

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

М.С. Былина, С.Ф. Глаголев

**Методические указания
к лабораторным работам по
дисциплине
«Метрология в оптических
телекоммуникационных системах»**



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2007

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
»САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

М.С. Былина, С.Ф. Глаголев

**Методические указания
к лабораторным работам по
дисциплине
«Метрология в оптических
телекоммуникационных системах»**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2007

УДК 006.9(076.5)
ББК Ж10я73
Б95

Рецензент
доцент кафедры Оптической и квантовой радиофизики
Б.К. Чернов

Былина М.С.
Б95 Методические указания к лабораторным работам по «Метрологии в оптических телекоммуникационных системах» / М.С. Былина, С.Ф. Глаголев; ГОУВПО СПбГУТ. – СПб, 2007.

В данном учебном пособии приведены методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Метрология в оптических телекоммуникационных системах». Все лабораторные работы могут выполняться фронтальным методом.

Пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности 210401 – «Физика и техника оптической связи».

Ответственный редактор к.т.н. С.Ф. Глаголев

УДК 006.9(076.5)
ББК Ж10я73

© Былина М.С., Глаголев С.Ф. 2007
© Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», 2007

Введение

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Метрология в оптических телекоммуникационных системах» для студентов, обучающихся по специальности 210401 «Физика и техника оптической связи». Они содержат описания 4 лабораторных работ.

Все работы представляют собой виртуальные лабораторные установки и должны проводиться в компьютерном классе, в котором должно быть установлено соответствующее программное обеспечение.

Первая работа посвящена изучению методов измерения затухания и дисперсии в многомодовых оптических волокнах.

Вторая работа посвящена изучению методов измерения вносимого затухания оптических волокон с помощью комплекта из источника и приемника излучения и оптического аттенюатора.

Третья работа посвящена изучению особенностей метода обратного рассеяния и получению практических навыков в работе с оптическим рефлектометром.

Четвертая работа посвящена изучению методов измерения потерь в разъёмных и неразъёмных соединениях оптических волокон в проходящем и рассеянном свете.

В разработке программного обеспечения для этого лабораторного практикума помимо авторов принимали участие А.Р. Былин, Т.С. Васильева, С.И. Шмелев.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«Исследование прохождения световых импульсов по многомодовым волоконным световодам»

Цель работы:

Изучение процессов распространения оптических импульсов по многомодовым волоконным световодам (ВС) с усеченным степенным профилем, методов измерения параметров ВС - затухания и дисперсии, источников погрешностей, включая инструментальные и методические погрешности, способов их компенсации.

Подготовка к работе:

При подготовке к работе должны быть изучены следующие разделы учебника по курсу Линий связи (Гроднев И. И., Верник С. М. Линии связи. Учебник для вузов.- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 1988.- 544 с.: ил.)

- Волоконные световоды и принцип их действия (разд. 5.23)
- Лучевая теория передачи по световодам (разд. 5.24)
- Волновая теория передачи по световодам (разд. 5.25)
- Затухание световодов (разд. 5.26)
- Дисперсия и пропускная способность световодов (разд. 5.27).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В лабораторной работе используются многомодовые волоконные световоды с усеченным степенным профилем, т. е. профилем, изменения которого описываются следующими выражениями:

$$n^2(r) = \begin{cases} n_1^2(r) = n_{10}^2 \left[1 - 2 \cdot \Delta \cdot \left(\frac{r}{a} \right)^q \right] & \text{при } 0 < r < a \\ n_2^2 = n_{10}^2 (1 - 2 \cdot \Delta) & \text{при } r > a \end{cases} \quad (1.1)$$

где r - расстояние от оси ВС, мкм; a - радиус сердцевины ВС, мкм; n_{10} , n_2 - показатели преломления на оси ВС (при $r = 0$) и в оболочке (при $r > a$), соответственно; q - показатель степенного профиля, который обычно близок к величине 2; Δ - относительная разность показателей преломления ВС, которую можно рассчитать по выражению:

$$\Delta = \frac{n_{10}^2 - n_2^2}{2 \cdot n_{10}^2} \quad (1.2)$$

В кабелях связи обычно используют так называемые слабонаправляющие ВС, для которых $\Delta \ll 1$.

В лабораторной работе в качестве оболочки ВС используется чистый кварц SiO_2 . Требуемая величина n_1 достигается легированием материала сердечника. В качестве легирующих добавок используется GeO_2 .

Процессы распространения оптических импульсов по многомодовым ВС рассмотрим на основе геометрической оптики, в которой основным является по-

нение светового луча. В многомодовых ВС могут распространяться два типа лучей:

меридиональные, которые распространяются в плоскостях, проходящих через ось ВС z ;

косые, которые не лежат в этих плоскостях.

В общем случае лучи в градиентных многомодовых ВС распространяются по спиралевидным траекториям. Различные типы лучей (мод) можно характеризовать **лучевыми инвариантами** B и E , которые представляют собой постоянные для данного луча скалярные величины, однозначно определяющие его направление в любой точке траектории.

Лучевые инварианты определяются следующим образом:

$$B = n(r) \cdot \cos \theta_z(r) \quad (1.3)$$

$$E = n(r) \cdot \sin \theta_z(r) \cdot \cos \theta_f(r) \quad (1.4)$$

В этих формулах: $\theta_z(r)$ - угол наклона луча по отношению к оси z ВС; $\theta_f(r)$ - угол между направлением проекции траектории луча и азимутальным направлением. Для меридиональных лучей $\theta_f(r) = \pi / 2$ и $E = 0$.

Эффективность ввода излучения в ВС принято характеризовать **числовой апертурой** $NA = n_0 \sin \theta_0$, которая определяет максимальный угол θ_0 между осью z и направляемым лучом, падающим на торец ВС из среды с показателем преломления n_0 . У градиентных многомодовых ВС числовая апертура зависит от r . Ее называют **локальной числовой апертурой**:

$$NA(r) = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2(r) - n_2^2}, \text{ при } 0 < r < a. \quad (1.5)$$

В соответствии с волновой оптикой в ВС может распространяться на большее расстояние только определенное конечное количество типов направляемых волн (мод). Для направляемых лучей величина инварианта B должна удовлетворять следующему условию:

$$n_2(\lambda) < B < n_{10}(\lambda). \quad (1.6)$$

Важным параметром ВС является нормированная частота:

$$V = 2\pi \cdot \frac{a}{\lambda} \cdot \sqrt{n_{10}^2 - n_2^2} \quad (1.7)$$

где λ - длина волны используемого источника излучения в вакууме. Нормированная частота определяет общее количество направляемых мод (лучей) в градиентном многомодовом ВС:

$$M = INT \left(\frac{V^2}{2} \frac{q}{q+2} \right), \quad (1.8)$$

где $INT(x)$ - означает целую часть x .

Различные лучи (моды) распространяются вдоль оси z многомодового ВС с различными скоростями, что приводит к межмодовой дисперсии Δt_m , т. е. к уширению оптических импульсов при прохождении многомодового ВС единичной длины. Известно, что удельное время t распространения луча на единичное рас-

стояние в ВС с усеченным степенным профилем зависит только от лучевого инварианта B и от параметра p внеосевой дисперсии материала сердцевины ВС:

$$t(B) = \frac{1}{c} \cdot \frac{n_{10g}}{q+2} \left[(p+q) \frac{n_{10}}{B} + (2-p) \frac{B}{n_{10}} \right], \quad (1.9)$$

где

$c = 3 \cdot 10^5$ км/с - скорость света в вакууме, p - параметр внеосевой дисперсии материала сердцевины ВС, который можно рассчитать по выражению:

$$p(\lambda) = \frac{n_{10}(\lambda)}{n_{10g}(\lambda)} \cdot \frac{\lambda}{\Delta(\lambda)} \cdot \frac{d\Delta(\lambda)}{d\lambda}, \quad (1.10)$$

n_{10g} - групповой показатель преломления на оси ВС¹:

$$n_{10g}(\lambda) = n_{10}(\lambda) - \lambda \frac{dn_{10}(\lambda)}{d\lambda}. \quad (1.11)$$

Обратите внимание, что длина волны λ в (1.10) и (1.11) подставляется в мкм.

С параметром n_{10g} связано понятие групповой скорости:

$$V_g = c/n_{10g} \quad (1.12)$$

Минимальное удельное время распространения на единичное расстояние равно:

$$t(B_m) = \frac{1}{c} \cdot \frac{2n_{10g}}{q+2} \sqrt{(p+q)(2-p)} \quad (1.13)$$

для луча с инвариантом:

$$B_m = n_{10} \sqrt{\frac{q+p}{2-p}}. \quad (1.14)$$

Если рассчитанное значение B_m не удовлетворяет условию направляемых лучей (1.6), то и расчет минимального удельного времени распространения не имеет смысла. В зависимости от величин q и p максимальное удельное время распространения будет для лучей с инвариантами $B = n_1$ или n_2 .

В качестве оценки межмодовой дисперсии Δt_m принимается разность максимального и минимального удельных времен распространения из трех значений $t(n_1)$, $t(n_2)$ и $t(B_m)$:

$$\Delta t_m = t_{\max} - t_{\min}. \quad (1.15)$$

Величина $t(B_m)$ учитывается, только если B_m лежит в диапазоне направляемых лучей.

Полученное значение Δt_m необходимо сравнить с величиной межмодовой дисперсии $\Delta t_{m \text{ опт}}$ для градиентного ВС с оптимальным показателем $q_{\text{опт}}$ степенного профиля

$$q_{\text{опт}} = 2 \cdot (1-p) - \Delta \cdot (2-p), \quad (1.16)$$

$$\Delta t_{m \text{ опт}} = \frac{n_{10g}}{c} \cdot \frac{\Delta^2}{8}. \quad (1.17)$$

¹ С этим параметром связано понятие групповой скорости..

Хроматической дисперсией в градиентных многомодовых ВС можно пренебречь по сравнению с межмодовой дисперсией.

Коэффициент затухания α ВС складывается из собственного затухания α_c и дополнительного α_d , возникающего в процессе производства оптического волокна, при изготовлении оптического кабеля из оптического волокна, а также при прокладке кабеля и монтаже регенерационных участков волоконно-оптической линии связи (ВОЛС).

Собственные потери α_c включают остаточные потери за счет резонансного поглощения кварца в инфракрасной $\alpha_{ик}$ и ультрафиолетовой $\alpha_{уф}$ областях спектра, потери на релеевское рассеяние $\alpha_{рр}$, а также потери за счет резонансного поглощения $\alpha_{рп}$ в различных примесях (OH^- , Fe^{2+} , Cu^{2+} , C_2^{3+}).

Потери на резонансное поглощение трудно поддаются расчету и могут быть приняты равными:

$$\begin{aligned}\alpha_{рп} &= 0.1 \text{ дБ/км} & \text{для } \lambda &= 0.85 \text{ мкм;} \\ \alpha_{рп} &= 0.05 \text{ дБ/км} & \text{для } \lambda &= 1.3 \text{ мкм.}\end{aligned}\quad (1.18)$$

Для расчета $\alpha_{ик}$, $\alpha_{уф}$ и $\alpha_{рр}$ в кварцевых ВС на заданной длине волны λ можно использовать следующие выражения, дБ /км:

$$\alpha_{ик} = 7.81 \cdot 10^{11} \cdot \exp\left(-\frac{48.5}{\lambda}\right), \quad (1.19)$$

$$\alpha_{уф} = 2.55 \cdot 10^{-3} \cdot \exp\left(\frac{4.63}{\lambda}\right), \quad (1.20)$$

$$\alpha_{рр} = \frac{0.8}{\lambda^4}. \quad (1.21)$$

В выражениях (1.19-1.21) коэффициенты затухания получатся в дБ/км, если длина волны выражена в мкм.

Дополнительные потери α_d складываются из потерь на микроизгибы и макроизгибы, потерь в оболочке, потерь из-за термомеханических напряжений. Их точный учет затруднен, поэтому можно ориентировочно принять $\alpha_d = 0.1 - 0.3$ дБ/км.

Общий (суммарный) коэффициент затухания:

$$\alpha = \alpha_{ик} + \alpha_{уф} + \alpha_{рр} + \alpha_{рп} + \alpha_d. \quad (1.22)$$

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Структурная схема лабораторной установки по исследованию процессов прохождения оптических импульсов по многомодовым волоконным световодам (рис. 1.1а) включает:

- генератор импульсов (ГИ);
- источник излучения - полупроводниковый лазер (ИИ);
- два направленных ответвителя (НО1 и НО2);
- устройство временной задержки электрического импульса (УЗ);

- фотоприемное устройство (ФПУ);
- стробоскопический осциллограф (СО);
- три коротких оптических поводка (ОП1, ОП2, ОП3);
- исследуемый волоконный световод (ВС).

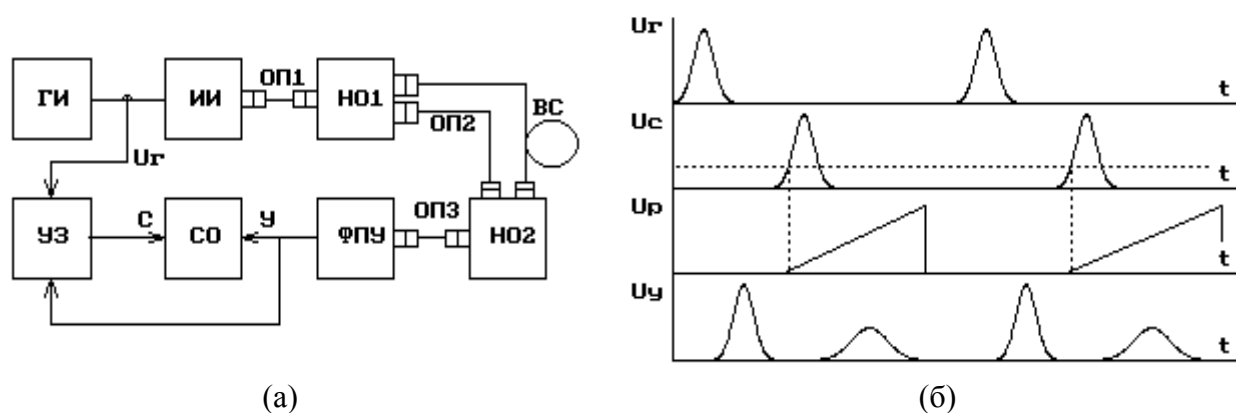


Рис. 1.1. Структурная схема лабораторной установки (а) и временные диаграммы ее работы (б)

Работа лабораторной установки иллюстрируется временными диаграммами (рис. 1.1б), которые показывают импульсы U_r на выходе ГИ, импульсы U_c , задержанные на время t_3 в УЗ, пилообразное напряжение развертки U_p и напряжение U_y с выхода ФПУ. Импульсы U_r поступают на ИИ, где преобразуются в оптические импульсы мощностью P , которые в НО1 разделяются по мощности на два примерно одинаковых импульса. Один из них, мощностью P_1 , проходит через ОП1, ОП2, ОП3, НО1 и НО2, задерживается на время t_{31} и поступает на ФПУ. Второй, мощностью P_2 , проходит через ОП1, ВС, ОП3, НО1 и НО2, задерживается на время t_{32} и ослабленный за счет затухания в ВС также поступает на ФПУ. ФПУ преобразует оптические импульсы в электрические, которые можно наблюдать на экране СО, если электрический импульс совпадает по времени с пилообразным напряжением развертки. Момент запуска развертки определяется установленной в УЗ задержкой, которую можно изменять вручную или автоматически. В автоматическом режиме поиска выходного импульса задержка возрастает от 0 до максимального значения. Процесс останавливается при превышении сигналом определенного уровня (в данной лабораторной установке он выбран равным 2 мВ).

Лабораторная установка позволяет определять времена задержки t_{31} и t_{32} , амплитуды U_{m1} и U_{m2} и длительности t_1 и t_2 входного и выходного импульсов. По измеренным величинам можно рассчитать: длину ВС L , вносимое затухание a_{bc} и средний коэффициент затухания α , дисперсионное уширение выходного импульса.

Анализ оптической схемы

В лабораторной работе предполагается проведение измерений для трех вариантов включения исследуемого ВС и оптических поводков в схему лабораторной установки (рис. 1.2). Это позволяет исключить погрешности, обусловленные временными задержками и затуханиями в оптических элементах лабораторной установки.

Полагаем, что для изготовления поводков и направленных ответвителей использовались идентичные ВС.

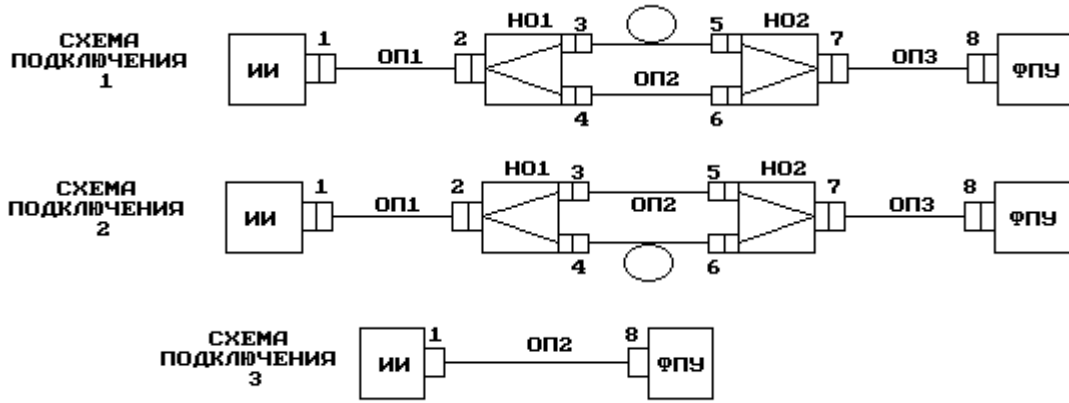


Рис. 1.2. Оптические схемы

Схема подключения 1.

Для времени задержки входного импульса t_{31} в схеме подключения 1 справедливо:

$$t_{311} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_{24} + L_{67}}{V_{g1}}, \quad (1.23)$$

где L_1, L_2, L_3 - длины соответствующих поводков, км; L_{24}, L_{67} - длины соответствующих плеч направленных ответвителей, км; V_{g1} - скорость распространения света в поводках и направленных ответвителях, км/с.

Для затухания входного импульса справедливо:

$$a_{11} = \alpha_1(L_1 + L_2 + L_3 + L_{24} + L_{67}) + a_{p1} + a_{p2} + a_{p4} + a_{p6} + a_{p7} + a_{p8} + a_{24} \quad (1.24)$$

где α_1 - коэффициент затухания для ВС, используемых в поводках ОП1, ОП2, ОП3 и направленных ответвителях НО1 и НО2, дБ/км; a_{pi} - потери в i -том разъеме, дБ; a_{24} - потери разделения в НО1, дБ.

Для времени задержки выходного импульса t_{32} в данной оптической схеме справедливо:

$$t_{321} = \frac{L_1 + L_3 + L_{23} + L_{57}}{V_{g1}} + \frac{L}{V_g}, \quad (1.25)$$

где L - длина исследуемого ВС, км; V_g - групповая скорость, км/с.

Для затухания выходного импульса справедливо:

$$a_{21} = \alpha_1(L_1 + L_2 + L_3 + L_{23} + L_{57}) + a_{p1} + a_{p2} + a_{p3} + a_{p5} + a_{p7} + a_{p8} + a_{23} + \alpha L, \quad (1.26)$$

где L_{23}, L_{57} - длины соответствующих плеч направленных ответвителей, км; α - коэффициент затухания исследуемого ВС, дБ/км; a_{23} - потери разделения в НО1, дБ.

