносфера, 2010. – 608 с.
- 2 Направляющие системы электросвязи : учебник для вузов. В 2 т. Т. 1 : Теория передачи и влияния / В. А. Андреев, Э. Л. Портнов, Л. Н. Кочановский ; под ред. В. А. Андреева. – М. : Горячая линия – Телеком, 2011. – 424 с.
- 3 Гроднев, И. И. Волоконно-оптические линии связи / И. И. Гроднев. – М. : Радио и связь, 1990. – 224 с.
- 4 Иоргачев, Д. В. Волоконно-оптические кабели и линии связи / Д. В. Иоргачев, О. В. Бондаренко. – М. : Эко-Трендз, 2002. – 238 с.
- 5 Технология строительства ВОЛП. Оптические кабели и волокна / В. А. Андреев [и др.]. – Самара : «СРТТЦ ПГУТИ», 2011. – 370 с.
- 6 ГОСТ 26814–86. Кабели оптические. Методы измерения параметров. – Введ. 1987-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1986.
- 7 Дмитриев, А. Л. Оптические системы передачи информации : учеб. пособие / А. Л. Дмитриев. – СПб. : СПбГИТМО, 2007. – 96 с.
- 8 Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – М. : Техносфера, 2004. – 496 с.
- 9 Рекомендация МЭК 60793-1-40 (2001). Волокна оптические. Часть 1-40. Методы измерений и методики испытаний. Затухание.
- 10 Иванов, А. В. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А. В. Иванов. – М. : Сайрус систем, 1999. – 664 с.
- 11 Дмитриев, А. Л. Оптические системы передачи информации : учеб. пособие / А. Л. Дмитриев. – СПб. : СПбГИТМО, 2007. – 96 с.
- 12 Алишев, Я. В. Многоканальные системы передачи оптического диапазона / Я. В. Алишев. – Минск : Выш. шк., 1986. – 238 с.

Учебное издание

Бунас Виталий Юрьевич
Тарченко Надежда Владимировна
Урядов Владимир Николаевич

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ТРАКТОВ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Е. С. Чайковская*
Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *Е. Г. Бабичева*

Подписано в печать 15.10.2013. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,19. Уч.-изд. л. 4,2. Тираж 60 экз. Заказ 95.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровка, 6