Схема подключения 2.

Для времени задержки входного импульса можно записать:

$$t_{312} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_{23} + L_{57}}{V_{g1}}, \quad (1.27)$$

Затухание входного импульса в системе определяется формулой:

$$a_{21} = \alpha_1(L_1 + L_2 + L_3 + L_{23} + L_{57}) + a_{p1} + a_{p2} + a_{p3} + a_{p5} + a_{p7} + a_{p8} + a_{23} \quad (1.28)$$

Время задержки выходного импульса в данной схеме можно определить по формуле:

$$t_{322} = \frac{L_1 + L_3 + L_{24} + L_{67}}{V_{g1}} + \frac{L}{V_g}, \quad (1.29)$$

Для затухания выходного импульса справедливо:

$$a_{22} = \alpha_1(L_1 + L_3 + L_{24} + L_{67}) + a_{p1} + a_{p2} + a_{p4} + a_{p6} + a_{p7} + a_{p8} + a_{24} + \alpha L. \quad (1.30)$$

Схема подключения 3.

Для времени задержки импульса в третьей схеме справедливо

$$t_{313} = \frac{L_2}{V_{g1}}. \quad (1.31)$$

Затухание импульса можно определить по формуле:

$$a_3 = \alpha_1 L_2 + a_{p1} + a_{p8}. \quad (1.32)$$

Определение параметров ВС

1. Определение длины ВС

Рассмотрим следующую разность: $t_{321} - t_{312} = \frac{L}{V_g} - \frac{L_2}{V_{g1}} = \frac{L}{V_g} - t_{313}$.

Отсюда путем очевидных преобразований получаем:

$$L = (t_{321} - t_{312} + t_{313}) \cdot V_g. \quad (1.33)$$

2. Определение затухания ВС

В лабораторной работе вы измеряете амплитуды входного и выходного импульсов, т. е. в первой схеме величины:

$$U_{m11} = U_{m0} \cdot 10^{-a_{11}/10} \quad U_{m21} = U_{m0} \cdot 10^{-a_{21}/10} \quad (1.34)$$

а во второй:

$$U_{m12} = U_{m0} \cdot 10^{-a_{12}/10} \quad U_{m22} = U_{m0} \cdot 10^{-a_{22}/10} \quad (1.35)$$

где U_{m0} - амплитуда импульса, формируемого на выходе источника излучения.

По измеренным значениям U_{m11} , U_{m21} , U_{m12} , U_{m22} можно рассчитать затухания в первой и второй схемах a_1 и a_2 :

$$a_1 = 10 \cdot \lg \left(\frac{U_{m11}}{U_{m21}} \right) \quad a_2 = 10 \cdot \lg \left(\frac{U_{m12}}{U_{m22}} \right). \quad (1.36)$$

С другой стороны из (1.24), (1.26), (1.28), (1.30) можно получить:

$$a_1 = a_{21} - a_{11} = (a_{p3} - a_{p4}) + (a_{p5} - a_{p6}) + \alpha_1(L_{23} - L_{24}) + \alpha_1(L_{57} - L_{67}) + (a_{23} - a_{24}) + (a_{57} - a_{67}) + \alpha L \quad (1.37)$$

$$a_2 = a_{22} - a_{12} = -(a_{p3} - a_{p4}) - (a_{p5} - a_{p6}) - \alpha_1(L_{23} - L_{24}) - \alpha_1(L_{57} - L_{67}) - (a_{23} - a_{24}) - (a_{57} - a_{67}) + \alpha L \quad (1.38)$$

Складывая полученные таким образом величины, получаем:

$$a_1 + a_2 = 2\alpha L = 2a_{BC}. \quad (1.39)$$

Из (1.35) следует, что затухание исследуемого ВС можно рассчитать по выражению:

$$a_{\text{BC}} = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (1.40)$$

ОПИСАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Данная лабораторная работа является виртуальной.

После загрузки программы на экране появляется текст методических указаний. Основное управление осуществляется функциональными клавишами:

- F1 – переход к разделу «Теоретические сведения»
- F2 – получение информации о параметрах исследуемого ВС
- F3 – переход к описанию моделируемой лабораторной установки
- F4 – переход к проведению измерений
- F8 – вызов калькулятора

На рис. 1.3 представлен экран с параметрами исследуемого ВС. Некоторые обозначения на экране отличаются от обозначений в данных методических указаниях, соответствие между ними установлено в табл. 1.1.

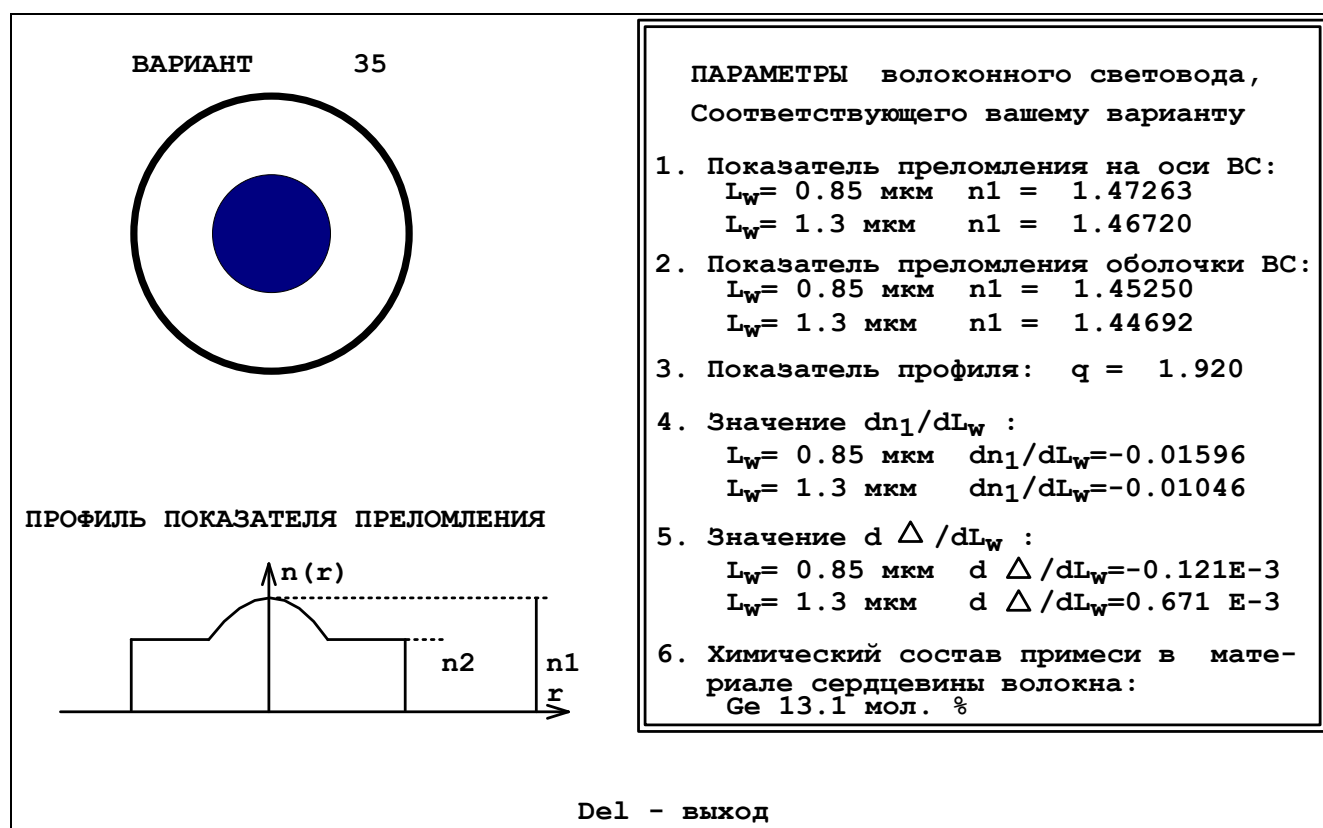


Рис. 1.3. Экран с параметрами исследуемого ВС.

На рис. 1.4 показан основной экран программы – экран стробоскопического осциллографа, на котором проводятся все измерения.

Управление моментом запуска развертки осциллографа осуществляется курсорными клавишами \rightarrow и \leftarrow и клавишей Enter. Однократное нажатие одной из курсорных клавиш вызывает уменьшение (\rightarrow) или увеличение (\leftarrow) времени задержки. Изменение времени задержки происходит с постепенно возрастающей

скоростью. При этом изображение на экране осциллографа смещается влево или вправо. Остановить изображение в нужный момент можно, нажав клавишу Enter. Текущее значение времени задержки в мкс отображается в окошке под экраном осциллографа.

Таблица 1.1

Наименование величины	Обозначение на экране	Обозначение в методических указаниях
Длина волны	L_w	λ
Показатель преломления сердцевины ВС на оси	n_1	n_{10}
Значение производной показателя преломления сердцевины ВС по длине волны на оси	dn_1 / dL_w	$dn_{10} / d\lambda$
Значение производной относительной разности показателей преломления сердцевины и оболочки ВС по длине волны на оси	$d\Delta / dL_w$	$d\Delta / d\lambda$

Изображение на экране осциллографа можно также смещать вдоль вертикальной оси однократным нажатием курсорной клавиши \uparrow или \downarrow . При этом изображение начнет перемещаться вверх или вниз с равномерной скоростью. Остановить изображение в нужный момент можно, нажав клавишу Enter.

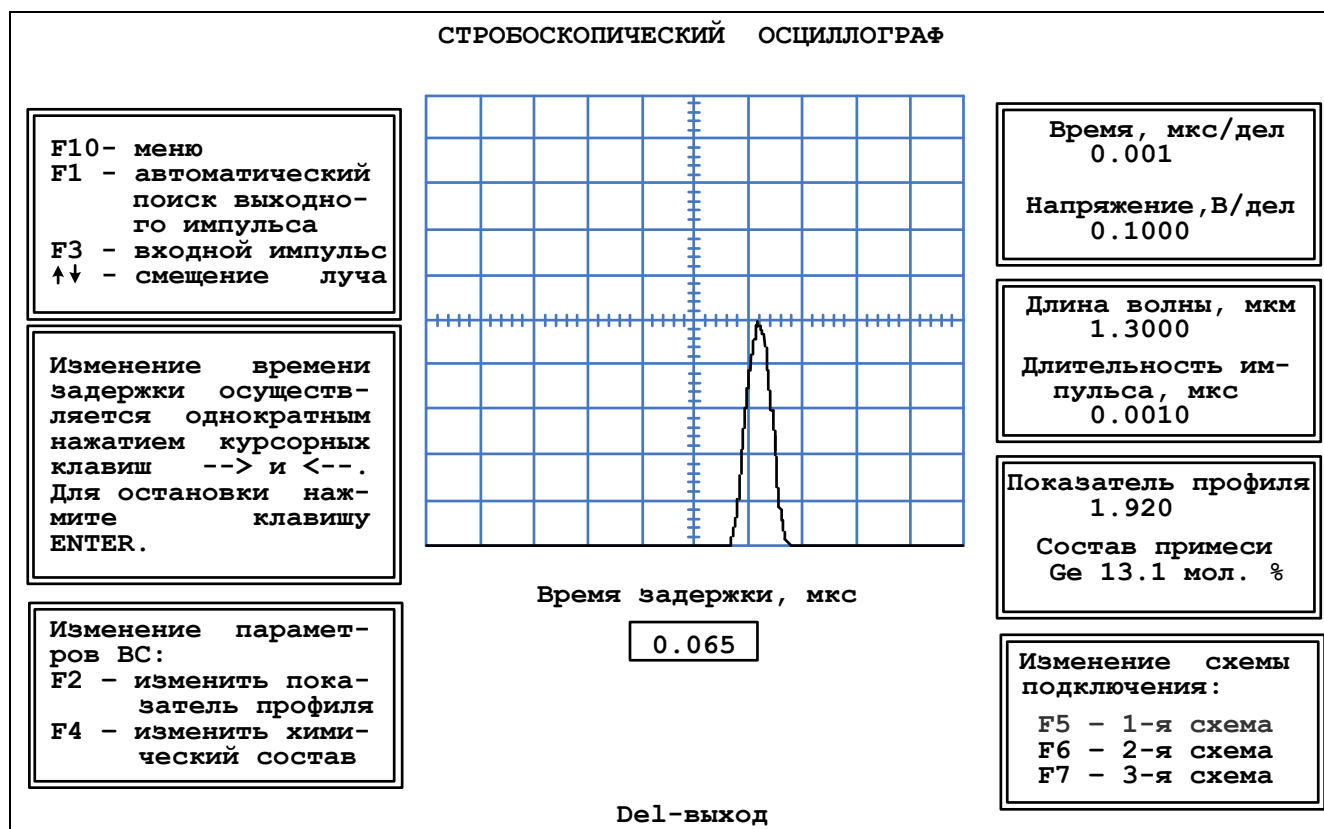


Рис. 1.4. Экран стробоскопического осциллографа.

Масштабировать изображение на экране осциллографа можно, изменяя цены деления его горизонтальной (время) и вертикальной (напряжение) шкал. Для этого необходимо воспользоваться режимом «Меню» (пункт меню *Изменение параметров осциллографа*), вызвать который можно нажатием клавиши F10 (рис. 1.5).

В режиме «Меню» также можно изменять параметры генератора импульсов и источника излучения (пункт меню *Изменение параметров генератора импульсов*) – длительность импульса и длину волны.

Установленные параметры осциллографа, генератора импульсов и источника излучения отображаются справа от экрана осциллографа.

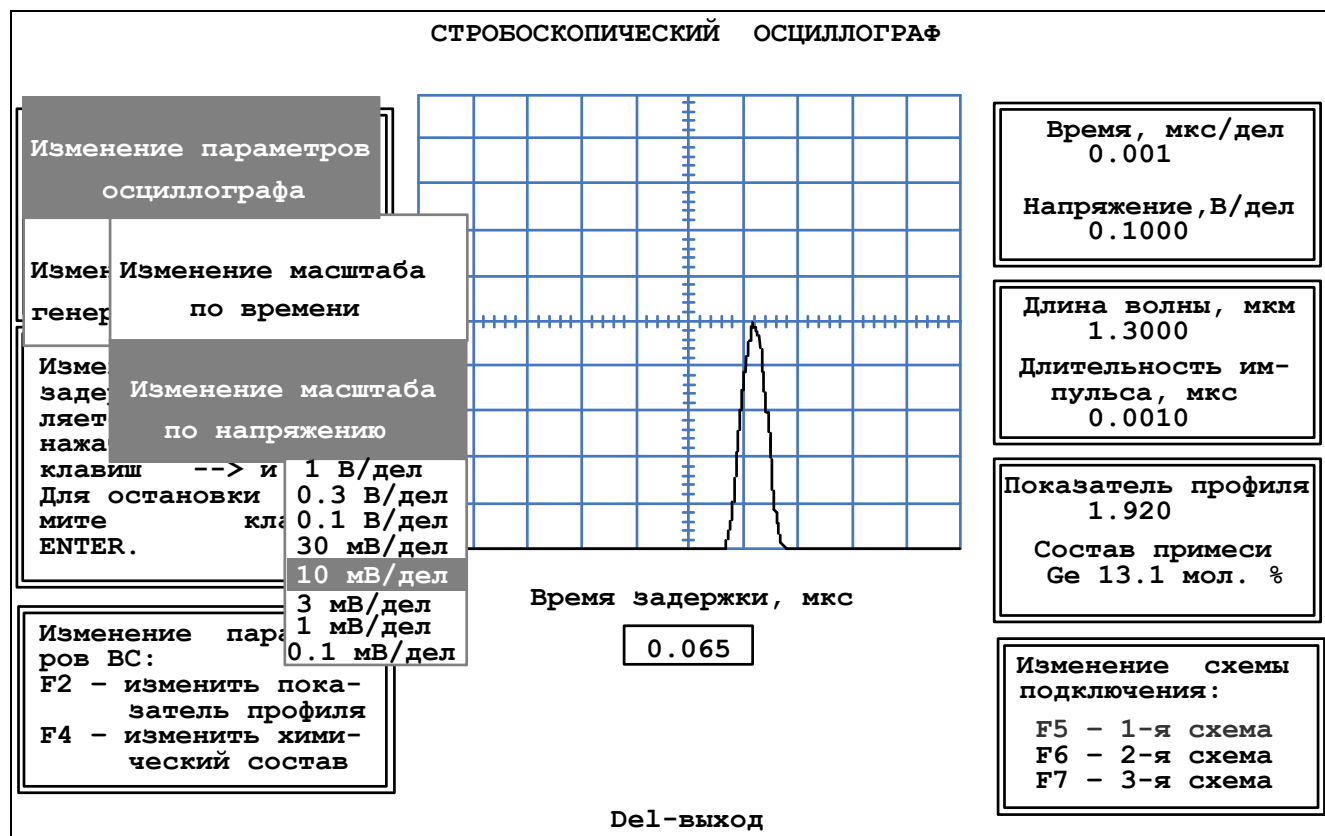


Рис. 1.5. Режим «Меню».

Переключение оптических схем для проведения измерений осуществляется нажатием функциональных клавиш: 1-я схема – F5, 2-я схема – F6, 3-я схема – F7. Выбранная в данный момент схема выделяется цветом в окошке *Изменение схемы подключения* внизу экрана справа.

В работе можно также изменять параметры исследуемого ВС – показатель степенного профиля и степень легирования сердцевины. Для изменения показателя степенного профиля нужно нажать клавишу F2. При этом на экране появится окошко с текущим значением показателя. Вам нужно набрать цифрами без точки новое значение показателя.

Для изменения степени легирования сердцевины нужно нажать клавишу F4 и в появившемся меню клавишами ↑ и ↓ выбрать нужное значение.

Установленные показатель степенного профиля и химический состав легирующей примеси отображаются справа от экрана осциллографа.

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

1. Изучите материал раздела «Теоретические сведения».

2. В отчете должен быть указан номер вашего варианта и параметры исследуемого ВС, соответствующего этому номеру. Для получения сведений о параметрах, необходимых для проведения требуемых в работе расчетов, нажмите клавишу F2.

3. По заданным параметрам ВС рассчитайте:

- групповой показатель преломления на оси волокна n_{10g} по выражению (1.11),
- групповую скорость V_g по выражению (1.12),
- коэффициент затухания α по выражению (1.22).
- нормированную частоту V по выражению (1.7), считая радиус сердцевины волокна равным 25 мкм,
- число направляемых мод M по выражению (1.8),
- уширение импульса (дисперсию) Δt_m на 1 км по выражению (1.15),

Обратите внимание, что рассчитывать параметры необходимо с достаточной точностью, в случае необходимости проводя округление только окончательного результата. Особенно это касается расчетов n_{10g} и всех этапов расчета Δt_m . В связи с этим рекомендуется использовать для расчетов одну из специализированных математических программ – MathCAD, Math Lab и т.п. Результаты расчетов занесите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Результаты теоретических расчетов

Исходные данные						Результаты расчета					
λ , мкм	n_{10}	n_2	$dn_{10} / d\lambda$	$d\Delta / d\lambda$	q	n_{10g}	V_g , км/с	α , дБ/км	V	M	Δt_m , нс/км
0.85											
1.30											

4. Изучите структурную схему и работу лабораторной установки, а также анализ 3-х возможных схем ее включения, в которых будут проводиться измерения. Обратите особое внимание на предлагаемый способ уменьшения погрешности результатов измерений. Для получения этой информации нажмите клавишу F3.

5. Для входного и выходного импульсов измерьте по экрану осциллографа

- время задержки, для чего установите вершину импульса на середину горизонтальной оси экрана осциллографа;
- амплитуду импульса по вертикальной шкале осциллографа;
- длительность импульса.

Измерения проведите для двух источников излучения, работающих на длинах волн 1.3 и 0.85 мкм, и двух различных значений длительности входного импульса, задаваемых преподавателем. Результаты измерений занесите в таблицу 1.3. Для перехода к странице «Экран осциллографа» нажмите клавишу F4.

6. Рассчитайте по данным измерений для двух значений длины волны источника излучения:

- затухание в первой и второй оптических схемах по выражениям (1.36);
- затухание исследуемого ВС по выражению (1.40);
- уширение импульса в исследуемом ВС $\Delta t = t_2 - t_1$;
- длину исследуемого ВС L по выражению (1.33);
- межмодовую дисперсию исследуемого ВС $\Delta t_m = (\Delta t_1 + \Delta t_2)/2L$, где $\Delta t_1, \Delta t_2$ – уширения импульса в 1 и 2 схемах;
- коэффициент затухания исследуемого ВС: $\alpha_{\text{BC}} = a_{\text{BC}}/L$.

Результаты расчетов занесите в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

Результаты измерений и расчетов

λ , мкм	Номер схемы	U_{m1} , В	U_{m2} , В	a , дБ	a_{BC} , дБ	t_{31} , мкс	t_{32} , мкс	t_1 , нс	t_2 , нс	Δt , нс	L , км	Δt_m , нс/км	α_{BC} , дБ/км
0.85	1												
	2												
	3		-	-			-		-	-			
1.30	1												
	2												
	3		-	-			-		-	-			

7. Определите зависимость формы, амплитуды U_{m2} и ширины t_2 выходного импульса в схеме 1 от показателя степенного профиля q . Вблизи минимального значения t_2 уменьшите шаг изменения q для повышения точности определения оптимального показателя профиля $q_{\text{опт}}$. Измерения проведите для двух источников излучения, работающих на длинах волн 1.3 и 0.85 мкм. Результаты измерений занесите в таблицу 1.4. В графу "форма" занесите упрощенное изображение выходного импульса.

Таблица 1.4

Оптимизация профиля показателя преломления

Показатель профиля q			1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	$q_{\text{опт}}$	$\alpha_{\text{опт}}$, дБ/км	$q_{\text{опт}}$		$\Delta t_{\text{м опт}}$, нс/км	
											Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.
λ , мкм	0.85	t_2 , нс												
		U_{m2} , В												
		форма												
Показатель профиля q			1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	$q_{\text{опт}}$	$\alpha_{\text{опт}}$, дБ/км	$q_{\text{опт}}$		$\Delta t_{\text{м опт}}$, нс/км	
											Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.
λ , мкм	1.3													
		U_{m2} , В												
		форма												

8. По результатам измерения t_2 определите $q_{\text{опт}}$, которому соответствует минимальное t_2 , рассчитайте коэффициент затухания $\alpha_{\text{опт}}$ и дисперсию $\Delta t_{\text{м опт}}$ по формулам:

$$\alpha_{\text{опт}} = \frac{10}{L} \lg \frac{U_{m1}}{U_{m2}} \quad t_{\text{м опт}} = \frac{t_{2\text{опт}} - t_1}{L} \quad (1.41)$$

Рассчитайте также теоретическое значение $q_{\text{опт}}$ по $\Delta t_{\text{м опт}}$ выражениям (1.16) и (1.17). Результаты расчетов занесите в табл. 1.4.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Параметры, соответствующие номеру Вашего варианта
2. Теоретический расчет с указанием всех использованных формул и комментариями
3. Таблицу 1.2 с результатами теоретического расчета
4. Две таблицы 1.3 с результатами измерений и расчетов
5. Формулы и комментарии, относящиеся к обработке результатов измерений
6. Таблицу 1.4 с результатами измерений и расчетов
7. Графики зависимости $U_{m2}(q)$ и $t_2(q)$ для длин волн 0.85 и 1.3 мкм

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«Измерение затухания одномодовых волоконных световодов»

Цель работы:

Изучение методов измерения вносимого затухания в оптических линейных трактах, способов обработки результатов измерений, получение навыков работы с современными оптическими тестерами.

Подготовка к работе:

При подготовке к работе должны быть изучены:

1. Следующие разделы учебника по курсу Линий связи (Гроднев И. И., Верник С. М. Линии связи. Учебник для вузов.- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 1988.- 544 с.: ил.)

- Волоконные световоды и принцип их действия (разд. 5.23)
- Волновая теория передачи по световодам (разд. 5.25)
- Затухание световодов (разд. 5.26)

2. Следующие разделы учебного пособия М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, Л.Н. Кочановский, В.В. Пискунов. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов.- Спб, 2002 (издание СПбГУТ):

- Собственные потери (разд. 4.2.1)
- Потери в стыках ВС (разд. 4.2.2)
- Измерение вносимого затухания методом сравнения уровней (разд. 4.2.3)

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Состав установки

Моделируемая лабораторная установка состоит из одномодового источника оптического излучения (ИИ), оптического аттенюатора (ОА), приемника оптического излучения (ПИ), набора катушек оптического волокна (ОВ) и оптических поводков (ОП).

Источник излучения

ИИ (рис. 2.1) позволяет на одном оптическом выходе иметь излучение с длинами волн $\lambda=1310$ и 1550 нм. Кроме того, возможен режим поочередного переключения длины волны ИИ с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно. Излучение ИИ может быть непрерывным (частота модуляции $f=0$ Гц) с постоянной мощностью или модулированным с частотами $f=270, 1000$ или 2000 Гц.

На передней панели ИИ находятся 6 клавиш:

- 1к - включение/ выключение питания.
- 2к - включение длины волны $\lambda=1310$ нм.
- 3к - включение длины волны $\lambda=1550$ нм.
- 4к - выбор частоты модуляции $f=0, 270, 1000$ или 2000 Гц.

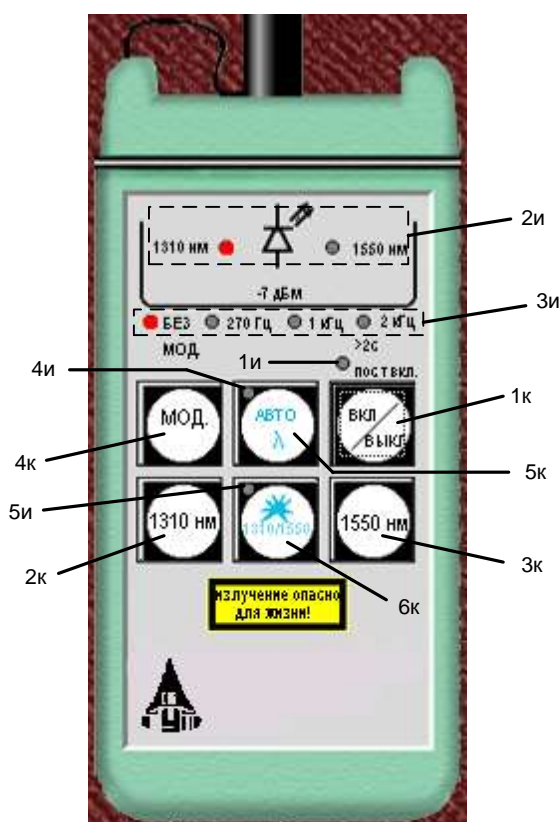


Рис. 2.1 Внешний вид и органы управления источника излучения

5к - включение режима поочередного переключения длин волн ИИ с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно.

6к - включение режима передачи информации об установленной длине волны ИИ.

Нажатие клавиш производится щелчком мыши на выбранной клавише.

На передней панели ИИ находятся 9 светодиодных индикаторов:

1и – индикатор включения прибора на постоянную работу (режим экономии электроэнергии отключен).

2и – два индикатора, показывающих какой источник включен.

3и – четыре индикатора частоты модуляции источника.

4и – индикатор режима поочередного переключения длин волн ИИ с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно.

5и – индикатор включения режима передачи информации об установленной длине волны ИИ.

Уровень выходной оптической мощности в непрерывном режиме излучения должен превышать $p = -7$ дБм. При включении модуляции выходная мощность уменьшается примерно на 3 дБ.

Кратковременное нажатие на клавишу вкл/выкл включает ИИ на 2 минуты, после чего он автоматически отключается. Это позволяет увеличить срок непрерывной работы ИИ. Если удерживать клавишу вкл/ выкл более 2 секунд, то ИИ включается на неопределенное время и может быть выключен лишь повторным нажатием той же клавиши.

При включении режима поочередного переключения длин волн ИИ с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно продолжительность излучения на каждой из указанных длин волн составляет 2 секунды.

Оптический разъем ИИ защищается от загрязнения колпачком, который снимается перед проведением измерений щелчком мыши.

Оптический аттенюатор

ОА (рис. 2.2) предназначен для внесения в волоконно-оптический тракт на данной длине волны известного регулируемого затухания от $a = 3$ до 60 дБ с разрешающей способностью $\Delta a = 0.05$ дБ. Воспроизводимость установленной величины затухания ± 0.1 дБ. Максимальный входной уровень ОА при котором сохраняются параметры ОА составляет +20 дБм (100 мВт). Затухание устанавливается с

помощью вращающейся рукоятки (1), которая позволяет изменять затухания в указанных пределах за 20 оборотов. Рукоятку можно поворачивать непосредственно с помощью «мыши» или с помощью нажатия «мышью» двух клавиш (2), расположенных на экране дисплея ниже ОА. Величина установленного затухания отображается на буквенно-цифровом жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ) (3). При выключении питания установленная величина затухания сохраняется, а при вращении рукоятки при выключенном питании величина затухания изменяется, но ее величина измерителю без включения питания не известна.

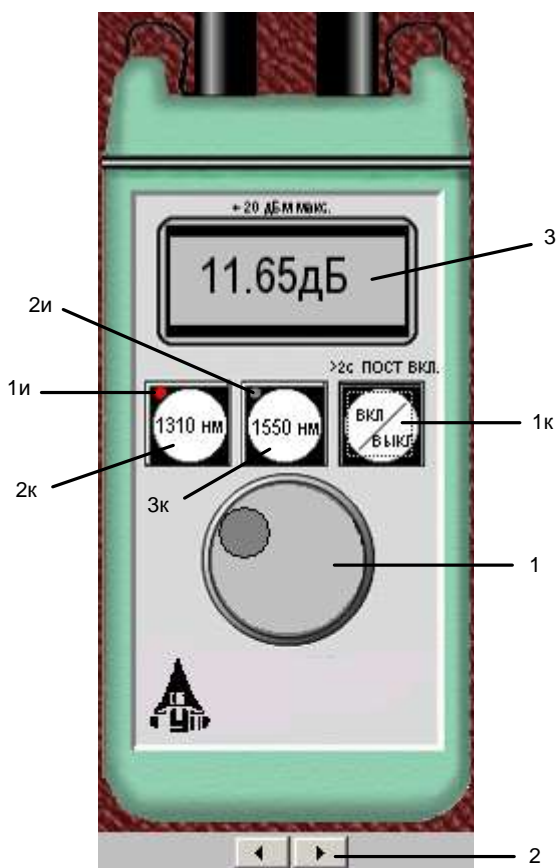


Рис. 2.2. Внешний вид и органы управления оптического аттенюатора

На передней панели ОА находятся 3 клавиши:

- 1к - включение/ выключение питания.
- 2к - величина затухания, отображаемая на ЖКИ, будет соответствовать длине волны $\lambda=1310$ нм.
- 3к - величина затухания, отображаемая на ЖКИ, будет соответствовать длине волны $\lambda=1550$ нм.

Нажатие клавиш производится щелчком мыши на выбранной клавише.

На передней панели ОА находятся 2 светодиодных индикатора:

- 1и - величина затухания, отображаемая на ЖКИ, соответствует длине волны $\lambda=1310$ нм.
- 2и - величина затухания, отображаемая на ЖКИ, соответствует длине волны $\lambda=1550$ нм.

Кратковременное нажатие на клавишу вкл/выкл включает ОА на 2 минуты, после чего он автоматически отключается. Это позволяет увеличить срок непрерыв-

ной работы ОА. Если удерживать клавишу вкл/ выкл более 2 секунд, то ОА включается на неопределенное время и может быть выключен лишь повторным нажатием той же клавиши. Информация о включении ОА на неопределенное время отображается на ЖКИ словом «ПОСТ ВКЛ».

Оптические разъемы ОА защищаются от загрязнения колпачком, который снимается перед проведением измерений щелчком мыши.

Приемник оптического излучения

ПИ (рис. 2.3) позволяет проводить следующие измерения:

1. измерять уровень мощности оптического излучения в дБм,
2. измерять мощность оптического излучения в мВт,

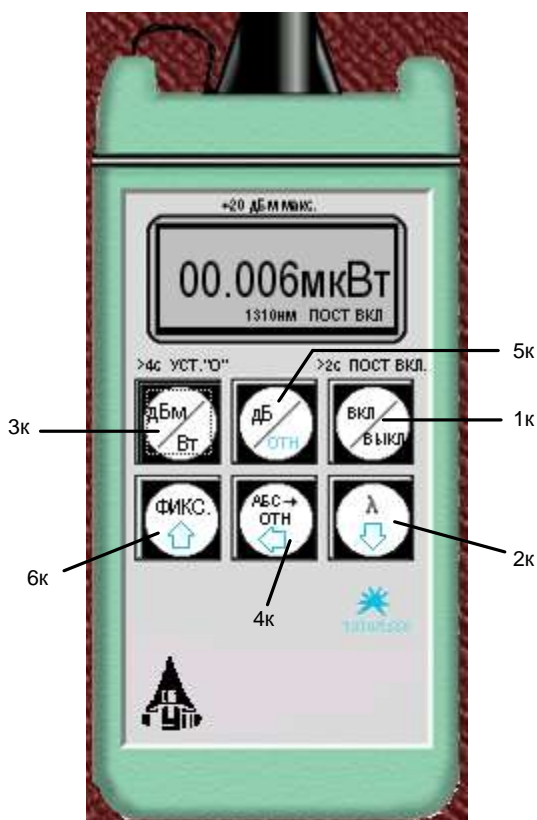


Рис. 2.3. Внешний вид и органы управления приемника излучения

3. измерять затухание в волоконно-оптическом тракте и в пассивных компонентах волоконно-оптических линий связи в дБ.

При всех измерениях уровень оптической мощности на входе ПИ не должен превышать 20 дБм (100 мВт). Используемый в качестве чувствительного элемента *p-i-n* фотодиод выполняет функцию линейного преобразования оптической мощности P_f в фототок I_f . Последний усиливается и одновременно преобразуется в напряжение в усилителе с коэффициентом передачи K_λ , которое проходит через усредняющий фильтр нижних частот (ФНЧ) и поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), управляемый микроконтроллером.

Результат измерения в мкВт пропорционален величине постоянного напряжения U_f поступающего на вход АЦП, которое в свою очередь пропорционально величине фототока I_f и входной оптической

мощности P_f

$$U_f = P_f \cdot S_\lambda \cdot K_\lambda. \quad (2.1)$$

В связи с тем, что чувствительность всех квантовых фотоприемников, в том числе и *p-i-n* фотодиодов, сильно зависит от длины волны излучения для исключения этой погрешности необходимо выполнить условие $S_\lambda \cdot K_\lambda = const$ для любой длины волны λ измеряемого излучения.

Для оптической связи в настоящее время используют ограниченный набор длин волн излучения. Поэтому ПИ калибруются при их изготовлении и при очередной поверке (калибровке) только для этих длин волн. Используемый в работе ПИ калиброван на следующие длины волн $\lambda = 850, 1300, 1310$ и 1550 нм. Калибровка практически сводится к регулировке величины K_λ до выполнения условия $S_\lambda \cdot K_\lambda = const$. Для переключения длин волн калибровки используется клавиша λ (2к) на передней панели ПИ.

Для получения результата измерения в дБм микроконтроллер должен выполнить математическую операцию логарифмирования цифрового значения $N_f = U_f$

$$N_1 = 10 \lg \frac{N_f}{N_0} = 10 \lg \frac{P_f}{1 \text{ мВт}}, \quad (2.2)$$

где $N_0 = U_0 = 1 \text{ мВт} \cdot S_\lambda \cdot K_\lambda$ - цифровое значение напряжения, которое возникает при входной оптической мощности, равной 1 мВт.

На передней панели ПИ находятся 6 клавиш:

- 1к - включение/ выключение питания.
- 2к - выбор длины волны калибровки.
- 3к - выбор размерности результата измерения в дБм или мкВт. Эта же кнопка при ее удерживании более 4 с. позволяет автоматически компенсировать смещение нуля усилителя фототока на данной длине волны.
- 4к - установка любого зарегистрированного ПИ уровня оптической мощности в качестве 0 дБ.
- 5к - измерение относительного уровня входной оптической мощности в дБ по отношению к уровню принятому нами за 0 дБ. При повторном нажатии этой клавиши можно определить абсолютный уровень в дБм, который был ранее принят за 0 дБ.
- 6к - замораживание/ размораживание на ЖКИ его предыдущего состояния.

Нажатие клавиш производится щелчком мыши на выбранной клавише.

При нажатии клавиши 3к измеряется уровень входной оптической мощности в дБм или в мкВт. При нажатии клавиши 5к измеряется относительный уровень оптической мощности в дБ по отношению к уровню принятому нами за 0 дБ.

При работе со своим штатным ИИ возможен режим автоматического переключения длины волны калибровки ПИ при изменении длины волны ИИ. Этот режим действует и в том случае если длина волны ИИ поочередно переключается с $\lambda=1310$ на 1550 нм и обратно. Результат измерения определяется средней входной оптической мощностью. Поэтому при включении модуляции на ИИ показания ПИ уменьшаются примерно на 3 дБ.

Кратковременное нажатие на клавишу вкл/выкл включает ПИ на 2 минуты, после чего он автоматически отключается. Это позволяет увеличить срок непрерывной работы ПИ. Если удерживать клавишу вкл/выкл более 2 секунд, то ПИ включается на неопределенное время и может быть выключен лишь повторным нажатием той же клавиши. Информация о включении ПИ на неопределенное время отображается на ЖКИ словом «ПОСТ ВКЛ».

Оптический разъем ПИ защищается от загрязнения колпачком, который снимается перед проведением измерений щелчком мыши.

Оптические волокна

Основными параметрами исследуемых волокон являются длина и коэффициент затухания. Каждый вариант содержит две катушки с оптическими волокнами. Одна катушка имеет известную длину и задача стоит в определении ее коэффициента затухания. Вторая катушка содержит волокно того же типа и для нее по измеренному затуханию надо определить длину волокна. Задача осложняется наличием потерь в разъемных соединениях. Это обстоятельство приводит к увеличению погрешности определения коэффициента 1 волокна и длины 2 волокна.

Схемы измерения и работа с программой

Управление программой лабораторной работы осуществляется только с помощью мыши. Меню выбора схемы для проведения измерений вызывается нажатием кнопки «Команды» (рис. 2.4). В работе используются 3 схемы (рис. 2.5):

1. Схема измерения мощности ИИ (рис. 2.5а), команда «соединить одним поводком»;
2. Схема измерения затухания в оптическом волокне методом разности уровней (рис. 2.5б), команда «соединить двумя поводками через катушку». В этой схеме можно выбрать волокно для измерения: первое – катушка 1 или второе – катушка 2;
3. Схема измерения затухания в оптическом волокне методом замещения (рис. 2.5в), команда «соединить двумя поводками через аттенюатор».

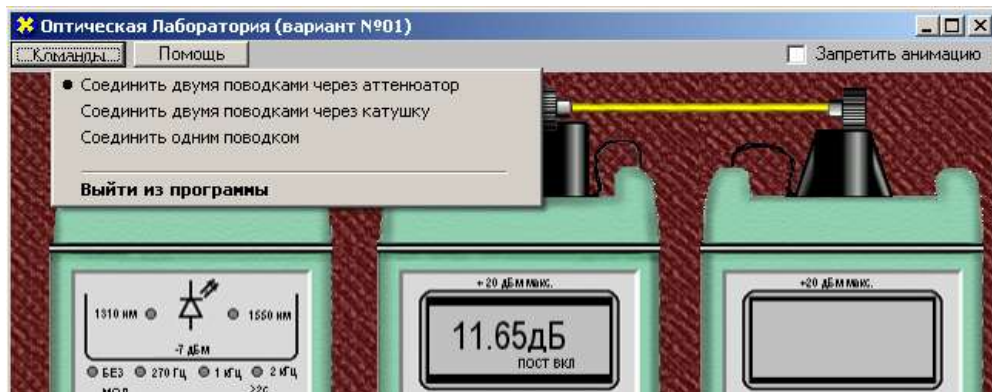


Рис. 2.4. Выбор схемы.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подготовка к работе

1. При закрытом оптическом входе включить ПИ на непрерывную работу, удерживая кнопку вкл/выкл более 2 с.
2. Включить режим измерения в абсолютных единицах мощности- мкВт. Проверить смещение нуля на длинах волн 1310 и 1550 нм.
3. При наличии смещения произвести «установку 0» ПИ с помощью кнопки «выбор размерности результата измерения в дБм или мкВт» на двух длинах волн. С этой целью необходимо удерживать эту кнопку более 4 с.
4. Установить на ПИ необходимую длину волны, например 1310 нм.
5. Включить ИИ на непрерывную работу и установить такую же длину волны, как и на ПИ.
6. Установить режим работы ИИ без модуляции.

Измерение мощности излучателей, исследование разъемных соединителей

1. Соедините ИИ с ПИ одним коротким оптическим поводком (команда «Соединить одним поводком»).
2. Произведите многократные измерения уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ на двух длинах волн в дБм и мкВт при отключении и повторном подключении оптического поводка к разъемам ИИ и ПИ. Результаты измерений поместите в таблицу 2.1.

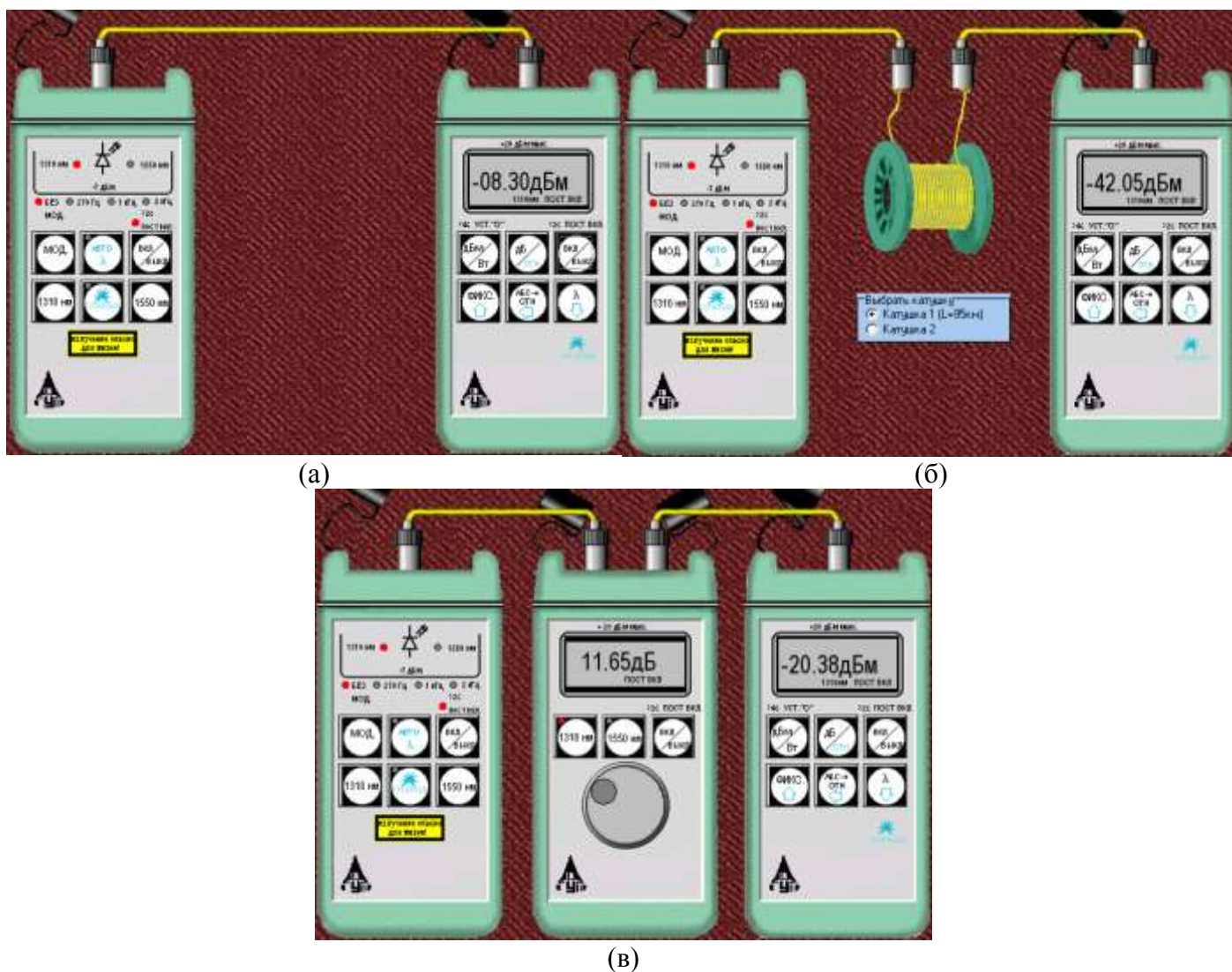


Рис. 2.5. Схемы проведения измерений.

3. Рассчитайте средние значения, среднеквадратические отклонения (СКО) и СКО средних значений измеренных мощностей и уровней по следующим выражениям:

Среднее значение:
$$\bar{X} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.3)$$

СКО:
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2} \quad (2.4)$$

СКО среднего значения:
$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (2.5)$$

В приведенных формулах N – число проведенных измерений, x_i – результаты отдельных измерений. Результаты расчетов поместите в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Коммутации разъема, соединяющего ИИ с ОВ				
№ коммутации	Мощность, Р, мкВт, при		Уровень, Y, дБм, при	
	$\lambda=1310$ нм	$\lambda=1550$ нм	$\lambda=1310$ нм	$\lambda=1550$ нм
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение				
СКО				
СКО среднего				
Коммутации разъема, соединяющего ОВ с ПИ				
№ коммутации	Мощность, Р, мкВт		Уровень, Y, дБм	
	$\lambda=1310$ нм	$\lambda=1550$ нм	$\lambda=1310$ нм	$\lambda=1550$ нм
1				
2				
3				
4				
5				
Среднее значение				
СКО				
СКО среднего				

- Для получения практических навыков работы с современным комплектом оптического тестера измерения повторите в 3 режимах:
 - При ручной установке длин волн на ИИ и ПИ.
 - При автоматическом определении ПИ длины волны ИИ.
 - При поочередном автоматическом задании длин волн ИИ и автоматическом определении ПИ длины волны ИИ.
- Сделайте выводы по полученным результатам.

Измерение вносимого затухания и коэффициента затухания оптического волокна

Измерение методом разности уровней

- Соедините ИИ с ПИ коротким оптическим поводком.
- Произведите многократные измерения уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ Y_0 на двух длинах волн в дБм при отключении и повторном подключении поводка к разъему ИИ. Результаты измерений поместите в табл. 2.2.
- Соедините ИИ с ПИ первым измеряемым оптическим волокном (команда «Соединить двумя поводками через катушку», катушка 1).
- Произведите многократные измерения уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ Y_1 на двух длинах волн в дБм при отключении и повторном подключении поводка к разъему ИИ. Результаты измерений поместите в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Первое оптическое волокно $L_1 =$ км								
№ комм.	Y_0 , дБм при λ , нм		Y_1 , дБм при λ , нм		a , дБ при λ , нм		α , дБ/км при λ , нм	
	1310	1550	1310	1550	1310	1550	1310	1550
1								
2								
3								
4								
5								
Среднее								
СКО								
СКО среднего								

5. Рассчитайте затухание первого оптического волокна a и коэффициент затухания α по выражениям:

$$a = Y_0 - Y_1, \quad (2.6)$$

$$\alpha = \frac{a}{L_1}. \quad (2.7)$$

6. Соедините ИИ с ПИ вторым измеряемым оптическим волокном (команда «Соединить двумя поводками через катушку», катушка 2).
7. Произведите многократные измерения уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ на двух длинах волн в дБм при отключении и повторном подключении поводка к разъему ИИ. Результаты измерений поместите в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Второе оптическое волокно $\alpha =$ / дБ/км (при $\lambda = 1310/1550$ нм)								
№ комм.	Y_0 , дБм при λ , нм		Y_1 , дБм при λ , нм		a , дБ при λ , нм		α , дБ/км при λ , нм	
	1310	1550	1310	1550	1310	1550	1310	1550
1								
2								
3								
4								
5								
Среднее								
СКО								
СКО среднего								

8. Рассчитайте затухание a по формуле, приведенной в п. 5, и длину второго оптического волокна L_2 :

$$L_2 = \frac{a}{\alpha}. \quad (2.8)$$

Коэффициент затухания второго оптического волокна α примите равным коэффициенту затухания первого оптического волокна, рассчитанному в п. 5.

9. Для получения практических навыков в измерениях повторите измерения вносимого затухания на одной длине волны, используя методику запоминания и

принятия за 0 дБ входного оптического уровня (на выходе короткого поводка). После установки нулевого уровня и подключения вместо поводка исследуемых оптических волокон результат измерения будет соответствовать вносимому на этой длине волны затуханию. Сравните полученные таким образом результаты с полученными ранее в п. 7, оцените удобства этого метода.

10. Сделайте выводы по полученным результатам.

Измерение методом замещения

1. Соедините ИИ с ПИ первым оптическим волокном.
2. Измерьте уровень выходящей из первого волокна оптической мощности на двух длинах волн.
3. Вместо первого волокна подключите короткими поводками ОА (команда «соединить двумя поводками через аттенюатор») и, изменяя его затухание, добейтесь таких же показаний ПИ, которые были получены во втором пункте для двух длин волн. Результаты измерений поместите в таблицу 4.
4. Повторите измерения по пунктам 1-3 для второго оптического волокна. Результаты также поместите в таблицу 2.4.

Таблица 2.4

№ волокна	Y_1 , дБм при λ , нм		a , дБ при λ , нм		α , дБ/км при λ , нм	
	1310	1550	1310	1550	1310	1550
1						
2						

Измерение параметров оптического аттенюатора

1. Соедините ИИ с ПИ коротким поводком.
2. Произведите измерение уровней выходной оптической мощности излучателей ПИ на двух длинах волн в дБм. Результаты измерений поместите в таблицу 5.
3. Соедините ИИ с ПИ через ОА и уменьшайте его затухание до предела. Запишите в таблицу 5 показания ПИ Y_{max} и аттенюатора A_{min}^{izm} . Увеличивайте затухание ОА до максимума. Запишите в таблицу 2.5 показания ПИ Y_{min} и аттенюатора A_{max}^{izm} . Повторите измерения на другой длине волны.

Таблица 2.5

Длина волн, нм	Y_0 , дБм	Y_{max} , дБм	Y_{min} , дБм	A_{min}^{izm} , дБ	A_{max}^{izm} , дБ	A_{min} , дБ	A_{max} , дБ
1310							
1550							

4. Рассчитайте минимальное и максимальное затухания ОА:

$$A_{min} = Y_0 - Y_{max}, \quad (2.9)$$

$$A_{max} = Y_0 - Y_{min}. \quad (2.10)$$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему измерения уровня выходного оптического сигнала излучателя.

2. Схему измерения затухания в катушке с волокном методом разности уровней.
3. Схему измерения затухания в катушке с волокном методом замещения с помощью аттенюатора.
4. Таблицы 2.1-2.5 с результатами экспериментов и расчетов.
5. Выводы по полученным результатам.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«Изучение метода обратного рассеяния в волоконных световодах с помощью оптического рефлектометра»

Цель работы:

Изучение метода обратного рассеяния, способов определения параметров неоднородных оптических линейных трактов по рефлектограмме, получение навыков работы с оптическим рефлектометром.

Подготовка к работе:

При подготовке к работе должны быть изучены следующие разделы учебного пособия М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, Л.Н. Кочановский, В.В. Пискунов. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов.- СПб, 2002 (издание СПбГУТ):

- Измерение излучения, рассеянного в линейном тракте (разд. 5)

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Состав установки

Моделируемая лабораторная установка (рис. 3.1) состоит из универсального оптического рефлектометра (ОР), сварочного аппарата (СА) и двух однородных отрезков волоконных световодов (ВС1 и ВС2). Предусмотрены возможности подключения ОР к волоконному тракту (ВТ) с любой стороны (ВС1+ВС2) или (ВС2+ВС1) и отключения ОР от ВТ.

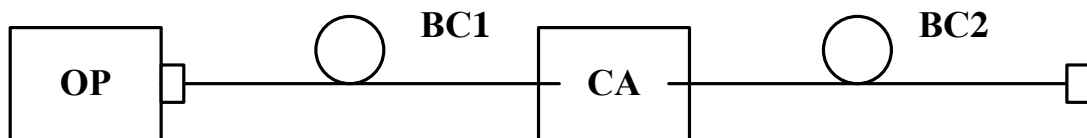


Рис. 3.1. Структурная схема лабораторной установки

2. Оптический рефлектометр

Оптический рефлектометр (ОР) состоит из четырех сменных оптоэлектронных блоков и электронного блока обработки сигналов обратного рассеяния. В комплект ОР входят следующие оптоэлектронные блоки:

- для многомодовых ВС (МВС) с длиной волны $\lambda = 0.85$ мкм;
- для МВС с $\lambda = 1.3$ мкм;
- для одномодовых ВС (ОВС) с $\lambda = 1.3$ мкм;
- для ОВС с $\lambda = 1.55$ мкм.

Структурная схема (рис.3.2) оптоэлектронного блока, подключенного к ВТ с помощью направленного ответвителя (НО), содержит: стабилизированный по мощности источник коротких оптических импульсов и фотоприемное устройство (ФПУ).

Источник излучения (ИИ) включает: лазерный диод (ЛД) с встроенным фотодиодом (ФД) и систему стабилизации выходной оптической мощности, состоя-

щую из усилителя тока накачки (УТН), источника опорного тока (ИОТ) и усилителя тока ошибки (УТО).

ФПУ включает: лавинный фотодиод (ЛФД) со стабилизированным источником питания (ИП), усилитель фототока (УФТ) и усилитель напряжения (УН).

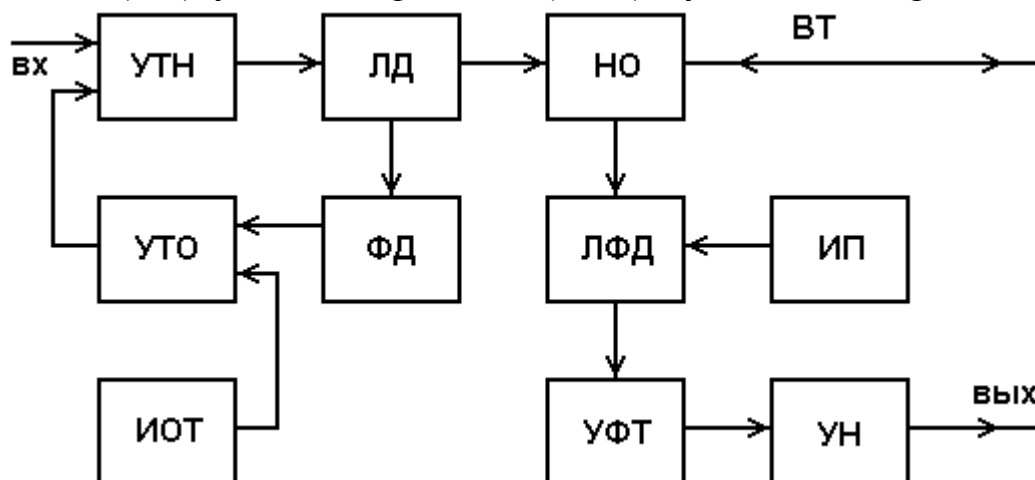


Рис.3.2. Структурная схема оптоэлектронного блока

Периодическая последовательность коротких импульсов напряжения поступает из блока обработки на один вход УТН, который преобразует входное напряжение в ток накачки ЛД. Для стабилизации выходной оптической мощности используется датчик - встроенный ФД, фототок которого поступает на один вход УТО, который преобразует разность фототока и опорного тока от ИОТ в напряжение стабилизирующей отрицательной обратной связи, поступающее на второй вход УТН.

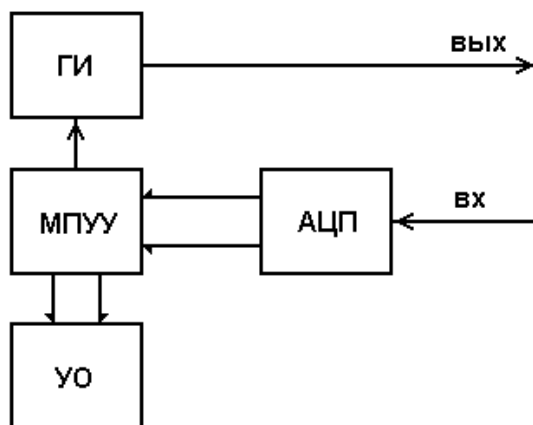


Рис.3.3. Структурная схема электронного блока обработки ОП

УО выполняется на основе электронно-лучевой трубки или жидкокристаллической панели. МПУУ управляет работой АЦП и позволяет осуществлять накопление и запоминание сигналов обратного рассеяния от различных точек ВТ.

Оптические импульсы через НО поступают в исследуемый ВТ. Обратно рассеянное излучение и отраженные от неоднородностей ВТ оптические импульсы через НО поступают на вход ЛФД, где преобразуются в фототок. Последний в УФТ преобразуется в напряжение и усиливается в УН. Коэффициент УН можно изменять при настройке ОП.

Структурная схема электронного блока ОП (рис.3.3) включает генератор импульсов (ГИ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микропроцессорное устройство управления (МПУУ) и устройство отображения (УО).

3. Принцип накопления сигнала обратного рассеяния

Для накопленного сигнала $U_N(l)$, обусловленного участком ВТ, расположенном на расстоянии l от начала ВТ, можно записать

$$U_N(l) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_s(l) + U_{ni}), \quad (3.1)$$

где N - число накоплений сигнала в данной точке; $U_s(l)$ - полезный сигнал в данной точке рефлектограммы; U_{ni} - отсчет шума при i накоплении.

Так как шум на выходе ФПУ является случайной величиной со среднеквадратическим отклонением (СКО) σ , то отношение сигнала к шуму на выходе ФПУ составляет

$$S/N_f = \frac{U_s(l)}{\sigma}. \quad (3.2)$$

После N накоплений отношение сигнала к шуму возрастает пропорционально \sqrt{N}

$$S/N_N = \frac{U_N(l)}{\sigma} = (S/N_f) \cdot \sqrt{N}. \quad (3.3)$$

Числом накоплений в ОР можно управлять. Динамический диапазон ОР, который представляет собой выраженное в логарифмических единицах отношение сигнала обратного релеевского рассеяния при $l=0$ к шуму

$$D_N = 5 \cdot \lg \frac{U_N(0)}{\sigma} = 5 \cdot \lg \frac{U_s(0)}{\sigma} + 2.5 \cdot \lg(N) \quad (3.4)$$

за счет накопления возрастает на $2.5 \cdot \lg(N)$ дБ.

Динамический диапазон ОР зависит также от длительности зондирующего импульса t_i . Если известен динамический диапазон D_0 при длительности импульса t_{i0} , оценить в первом приближении динамический диапазон D при другой длительности импульса t_i можно по выражению

$$D = D_0 + 5 \cdot \lg \frac{t_i}{t_{i0}}. \quad (3.5)$$

Типичная рефлектограмма сигнала обратного рассеяния для ВТ приведена на рис. 3.4. На ней можно выделить однородные участки (2) ВТ (без неоднородностей) с постоянным коэффициентом затухания α , на которых СОР после логарифмирования выглядит, как прямая линия, наклон которой определяет коэффициент затухания. Наряду с линейным изменением уровня СОР на рефлектограмме имеются особенности, обусловленные различными неоднородностями. Начальный выброс сигнала (1) вызван френелевским отражением от входного торца исследуемого ВС. Как правило, он вводит ФПУ в насыщение, а время выхода из него определяет важный параметр ОР - мертвую зону, т.е. расстояние Δl_m , на котором невозможно обнаружить неоднородности и измерить коэффициент затухания. Выброс сигнала с перепадом затухания (4) возникает при наличии в тракте разъемного соединителя, а также при наличии в волокне маленьких включений инородных примесей или пузырьков воздуха. Такие отражения характеризуются возвратными потерями, которые могут быть рассчитаны по выражению:

$$a_{\text{в}} = -10 \cdot \lg R, \quad (3.6)$$

где R - коэффициент отражения.

Коэффициент отражения для границы раздела кварц / воздух достигает значительной величины 4% при угле падения 0° . Однако, если поверхность скошенная, неровная или загрязненная, коэффициент отражения может иметь значительно меньшую величину, и отражение от обрыва или заднего торца ВТ не всегда можно обнаружить.

Неразъемные соединения (сварные, клеевые и механические сростки волокон), в которых обычно отсутствуют отражения, отображаются на рефлектограмме ступенькой (3). Конец ВТ или его обрыв определяется по отраженному от заднего торца импульсу (5) и следующему за ним участку (6) с резкими случайными перепадами уровня регистрируемого сигнала, обусловленных шумами ФПУ.

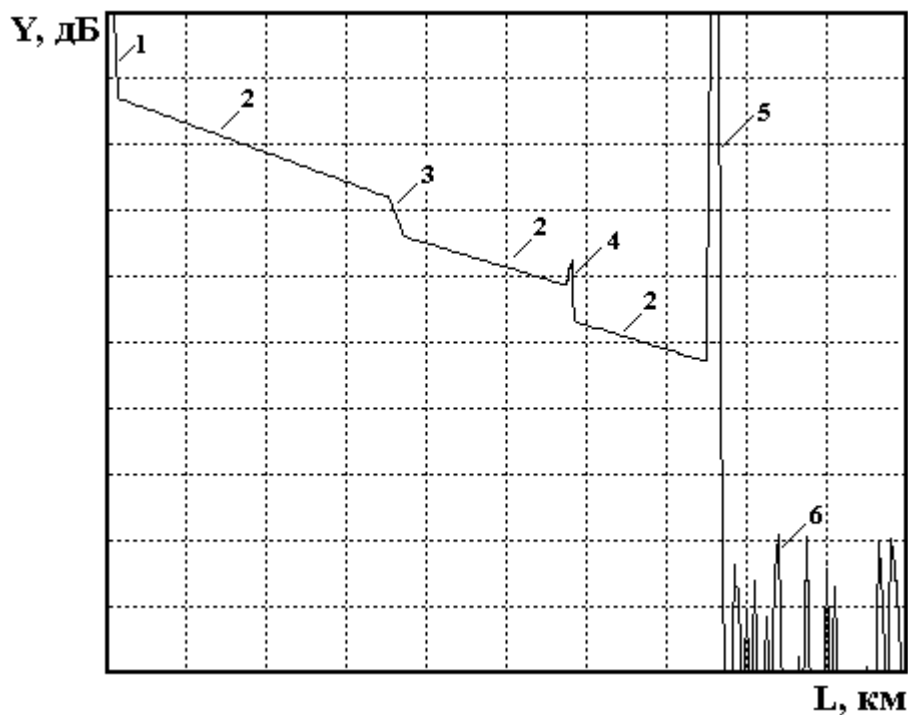


Рис.3.4. Сигнал обратного рассеяния

УПРАВЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

1. Основное меню

Основное меню (рис. 3.5) содержит следующие пункты (режимы работы): «Помощь», «Вариант», «Параметры», «Рефлектограмма», «Сварка», «Подключение», «Настройка» и «Выход». После запуска программы, выбрав пункт горизонтального меню «Вариант» курсорными клавишами устанавливается указанный преподавателем вариант задания. На экран выведены параметры ОР, заданные по умолчанию. Изменение пунктов основного меню осуществляется горизонтальными курсорными клавишами. Обращение к выбранному пункту осуществляется клавишей «Enter».

Клавишами <Стрелка влево/вправо> выберите вариант и нажмите клавишу <ENTER>

Помощь Вариант Параметры Рефлектограмма Сварка Подключение Настройка Выход

*** Выбор варианта ***

97 98 99 01 02 03 04 { 05 } 06 07 08 09 10 11 12

*** Параметры рефлектометра ***

Коэффициент усиления $K_u = 100$
Длительность импульса $T_i = 200$ нс
Длина волны $L_v = 1.30$ мкм

Режим просмотра - обзор
Длина участка $L = 25.00$ км
Начало отсчета $L_o = 0.00$ км
Конец отсчета $L_m = 25.00$ км

Оптический разъем - 9/125 мкм

Режим накопления - параллельный
Число накоплений = 200000

Шкала затухания - логарифмическая
Градуировка шкалы - 2.5 дБ/делл

Рис.3.5. Главное меню

2. Задание параметров ОР

Длительность импульса $T_i=200$ нс

Помощь Вариант Параметры Рефлектограмма Сварка Подключение Настройка Выход

Коэффициент усиления
Длительность импульса
Длина участка
Длина волны
Режим работы
Режим накопления
Оптический разъем
Режим "ОБЗОР"
Выход

Длительность импульса

$T_i=20$ нс $T_i=50$ нс $T_i=100$ нс $T_i=200$ нс
 $T_i=500$ нс $T_i=1000$ нс $T_i=2000$ нс $T_i=5000$ нс

Параметры рефлектометра *

Коэффициент
Длительность импульса $T_i = 200$ нс
Длина волны $L_v = 1.30$ мкм

Оптический разъем - 9/125 мкм

Режим просмотра - обзор
Длина участка $L = 25.00$ км
Начало отсчета $L_o = 0.00$ км
Конец отсчета $L_m = 25.00$ км

Режим накопления - параллельный
Число накоплений = 200000

Шкала затухания - логарифмическая
Градуировка шкалы - 2.5 дБ/делл

Рис.3.6. Настройка рефлектометра

Режим "ПАРАМЕТРЫ" (рис. 3.6) позволяет выйти в подменю, каждый пункт которого предназначен для установки определенного параметра ОР. Для перемещения по подменю используются вертикальные курсорные клавиши. Вы-

бор устанавливаемого параметра подтверждается клавишей «Enter». Для установки конкретного значения выбранного параметра также используется подменю, управляемое курсорами. Выбранное значение параметра подтверждается клавишей «Enter». После установки значений всех параметров для выхода в главное меню нажмите клавишу «Enter» при выборе пункта подменю "Выход".

Пункт меню «Коэффициент усиления» позволяет изменять коэффициент передачи УН в ФПУ в пределах от 0.3 до 10000. При этом изменяется расположение рефлектограммы на экране в логарифмическом масштабе, но не меняется отношение сигнала к шуму.

Пункт меню «Длительность импульса» позволяет изменять длительность импульса в пределах от 20 до 5000 нс. При изменении длительности изменяется расположение рефлектограммы на экране в логарифмическом масштабе и отношение сигнала к шуму, так как изменяется уровень сигнала обратного рассеяния. С увеличением длительности уровень сигнала обратного рассеяния растет, а уровень френелевских сигналов и уровень шума практически не изменяются.

Пункт меню «Длина участка» позволяет изменить протяженность горизонтальной шкалы ОР. Доступны следующие значения - 1, 5, 25 и 125 км.

Пункт меню «Длина волны» позволяет изменить тип оптоэлектронного блока. При этом для длины волны $\lambda = 1.3$ мкм необходимо выбрать также и тип оптического разъема 50/125 мкм или 9/125 мкм в пункте меню «Оптический разъем». Для других длин волн оптический разъем и длина волны связаны однозначно. Поэтому достаточно задать только длину волны.

Пункт меню «Режим работы» позволяет выбрать между линейным масштабом по оси Y и логарифмическим. Второй режим работы удобнее при измерениях затухания и потерь. Шкала градуируется непосредственно в дБ. В линейном режиме по вертикальной оси откладывается величина напряжения сигнала в Вольтах на выходе ФПУ. После выбора режима работы в этом же пункте выбирается цена деления вертикальной шкалы дБ/дел в логарифмическом масштабе (в пределах от 0.25 до 2.5 дБ/дел) и в В/дел в линейном масштабе (в пределах от 1 мВ/дел до 1.0 В/дел).

Пункт меню «Режим накопления» позволяет выбрать между последовательным и параллельным накоплением сигнала обратного рассеяния. В первом случае в каждом измерительном периоде измеряется сигнал только в одной точке рефлектограммы. В каждой точке проводится N измерений (N может изменяться от 10 до 1000). После чего начинается регистрация другой точки.

Общее время регистрации T_r прямо пропорционально числу регистрируемых точек M и числу накоплений в каждой точке N

$$T_r = N \cdot M \cdot T_0 = \frac{N \cdot M}{F_0}, \quad (3.7)$$

где $T_0 = 1 / F_0$ - период следования зондирующих импульсов.

Во втором случае в каждом измерительном периоде измеряется сигнал ото всех точек рефлектограммы. Число накоплений N может изменяться от 2000 до 2000000. Общее время регистрации не зависит от числа регистрируемых точек M и составляет

$$T_r = N \cdot T_0 = \frac{N}{F_0}. \quad (3.8)$$

Отметим, что параллельное накопление организовать технически сложнее чем последовательное. Кроме того, его реализация требует применения большего количества быстродействующих микросхем, что приводит также к увеличению энергопотребления. При работе на установке помните, что с увеличением числа накоплений N резко возрастает время измерения, особенно при последовательном накоплении.

3. Управление сварочным аппаратом

Режим «СВАРКА» позволяет войти в подменю, состоящее из двух пунктов: «Сварка» и «Скол». При выборе пункта «Сварка» происходит сварка двух ВС, в последовательности указанной в режиме основного меню «ПОДКЛЮЧЕНИЕ». При выборе пункта «Скол» сварка, если она была перед этим сделана, разрушается и на рефлектограмме можно видеть только один ВС.

4. Управление подключением

Режим «ПОДКЛЮЧЕНИЕ» позволяет выйти в подменю, состоящее из трех пунктов: «ВС1+ВС2», «ВС2+ВС1» и «Нет подключения». Выбирая первый или второй пункт, можно подключить ОР с любой стороны ВТ. При установке третьего пункта можно наблюдать отражение от границы раздела ВС / воздух.

5. Запуск измерительного процесса и управление рефлектограммой

Режим «РЕФЛЕКТОГРАММА» позволяет запустить ОР на регистрацию рефлектограммы. Основной целью выбора и задания параметров ОР является получение наглядной рефлектограммы, по возможности свободной от шумов, и по которой можно определять параметры исследуемого волоконного тракта и самого ОР. Экран рефлектометра показан на рис. 3.7.

Для измерения уровней сигналов обратного рассеяния и расстояний до соответствующих точек используются два вертикальных курсора, которые перемещаются с помощью курсорных клавиш клавиатуры: левый курсор – клавишами \rightarrow и \leftarrow , правый – клавишами \uparrow и \downarrow . Отсчеты расстояний в км и сигналов обратного рассеяния в дБ находятся под экраном с рефлектограммой. Там же приводится расстояние между курсорами и разность сигналов обратного рассеяния. Обратите внимание, что на экране рефлектометра отсчет сигнала обратного рассеяния обозначен буквой A , в то время как в данных методических указаниях эта величина обозначена буквой Y .

Предусмотрена возможность подробного изучения фрагмента рефлектограммы, находящегося между курсорами, с помощью нажатия большой клавиши пробела. Этот режим работы называют «электронной лупой» или «окном» (рис. 3.8). Режим используется для повышения точности измерения расстояний и вносимого неоднородностями затухания. Операция выделения фрагмента может выполняться и для уже выбранного фрагмента. Возврат к исходной рефлектограмме осуществляется через меню «ПАРАМЕТРЫ» - пункт «Обзор». При наблюдении

выбранного фрагмента рефлектограммы можно повысить точность измерения расстояний и вносимого неоднородностями затухания.

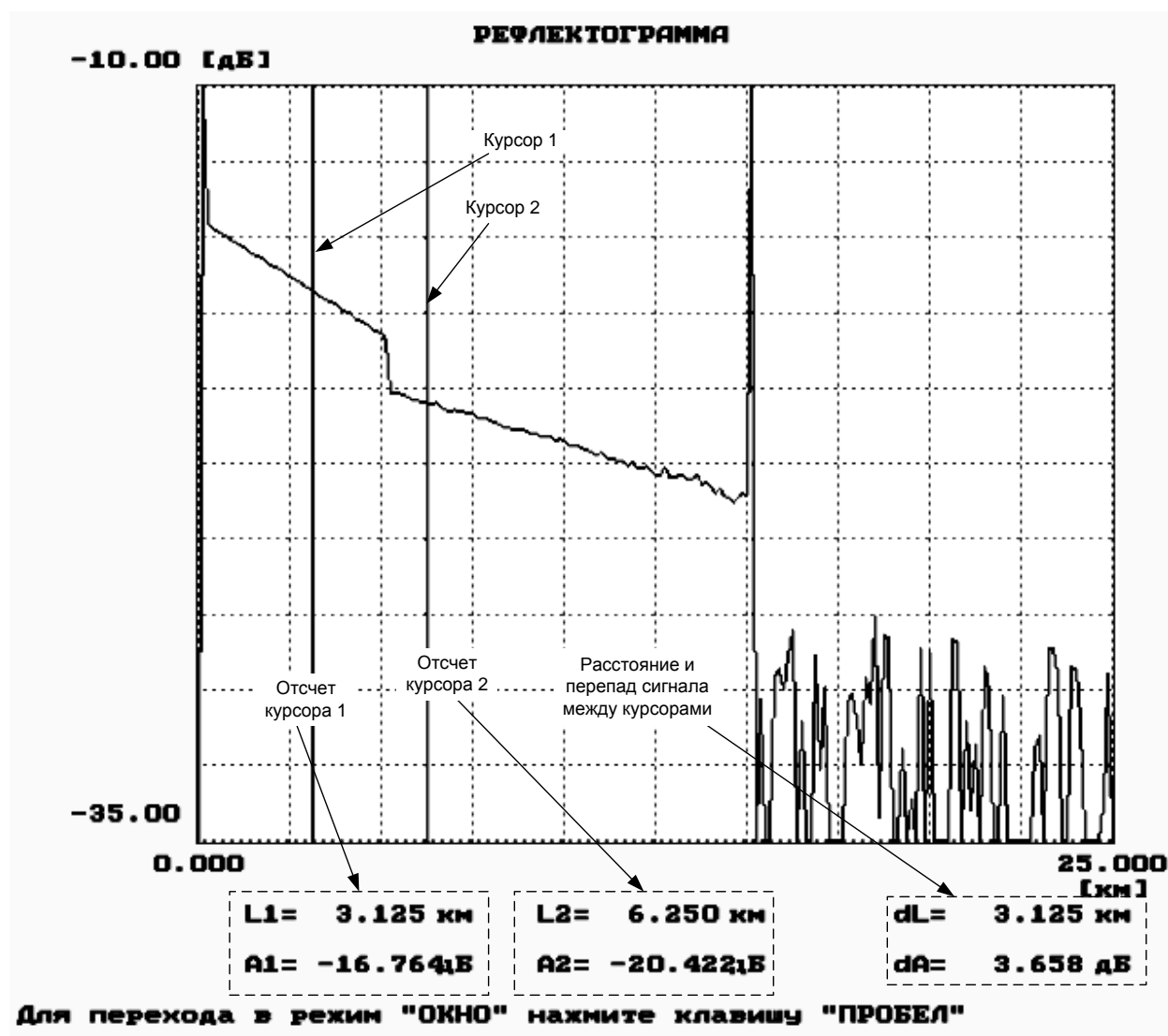


Рис.3.7. Экран рефлектометра

6. Настройка программы

Режим «НАСТРОЙКА» предназначен для выбора вывода на экран монохромного или цветного изображения, для включения и выключения звуковых эффектов, для подстройки программы под быстроедействие компьютера. Для подстройки с помощью курсорных клавиш изменяется задержка.

7. Помощь

В режиме «ПОМОЩЬ» содержатся некоторые сведения по управлению лабораторной установкой.

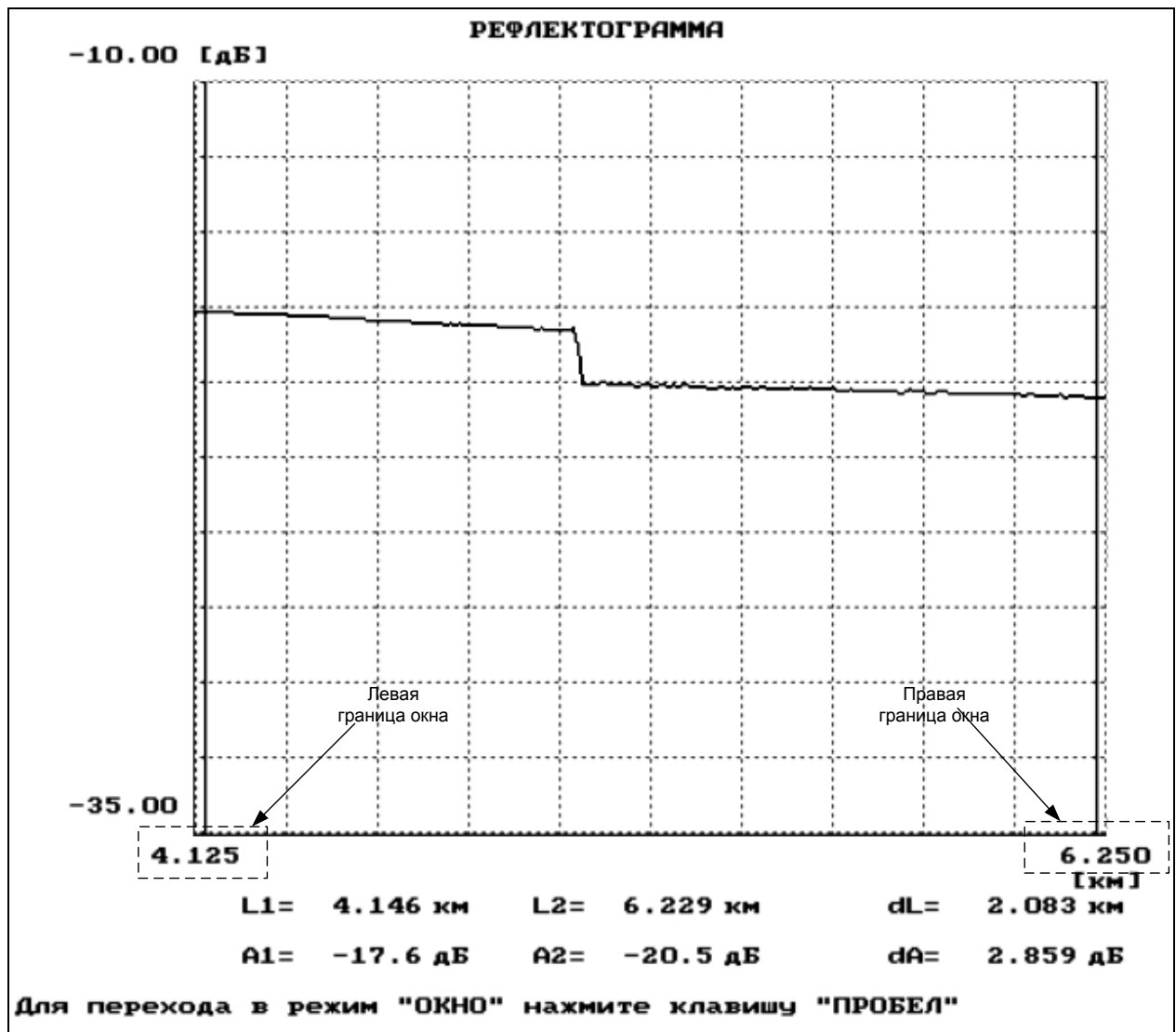


Рис.3.8. Режим «Окно»

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Определение типа ВС и потерь на вводе

В настоящее время в оптических кабелях дальней связи используют волоконные световоды (ВС) с кварцевыми сердцевинами и оболочкой двух основных типов: одномодовые ВС (ОВС) и многомодовые ВС (МВС) с градиентным профилем показателя преломления. Они имеют одинаковый диаметр оболочки $2b = 125$ мкм, но разный диаметр сердцевины $2a = 50$ мкм для МВС и $2a = 8-10$ мкм для ОМВ. Конструкции оптических разъемов для различных ВС практически одинаковы, что приводит к возможности неправильного подключения ВС к оптическому рефлектометру (ОР). Например, подключение ОВС к многомодовому выходу ОР или подключение МВС к одномодовому выходу ОР приводит к большим потерям на вводе или выводе излучения, уменьшению полезного сигнала и ухудшению отношения сигнала к шуму. Причем большие потери возникают только при переходе излучения из МВС в ОВС. Потери в первом приближении определяются отношением площадей сердцевины соединяемых ВС (или квадратов радиусов) и отношением числовых апертур. Дополнительные потери на вво-

де/выводе излучения при неправильном соединении ВС можно оценить по выражению

$$a_d = 10 \cdot \lg \frac{r_m \cdot NA_m}{r_o \cdot NA_o}, \text{ дБ} \quad (3.9)$$

где r_m , r_o - радиусы МВС и ОВС, соответственно; NA_m , NA_o - числовые апертуры МВС и ОВС, соответственно.

Для экспериментального определения типа ВС и величины дополнительных потерь за счет неправильного выбора оптического блока необходимо провести измерения уровней сигнала Y_s на определенном расстоянии и шума Y_n за пределами ВС на длине волны $\lambda = 1.3$ мкм при двух типах оптических разъемов ОР (многомодовом 50/125 мкм и одномодовом 9/125 мкм).

Предварительно установите следующие режимы работы лабораторной установки: подключение - (ВС1+ВС2); сварка - (скол) и следующие параметры ОР: коэффициент усиления - (100); длительность импульса - (500 нс); длину волны - (1.3 мкм); режим просмотра - (обзор); максимальное расстояние - (25 км); режим работы - (логарифмический); цена деления по вертикали - (2.5 дБ/дел); оптический разъем - (многомодовый 50/125 мкм); режим накопления - (параллельный); число накоплений - (2000).

Измерения должны проводиться с помощью курсора в таких точках, в которых насыщение ФПУ отсутствует. Для измерения уровня шума курсором выбирается максимальный шумовой всплеск на рефлектограмме за пределами ВС. Результаты измерения сигнала и шума занесите в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Длительность импульса, нс	Оптический разъем	Y_s , дБ	Y_n , дБ	a_d , дБ	Тип волокна
	50/125				
	9/125				

Тип подключенного к ОР световода соответствует тому оптическому разъему, при котором уровень сигнала при одном и том же расстоянии больше. По результатам измерений рассчитайте потери на вводе/выводе при несоответствии ВС и оптического блока ОР по выражению

$$a_d = |Y_{sm} - Y_{so} + Y_{nm} - Y_{no}|, \quad (3.10)$$

где индексы "m" и "o" означают МВС и ОВС, соответственно, индексы "s" и "n" означают сигнал и шум, соответственно.

Зарисуйте рефлектограммы ВС конечной длины в логарифмическом и линейном масштабах. Обратите внимание на различие их форм, а также на различный характер шума. Укажите в отчете тип используемого ВС и рассчитанное по экспериментальным данным значение потерь на вводе.

2. Определение основных параметров ВС1 И ВС2

Подготовка к измерениям

После определения типа ВС установите в режиме «ПАРАМЕТРЫ» длину волны $\lambda = 1.3$ мкм и соответствующий световоду тип оптического разъема. Под-

ключите выбранный ВС и проверьте, что в режиме «СВАРКА» включен «Скол». Изменяя длительность импульса, длину участка, добейтесь получения рефлектограммы, на которой видны: импульс отраженный от переднего торца ВС, участок однородного ВС, импульс отраженный от заднего торца ВС и шумы за пределами ВС. При изменении параметров ОР учитывайте следующее:

- - при изменении коэффициента усиления ФПУ отношение сигнала к шуму не изменяется;
- - при увеличении длительности импульса возрастает сигнал обратного рассеяния, отношение сигнала к шуму, а отраженный импульс и шумовое напряжение практически не изменяется;
- - при увеличении числа накоплений уменьшается шумовое напряжение, возрастает отношение сигнала к шуму, а сигнал обратного рассеяния не изменяется.

Определение длины ВС

Проведите измерения длины ВС1 и ВС2 (при одной длине волны $\lambda = 1.3$ мкм). Подключение к рефлектометру ВС1 или ВС2 осуществляется в режиме «ПОДКЛЮЧЕНИЕ».

Для определения длины ВС используйте любой из двух курсоров. Длина ВС соответствует началу импульса, отраженного от заднего торца ВС. Подводите курсор слева к импульсу отраженному от заднего торца ВС. За начало импульса принимается последняя точка, после которой начинается увеличение сигнала. Для увеличения точности необходимо перейти в режим «Окно». Выделите с помощью первого и второго курсоров участок ВС, который содержит отраженный от конца ВС импульс. Точность определения расстояний возрастает с уменьшением длительности импульса. Результаты измерений занесите в табл. 3.2.

Таблица 3.2

λ , мкм	ВС	L , км	Y_{s1} , дБ	Y_{s2} , дБ	L_1 , км	L_2 , км	ΔL , км	α , дБ/км	a , дБ
1.3	BC1								
	BC2								
	BC1	-							
	BC2	-							

Определение коэффициента затухания ВС

Проведите измерение коэффициентов затухания ВС1 и ВС2 на двух длинах волн, которые используются с данным типом ВС, например для МВС на $\lambda=0.85$ и 1.3 мкм, а для ОВС на $\lambda=1.3$ и 1.55 мкм.

Для определения коэффициента затухания на однородном участке ВС (рис. 3.9) необходимо с помощью курсоров выбрать две точки, отстоящие друг от друга на расстояние

$$\Delta L = L_2 - L_1, \quad (3.11)$$

и определить в них уровни сигналов Y_{s1} и Y_{s2} . Коэффициент затухания рассчитайте по выражению:

$$\alpha = \frac{Y_{s1} - Y_{s2}}{\Delta L}, \text{ дБ/км} \quad (3.12)$$

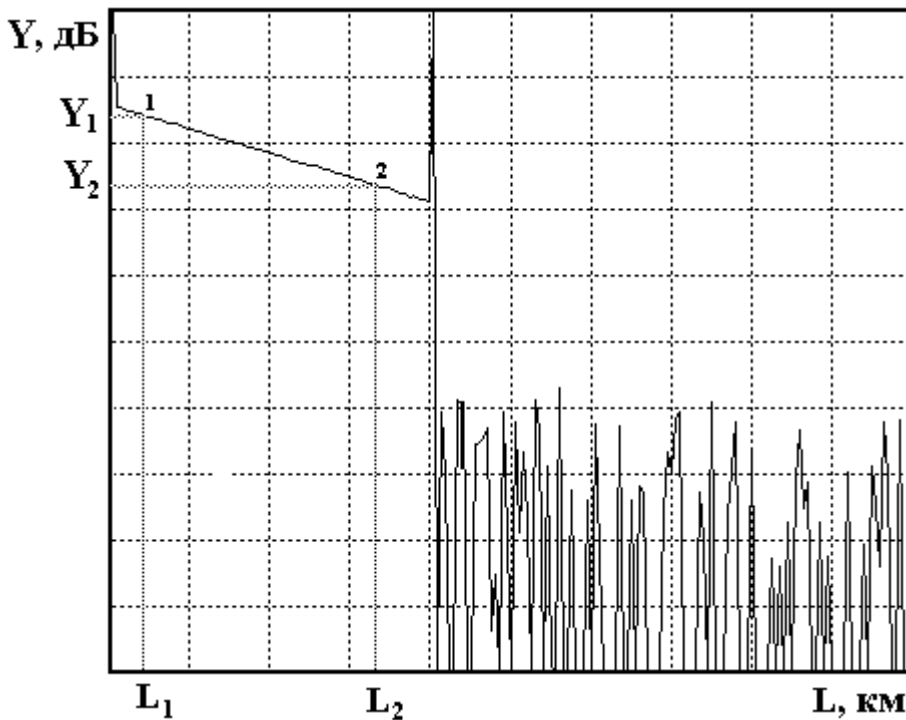


Рис. 3.9. Измерение коэффициента затухания

Общее затухание на однородном участке определите по выражению $a = \alpha \cdot L$, дБ, (3.13) а также как разность уровней сигнала между двумя курсорами, совмещенными с интересующими нас точками.

Для повышения точности измерений Y_s необходимо уменьшать цену деления по оси Y . Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 3.2.

3. Определение параметров ОР

Измерение ширины мертвой зоны

«Мертвая зона» (рис. 3.10) образуется из-за насыщения ФПУ. В этой зоне невозможно проведение измерений, в частности невозможно обнаружить даже отражение от обрыва ВС. Обычно самое большое отражение, которое насыщает ФПУ, возникает от входного торца ВС.

Различают мертвую зону по обратному рассеянию ΔL_{ms} и по отражению ΔL_{mr} , как показано на рис. 3.10.

Мертвая зона по отражению определяется расстоянием между началом отраженного импульса и точкой с уровнем -1.5 дБ по отношению к насыщению. За этой мертвой зоной могут быть идентифицированы последующие отражательные события.

Мертвая зона по рассеянию определяется расстоянием между началом отраженного импульса и точкой с уровнем, который отличается от уровня сигнала обратного рассеяния на ± 0.5 дБ.

Для измерения ширины «мертвой зоны» необходимо рассмотреть в режиме «Окно» начальный участок рефлектограммы. Перед переходом в режим «Окно» установите первый курсор на расстояние $L_1 = 0$, второй курсор установите так, чтобы импульс, отраженный от переднего торца ВС оказался между курсорами.

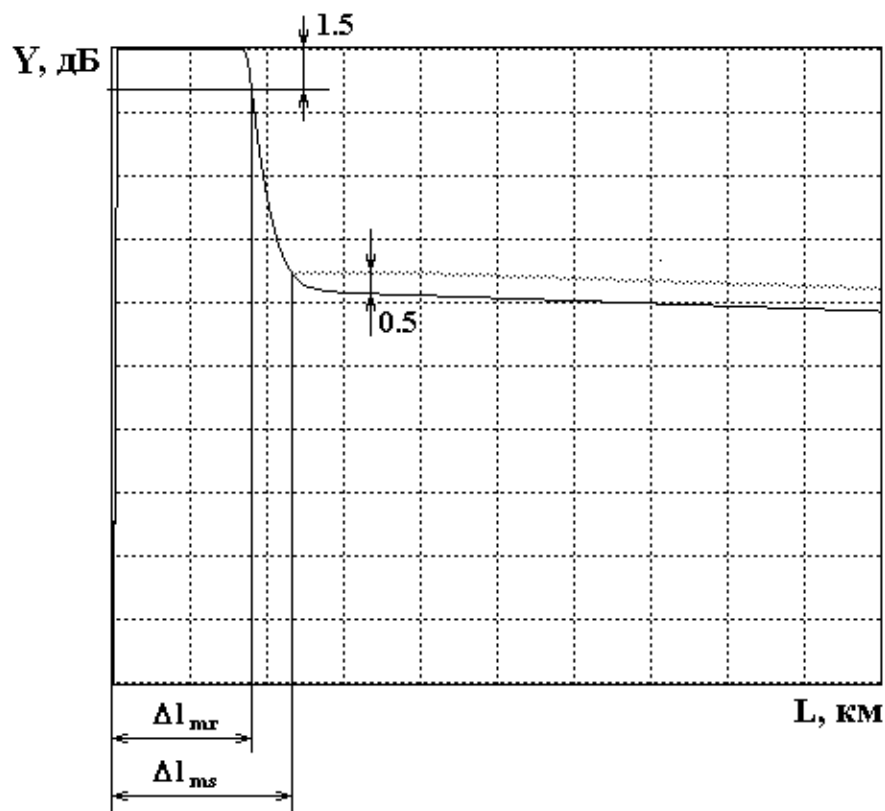


Рис. 3.10. Определение ширины «мертвой зоны»

Проведите измерения ширины «мертвой зоны» по отражению и рассеянию в зависимости от длительности импульса и длины волны. Результаты измерений поместите в табл. 3.3.

Таблица 3.3

λ , мкм	Δl_{ms} , км при T_i , нс					Δl_{mr} , км при T_i , нс				
	20	50	100	500	2000	20	50	100	500	2000
1.3										

При измерениях необходимо следить за тем, чтобы ФПУ не входило в насыщение от рассеянного сигнала. При этом должно быть четко видно отражение от переднего торца.

Измерение динамического диапазона

Динамический диапазон определяет максимальное затухание волоконного тракта (ВТ), при котором отношение сигнала рассеянного от конца ВТ к шуму равно 1.

Для экспериментального определения динамического диапазона ОР необходимо измерить уровень сигнала обратного рассеяния от начала ВТ Y_s (сразу после импульса, отраженного от переднего торца ВТ) и уровень шума Y_n , определяемый по уровню максимального пика (рис. 3.11). Динамический диапазон определяется по выражению

$$D = Y_s - Y_n + 2.4, \text{ дБ} \quad (3.14)$$

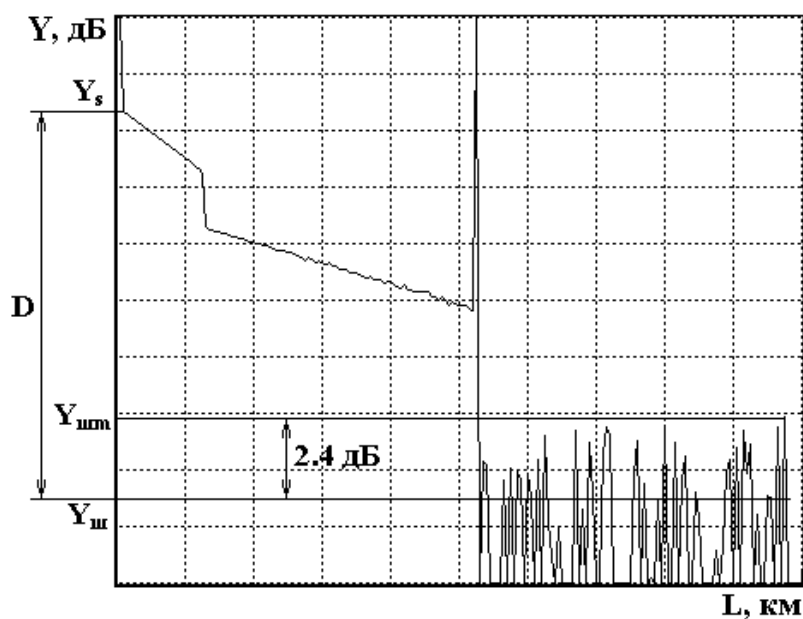


Рис. 3.11. Измерение динамического диапазона

где 2.4 дБ определяют разность между максимальным значением шума и среднеквадратическим.

Динамический диапазон определяется на длинах волн 0.85 и 1.3 мкм для многомодовых ВС и 1.3 и 1.55 для одномодовых ВС.

Результаты измерений динамического диапазона от длины волны λ , длительности импульса T_i и числа накоплений N внесите в табл. 3.4.

Таблица 3.4

λ , мкм	N	2000			20000		
	T_i , нс	20	200	2000	20	200	2000
1.3	D , дБ						

4. Измерение потерь в сварных соединениях

Измерения проводятся на длине волны $\lambda = 1.3$ мкм. Установите последовательность подключения ВС (BC1+BC2). Сварите волокна, включив режим «Сварка». Убедитесь по рефлектограмме, что BC1 и BC2 сварены. Для повышения точности измерений используйте режим «Окно» и уменьшите цену деления по оси Y . Для расположения участка рефлектограммы со сваркой посередине экрана ОР нужно изменять коэффициент усиления ФПУ и длительность зондирующего импульса.

Вносимые сваркой потери определите методом трех курсоров с двух концов ВТ, то есть при подключении ОР со стороны BC1 и BC2.

На рис.3.12 показана типичная рефлектограмма отражающей неоднородности, например, дефектного сварного соединения или разъема. Первый курсор устанавливают в точке, соответствующей концу BC1. Ему соответствуют расстояние l_1 и сигнал обратного рассеяния Y_1 . Курсоры 2 и 3 устанавливаются на однородном участке BC2. При этом фиксируют соответствующие уровни сигналов Y_2 , Y_3 и расстояния l_2 , l_3 . За потери в соединении принимается разность уровней $Y_A = Y_1$ и Y_B . Точка А находится в точке начала стыка на расстоянии l_1 , а точка В находится на пересечении курсора 1 с прямой, аппроксимирующей сигнал обратного рассеяния на участке ВТ после соединения. Аппроксимация производится по двум точкам, определяемым курсорами 2 и 3. Курсор 2 следует располагать непосредственно после стыка, в точке, которая лежит на линейном участке сигнала об-

ратного рассеяния. Курсор 3 должен лежать, как можно дальше от стыка, но на линейном участке сигнала обратного рассеяния.

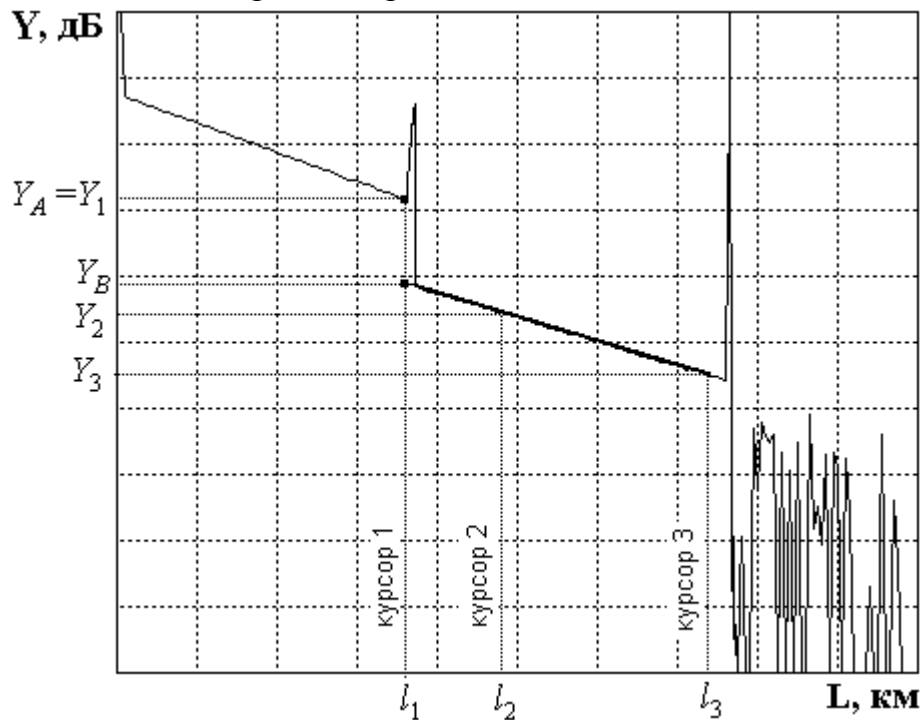


Рис. 3.12. Измерение вносимых потерь в соединении методом трех курсоров

Для определения средних потерь \bar{a}_s при сварке ВС и их среднеквадратического отклонения (СКО) проведите многократные измерения (не менее 5) потерь в сварке. Для этого после измерения потерь в очередной сварке произведите скол ВС и повторную сварку. При возникновении аномальной сварки с большим френелевским отражением проводится повторная сварка, а аномальная сварка игнорируется.

Результаты измерений занесите в табл. 3.5.

Рассчитайте вносимые потери в соединении по выражению:

$$a_{si} = Y_1 - Y_2 \cdot \frac{l_3 - l_1}{l_3 - l_2} + Y_3 \cdot \frac{l_2 - l_1}{l_3 - l_2}, \quad (3.15)$$

где $i = 1$ при измерении со стороны ВС1 и $i = 2$ при измерении со стороны ВС2. Выражение (3.15) справедливо как для сварных, так и для разъёмных соединений.

В современных ОР для этих измерений все курсоры устанавливаются на рефлектограмме одновременно и расчет потерь проводится по заложенной в программное обеспечение ОР формуле.

Результат расчета потерь может в некоторых случаях иметь отрицательный знак. Отрицательные потери в сварке физически не возможны. Такой результат свидетельствует о том, что свариваемые ВС имеют разные значения коэффициентов рассеяния и (или) разные числовые апертуры. Причем уровень обратного рассеяния во втором ВС в этом случае, как правило, превышает соответствующий уровень в первом. Обычно при этом наблюдаются и значительные расхождения в коэффициентах затухания этих ВС. В связи с этим при измерении потерь в соединениях ВС с различными параметрами методом обратного рассеяния возникает

методическая погрешность. Для исключения этой погрешности необходимо проводить измерения с двух концов ВТ, т.е. провести два измерения потерь в стыке при подключениях (BC1+BC2) и (BC2+BC1). На рис. 3.13 показаны рефлектограммы, иллюстрирующие такую измерительную ситуацию.

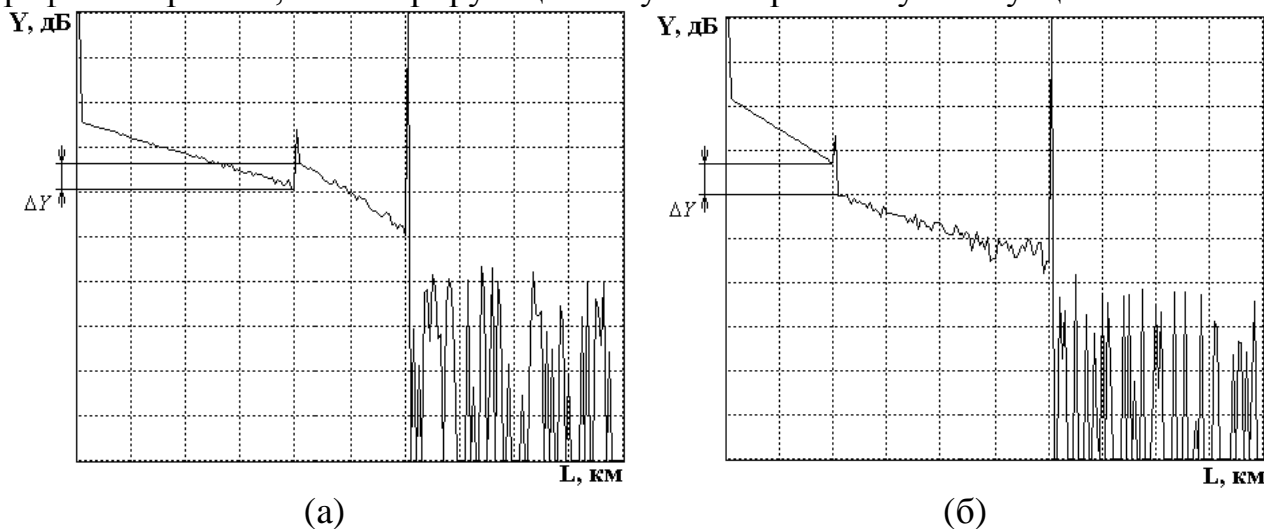


Рис.3.13. Рефлектограммы, зарегистрированные с обоих концов ВТ

Потери в стыке определите по выражению

$$a_s = \frac{a_{s1} + a_{s2}}{2}, \quad (3.16)$$

где a_{s1} , a_{s2} - потери в стыке, измеренные с разных концов ВТ.

Таблица 3.5

№	Подкл	Экспериментальные данные						Рассчитанные величины			
		L_1 , км	L_2 , км	L_3 , км	Y_{s1} , дБ	Y_{s2} , дБ	Y_{s3} , дБ	a_{si} , дБ	a_s , дБ	\bar{a}_s , дБ	$\sigma(a_s)$, дБ
1	BC1										
	BC2										
2	BC1										
	BC2										
3	BC1										
	BC2										
4	BC1										
	BC2										
5	BC1										
	BC2										

Средние потери \bar{a}_s и СКО $\sigma(a_s)$ определите по следующим выражениям:

$$\bar{a}_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{sj} \quad (3.17)$$

где n – число сварок, j – номер сварки, a_{sj} – результат измерения потерь в j -той сварке.

$$\sigma(a_s) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (a_{sj} - \bar{a}_s)^2}, \quad (3.18)$$

Результаты расчетов поместите в табл. 3.5.

5. Измерение возвратных потерь в неоднородности

При сварке ВС существует некоторая вероятность возникновения дефектных сварок, которые представляют собой отражающие неоднородности, которые характеризуются возвратными потерями (3.6). В данной лабораторной установке примерно через пять успешных сварок появляется одна дефектная с отражением от места стыка ВС. Ее необходимо найти, несколько раз повторив процедуры сварки и скола ВС.

Для определения возвратных потерь с помощью ОР получите рефлектограмму, на которой виден выброс сигнала, обусловленный френелевским отражением Y_F в разъемном соединении (рис. 3.14). Этот выброс не должен вызывать перегрузку ФПУ, т.е. уровень Y_F должен лежать в пределах экрана ОР. Если этот уровень выходит за пределы экрана необходимо уменьшить коэффициент усиления ФПУ. Затем по рефлектограмме измерьте уровни сигнала обратного рассеяния Y_s и Y_F . Результаты измерений занесите в табл. 3.6.

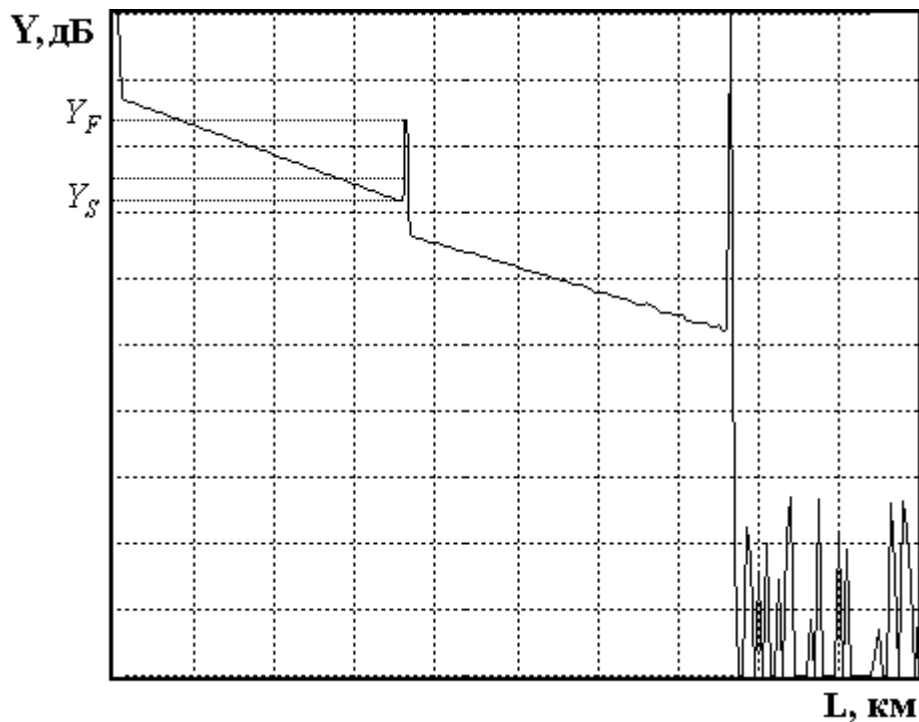


Рис. 3.14. Методика измерения возвратных потерь

Таблица 3.6

t_i , нс	Y_s , дБ	Y_F , дБ	a_B , дБ

Рассчитайте возвратные потери по выражению:

$$a_B = -2 \cdot Y_{s0} - 10 \cdot \lg \frac{t_i}{t_{i0}} - 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{Y_F - Y_s}{5}} - 1 \right), \quad (3.19)$$

где Y_{s0} - относительный уровень СОР при длительности зондирующего импульса t_{i0} ; t_i - длительность зондирующего импульса, при которой была зарегистрирована рефлектограмма.

Для $t_{i0}=1$ нс типичные значения затухания обратного рассеяния Y_{s0} для стандартных ВС приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Тип ВС	λ , мкм	Y_{s0} , дБ
МВС	0.85	-35
	1.3	-37.5
ОВС	1.31	-39.5
	1.55	-40.5

Результат расчета по выражению (3.19) занесите в табл. 3.6.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Упрощенную структурную схему оптического рефлектометра.
2. Два рисунка рефлектограммы в линейном и логарифмическом масштабах.
3. Таблицы 3.1-3.6 с результатами измерений и расчетов.
4. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«Исследование потерь в разъемных и неразъемных соединениях»

Цель работы:

Изучение физических причин, вызывающих потери в разъемных и неразъемных соединениях. Исследование зависимостей потерь в разъемных соединениях от радиальных и осевых смещений ВС. Исследование статистических характеристик потерь в сварных соединениях. Изучение принципов действия и получение навыков в работе с оптическим рефлектометром, ваттметром, сварочным аппаратом.

Подготовка к работе:

При подготовке к работе должны быть изучены следующие разделы учебного пособия М.С. Былина, С.Ф. Глаголев, Л.Н. Кочановский, В.В. Пискунов. Измерение параметров волоконно-оптических линейных трактов.- СПб, 2002 (издание СПбГУТ):

- Потери в стыках ВС (разд. 4.2.2)
- Измерение вносимого затухания методом сравнения уровней (разд. 4.2.3)
- Измерение излучения, рассеянного в линейном тракте (разд. 5)

УПРАВЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

1. Основное управление

Работа представляет собой виртуальную лабораторную установку. Управление осуществляется функциональными клавишами, значение которых обозначено в главном меню:

- F1 – возврат к выбору варианта,
- F2 – описание лабораторной установки,
- F3 – программа исследований,
- F4 – выбор схемы исследования,
- F5 – сварочный аппарат,
- F6 – проведение измерений,
- F7 – изменение параметров ОР и ВС,
- F8 – выход из программы.

2. Схемы лабораторной установки

Измерения потерь в разъемных и неразъемных соединениях проводятся в различных схемах. Выбор схемы исследования осуществляется на отдельном экране (рис. 4.1)

Лабораторная установка для экспериментального исследования потерь в разъемных и неразъемных соединениях содержит:

- оптический рефлектометр (ОР);
- сварочный аппарат (СА);
- ваттметр проходящей мощности (В);
- исследуемые волоконные световоды (ВС1 и ВС2).

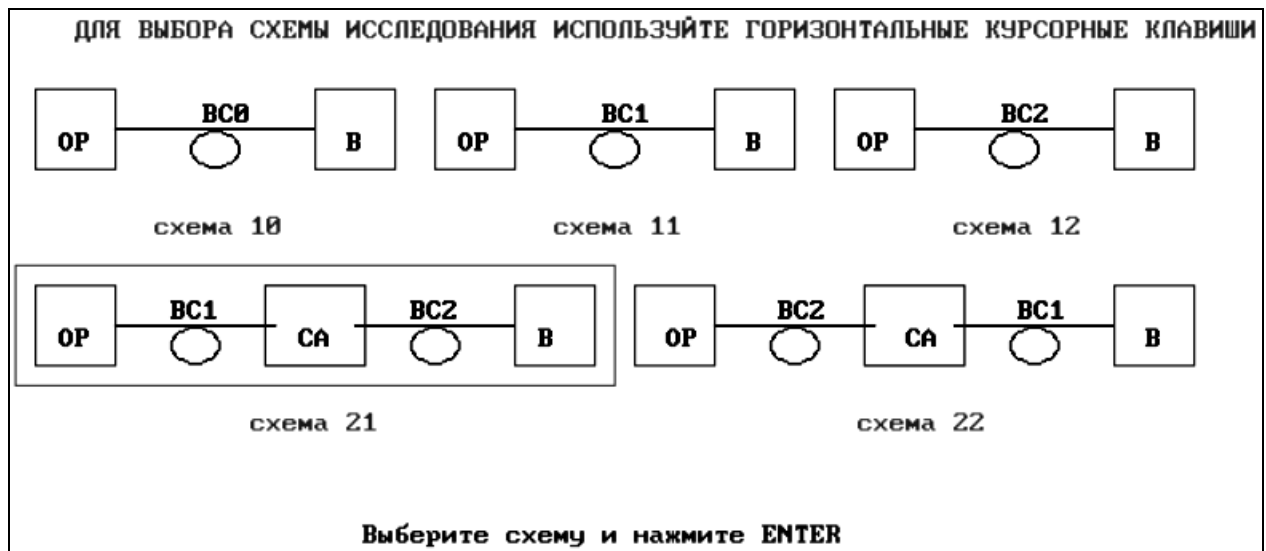


Рис. 4.1. Выбор схемы лабораторной установки

При исследованиях потерь используются 2 вида схем.

Схемы 1 (разновидности 10, 11, 12) предназначены для определения вносимого затухания в исследуемых ВС (ВС1 и ВС2) и коротком поводке ВСО с помощью В, а также длины и коэффициента затухания в исследуемых ВС (ВС1 и ВС2) с помощью ОР. ОР выполняет функции источника излучения при измерениях проходящей мощности, а также позволяет наблюдать рефлектограммы исследуемых ВС (ВС1 и ВС2).

Схемы 2 (разновидности 21, 22) предназначены для определения потерь в разъемных и неразъемных соединениях ВС как в проходящем свете с помощью В, так и в рассеянном свете с помощью ОР. ОР позволяет наблюдать рефлектограммы волоконного тракта (ВТ), состоящего из двух ВС (ВС1 и ВС2), концы которых, освобожденные от защитных покрытий, помещены в юстировочное устройство СА.

Выбранная в данный момент схема обозначается на экране рамочкой, выбор другой схемы осуществляется курсорными клавишами \rightarrow и \leftarrow .

3. Сварочный аппарат

СА (рис. 4.2) предназначен для сварки многомодовых кварцевых ВС электрической дугой. Он содержит устройство для закрепления свариваемых ВС и манипуляторы для юстировки ВС по двум взаимно перпендикулярным осям и вдоль оси ВС. Для изменения смещения по осям X или Y , необходимо однократно нажать соответствующую клавишу (X или Y), а затем курсорными клавишами \uparrow и \downarrow установить необходимое смещение. Для изменения смещения по оси Z необходимо однократно нажать клавишу Z , а затем курсорными клавишами \rightarrow и \leftarrow установить необходимое смещение. Максимальные перемещения ВС в СА составляют: по осям X и Y от -60 мкм до $+60$ мкм; по оси Z от 0 мкм до 240 мкм.

Пользуясь юстировочным устройством СА можно определять зависимости потерь в разъемных соединениях в зависимости от радиальных и осевых смещений стыкуемых ВС.

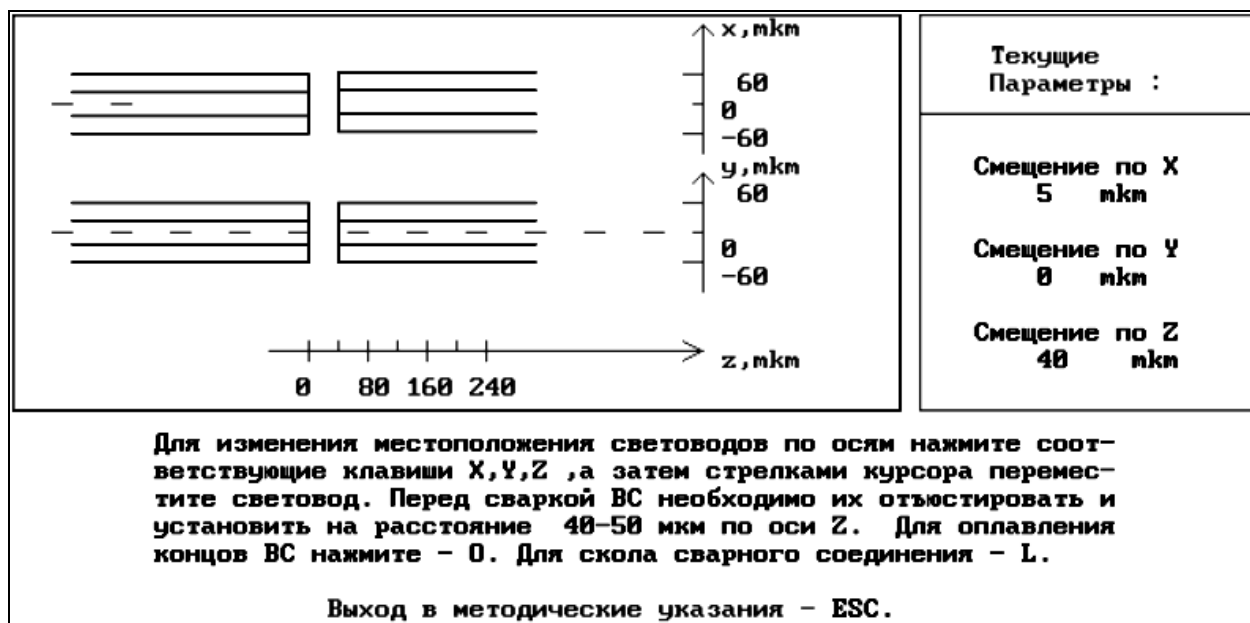


Рис. 4.2. Экран сварочного аппарата.

Для сварки необходимо предварительно свести свариваемые ВС на расстояние не более 50 μm и произвести процедуру оплавления их торцов. Оплавление осуществляется нажатием клавиши O – «оплав». После этого можно сварить ВС нажатием клавиши S – «сварка». Разрушить созданное сварное соединение можно, нажав клавишу L – «скол».

Проводя повторные сколы и сварки, можно определить статистические характеристики потерь при сварке ВС.

4. Измерительные приборы

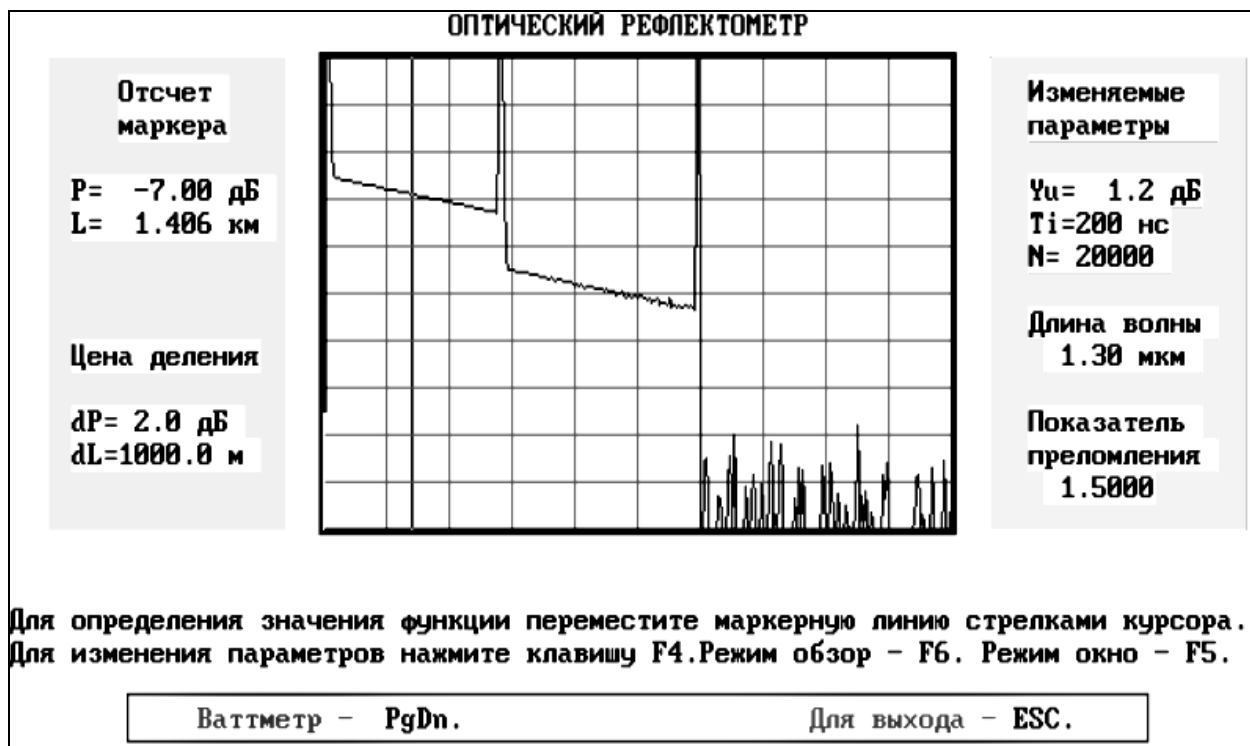


Рис. 4.3. Экран оптического рефлектометра.

Измерения проводятся в проходящем и рассеянном свете. Как уже отмечалось выше, в работе используются два прибора – оптический рефлектометр (ОР) и ваттметр проходящей мощности.

Используемый ОР (рис. 4.3) имеет следующие параметры:

- длина волны $\lambda = 1.3$ мкм;
- период следования зондирующих импульсов $T_0 = 100$ мкс;
- максимальное расстояние $L_m = 10$ км;
- мощность, вводимая в ВС, $P_0 = 20$ мВт;
- длительность зондирующих импульсов в пределах $t_i = 50-500$ нс;
- число накоплений $N = 2000-20000$;
- коэффициент передачи усилителя напряжения фотоприемного устройства (ФПУ) $K = 1 - 100$.

На экране ОР имеется курсор, который можно перемещать курсорными клавишами \rightarrow и \leftarrow . Отсчеты сигнала обратного рассеяния и расстояния, соответствующие положению курсора отображаются справа от экрана ОР.

Изменить настройки ОР можно в режиме коррекции параметров, который вызывается нажатием клавиши F4. Можно изменять цену деления вертикальной шкалы (пункт *Цена деления по Y (дБ)*), коэффициент усиления (пункт *Смещение по Y*), длительность зондирующего импульса (пункт *Длительность импульса (нс)*), число накоплений (пункт *Число накоплений*).

Также имеется возможность рассмотреть любой участок рефлектограммы, начиная от текущего положения курсора, в режиме «Окно», который вызывается нажатием клавиши F5.

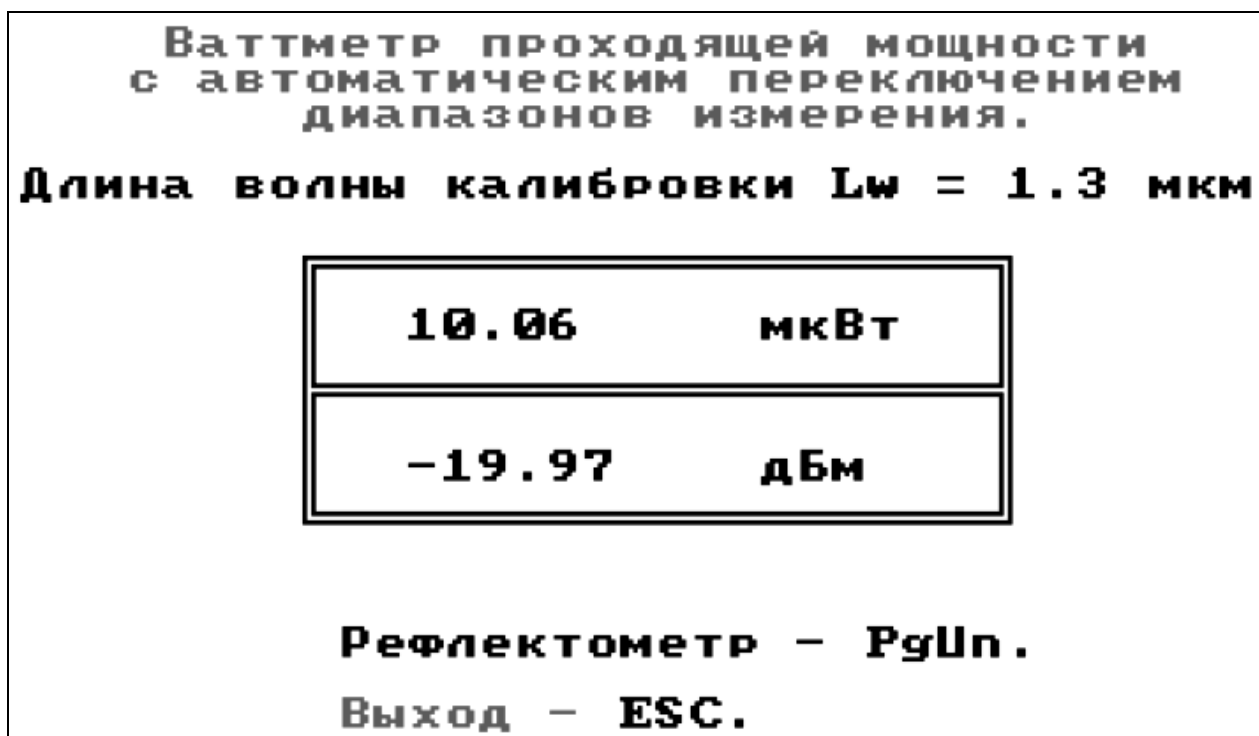


Рис. 4.4. Экран ваттметра.

Ваттметр проходящей мощности (рис. 4.4) предназначен для измерения мощности излучения, проходящего через ВТ. Он имеет цифровой отсчет и систему автоматического переключения пяти диапазонов измерения:

- 1 диапазон - (10-100 мкВт);
- 2 диапазон - (1-10 мкВт);
- 3 диапазон - (0.1-1 мкВт);
- 4 диапазон - (10-100 нВт);
- 5 диапазон - (1-10 нВт).

Разрешающая способность на пятом диапазоне - 1 пВт. Погрешность измерения мощности P составляет $dP = 0.005 \cdot P + 0.01$, нВт.

5. Изменение параметров ВС и ОР

Для углубленного изучения метода обратного рассеяния в работе предусмотрена возможность изменения параметров ВС и ОР (рис. 4.5). Для ОР имеется возможность изменить длину волны (1.3 или 0.85 мкм) и эквивалентный показатель преломления (от 1.400 до 1.600).

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВС И ОР			
Параметры ОР			
Длина волны, мкм:	1.30	Показатель преломления:	1.500
Изменение параметров ВС1		Параметры ВС2	
1. Коэффициент затухания, дБ/км:	0.553	1. Коэффициент затухания, дБ/км:	0.548
2. Диаметр сердцевины, мкм:	? 50.5	2. Диаметр сердцевины, мкм:	49.95
3. Числовая апертура:	0.200	3. Числовая апертура:	0.200
4. Обратное рассеяние при $T_i = 1$ нс, дБ:	-38.2	4. Обратное рассеяние при $T_i = 1$ нс, дБ:	-38.2
<p>Курсорными клавишами выберите нужный параметр и нажмите ENTER</p> <p>Отмена - ESC</p> <p>Выход - F4</p>			

Рис. 4.5. Экран изменения параметров ВС и ОР.

Для ВС1 и ВС2 можно изменить:

- коэффициент затухания в пределах $\pm 10\%$ от заданного вариантом;
- диаметр сердцевины в пределах $\pm 5\%$ от заданного вариантом;
- числовую апертуру в пределах $\pm 5\%$ от заданной вариантом;
- фактор обратного рассеяния в пределах ± 1.5 дБ от заданного вариантом.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Калибровка источника излучения ОР.

В схемах 1* провести измерения оптической мощности (дБм) для всех длительностей зондирующего импульса на выходах: оптического повода ВС0 (P_{10} ,

схема 10) и двух ВС (BC1 (P_{11} , схема 11) и BC2 (P_{12} , схема 12)). Пренебрегая потерями в BC0, определить вносимое затухание в BC1 и BC2:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \alpha_1 \cdot L_1 = P_{10} - P_{11}, \text{ дБ} \\ a_{12} &= \alpha_2 \cdot L_2 = P_{10} - P_{21}, \text{ дБ.} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Результаты измерений и расчетов поместить в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

t_i , нс	P_{10} , дБм	P_{11} , дБм	P_{12} , дБм	a_{11} , дБ	a_{12} , дБ
50					
100					
200					
500					

2. Исследование ВТ с помощью ОР.

Определение длины ВС.

В схемах 11 и 12 определить с помощью курсора длины BC1 и BC2. Длина ВС соответствует началу импульса, отраженного от заднего торца ВС. Курсор подводится слева к этому импульсу. За начало импульса принимается точка с минимальным сигналом. Для увеличения точности измерений необходимо перейти в режим «окно». Перед этим курсор необходимо установить слева на расстоянии менее 500 м от интересующего Вас участка рефлектограммы. Точность определения расстояний возрастает с уменьшением длительности зондирующего импульса.

Результаты измерений занести в табл. 4.2.

Определение коэффициента затухания ВС.

Для определения коэффициента затухания на однородном участке ВС (рис. 3.9) необходимо с помощью курсоров выбрать две точки, отстоящие друг от друга на расстояние

$$\Delta L = L_2 - L_1, \quad (4.2)$$

и определить в них уровни сигналов Y_{s1} и Y_{s2} . Коэффициент затухания рассчитайте по выражению:

$$\alpha = \frac{Y_{s1} - Y_{s2}}{\Delta L}, \text{ дБ/км} \quad (4.3)$$

Общее затухание на однородном участке определите по выражению

$$a = \alpha \cdot L, \text{ дБ}, \quad (4.4)$$

а также как разность уровней сигнала между двумя курсорами, совмещенными с интересующими нас точками.

Для повышения точности измерений Y_s необходимо уменьшать цену деления по оси Y . Результаты измерений и расчетов занесите в табл. 4.2.

Таблица 4.2

ВС	L , км	Y_{s1} , дБ	Y_{s2} , дБ	L_1 , км	L_2 , км	ΔL , км	α , дБ/км	a , дБ
BC1								
BC2								

3. Исследование потерь в разъемных соединениях

Для исследования зависимости потерь в разъёмных соединениях (РС) от радиальных и осевых смещений используйте юстировочное устройство сварочного аппарата (без сварки ВС). Измерения проводятся как в проходящем, так и в рассеянном свете. Минимальный объем измерений определен значениями смещений, приведенными в табл. 4.3.

В схемах 21 и 22 проведите измерение выходной оптической мощности P_2 с помощью ваттметра проходящей мощности при различных значениях радиальных и осевых смещений.

Одновременно для тех же значений радиальных и осевых смещений проведите измерение потерь в РС с помощью ОР, пользуясь упрощенной методикой измерения, в которой необходимо измерить уровень рассеянного сигнала Y_1 до соединения и уровень сигнала Y_2 сразу после соединения.

Радиальное смещение можно определить по выражению:

$$R = \sqrt{x^2 + y^2}, \text{ мкм} \quad (4.5)$$

По результатам измерений в проходящем свете рассчитайте:

1. Вносимое затухание ВТ a_2 по выражению:

$$a_2 = P_{10} - P_2, \text{ дБ} \quad (4.6)$$

Значение P_{10} возьмите из той строки табл. 4.1, которая соответствует установленной при данных измерениях длительности зондирующего импульса.

2. Вносимые соединением потери по выражению:

$$a_p = P_{11} + P_{12} - P_{10} - P_2 \quad (4.7)$$

Значения P_{11} и P_{12} возьмите из той строки табл. 4.1, которая соответствует установленной при данных измерениях длительности зондирующего импульса.

3. Дополнительное затухание за счет смещений ВС по выражению:

$$\Delta a = a_2 - a_{20}, \quad (4.8)$$

где a_{20} – значение a_2 , рассчитанное при $x = 0$, $y = 0$ и $z = 3$ мкм.

По результатам измерений в рассеянном свете рассчитайте:

1. Потери в РС при измерении с одной стороны определите по формуле:

$$a_{p21(22)} = Y_1 - Y_2, \quad (4.9)$$

где 21 или 22 – номер схемы.

2. Вносимые соединением потери по выражению:

$$a_p = \frac{a_{p21} + a_{p22}}{2}, \quad (4.10)$$

3. Дополнительное затухание за счет смещений ВС по выражению (4.8).

Результаты измерений и расчетов поместите в таблицу 4.3.

Постройте графики зависимости потерь a_p и Δa , определенных в проходящем и рассеянном свете, от относительных радиального R / r_c и осевого z / r_c смещений. Здесь r_c – радиус сердцевины ВС, который можно принять равным 25 мкм.

Таблица 4.3

№	x, мкм	y, мкм	z, мкм	R, мкм	Схе- ма	Проходящий свет				Рассеянный свет				
						P_2 , дБм	a_2 , дБ	a_p , дБ	Δa , дБ	Y_1 , дБ	Y_2 , дБ	$a_{p21(22)}$, дБ	a_p , дБ	Δa , дБ
1	0	0	3		21									0
					22									
2	5	0	3		21									
					22									
3	10	0	3		21									
					22									
4	15	0	3		21									
					22									
5	20	0	3		21									
					22									
6	0	5	3		21									
					22									
7	0	10	3		21									
					22									
8	0	15	3		21									
					22									
9	0	20	3		21									
					22									
10	0	0	20		21									
					22									
11	0	0	40		21									
					22									
12	0	0	60		21									
					22									
13	0	0	80		21									
					22									
14	0	0	100		21									
					22									

4. Исследование потерь в сварных соединениях

Проведите исследование зависимости потерь в сварных соединениях (СС) от радиальных и осевых смещений в проходящем и рассеянном свете. Методика измерений аналогична описанной в предыдущем разделе. Результаты измерений поместите в таблицу 4.4.

По результатам измерений в проходящем свете рассчитайте:

1. Вносимое затухание ВТ a_2 по выражению (4.6).
2. Вносимые соединением потери по выражению (4.7).
3. Дополнительное затухание за счет смещений ВС по выражению (4.8).

По результатам измерений в рассеянном свете рассчитайте:

1. Потери в СС при измерении с одной стороны по выражению (4.9).
2. Вносимые соединением потери по выражению (4.10).

3. Дополнительное затухание за счет смещений ВС по выражению (4.8).

Результаты расчетов занесите в таблицу 4.4. Постройте графики зависимости потерь a_p и Δa , определенных в проходящем и рассеянном свете, от относительных радиального R/r_c и осевого z/r_c смещений. Здесь r_c – радиус сердцевины ВС, который можно принять равным 25 мкм.

Таблица 4.4

№	R, мкм	Схема	Проходящий свет				Рассеянный свет				
			P_2 , дБм	a_2 , дБ	a_p , дБ	Δa , дБ	Y_1 , дБ	Y_2 , дБ	$a_{p21(22)}$, дБ	a_p , дБ	Δa , дБ
1	0	21									
		22									
2	5	21									
		22									
3	10	21									
		22									
4	15	21									
		22									
5	20	21									
		22									

Для определения средних потерь \bar{a}_s при сварке ВС и их среднеквадратического отклонения (СКО) проведите многократные измерения (не менее 5) потерь в сварке. Для этого после измерения потерь в очередной сварке произведите скол ВС и повторную сварку. Измерения провести по упрощенной методике, описанной в п. 3. При возникновении аномальной сварки с большим френелевским отражением проводится повторная сварка, а аномальная сварка игнорируется. Результаты измерений занесите в табл. 4.5.

Таблица 4.5

№	Схема	Экспериментальные данные		Рассчитанные величины			
		Y_{s1} , дБ	Y_{s2} , дБ	a_{si} , дБ	a_s , дБ	\bar{a}_s , дБ	$\sigma(a_s)$, дБ
1	21						
	22						
2	21						
	22						
3	21						
	22						
4	21						
	22						
5	21						
	22						

Средние потери \bar{a}_p и СКО $\sigma(a_p)$ определите по следующим выражениям:

$$\bar{a}_p = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{pj} \quad (4.11)$$

где n – число сварок, j – номер сварки, a_{sj} – результат измерения потерь в j -той сварке.

$$\sigma(a_p) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (a_{pj} - \bar{a}_p)^2}, \quad (4.12)$$

Результаты расчетов поместите в табл. 4.5.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Таблицы 4.1-4.5 с результатами измерений и расчетов.
2. Графики зависимости потерь a_p и Δa , определенных для РС в проходящем и рассеянном свете, от относительных радиального R / r_c и осевого z / r_c смещений.
3. Графики зависимости потерь a_p и Δa , определенных для СС в проходящем и рассеянном свете, от относительных радиального R / r_c и осевого z / r_c смещений.
4. Выводы.

Былина Мария Сергеевна
Глаголев Сергей Федорович

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕТРОЛОГИЯ В ОПТИЧЕСКИХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ»
СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 210401
«ФИЗИКА И ТЕХНИКА ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ»

Учебное пособие
для подготовки к лабораторным работам

Редактор *Л.А. Медведева*

План 2007 г., п. 74

Подписано к печати 03.09.2007 г.

Объем 3,5 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Зак. 50

Тип. СПбГУТ, 191186 СПб, наб. р. Мойки, 61