

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

Защита от перехвата информации в направляющих линиях связи

**Методические указания
к лабораторным работам**

СПб ГУТ)))

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2021

Изучение конструкций электрических и оптических кабелей связи

Цель работы: Изучение основных конструктивных элементов и маркировки электрических и оптических кабелей связи различного назначения.

Подготовка к работе:

При подготовке к работе должны быть изучены материалы разделов «Классификация кабелей связи», «Конструктивные элементы электрических кабелей связи», «Конструктивные элементы оптических кабелей связи» настоящих методических указаний (приводятся в Приложениях 1-3), а также 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):

- Классификация и маркировка кабелей (разд. 3.1)
- Проводники (разд. 3.2)
- Изоляция (разд. 3.3)
- Типы скруток в группы (разд. 3.4)
- Построение сердечника кабеля (разд. 3.5)
- Защитные оболочки (разд. 3.6)
- Защитные бронепокровы (разд. 3.7)
- Междугородные коаксиальные кабели (разд. 3.8)
- Междугородные симметричные кабели (разд. 3.9)
- Зоновые (внутриобластные) кабели (разд. 3.10)
- Городские телефонные кабели (разд. 3.11)
- Кабели сельской связи и проводного вещания (разд. 3.12)
- Подводные кабели (разд. 3.13)
- Классификация оптических кабелей связи (разд. 3.14)
- Конструкции оптических кабелей (разд. 3.16)

Выполнение работы:

1. По внешнему виду каждого образца кабеля определить его назначение.
2. Изучить конструктивные элементы каждого образца. Для каждого образца симметричного кабеля заполнить таблицу В1, для каждого образца коаксиального кабеля - таблицу В2, для каждого образца оптического кабеля - таблицу В3.
3. Выполнить эскизы поперечного сечения исследованных кабелей с указанием всех элементов конструкции.
4. На основании результатов изучения образцов в заголовок каждой из таблиц В1, В2 и В3 вписать марку соответствующего кабеля. Указания по маркировке кабелей приведены в приложении 4.

Таблица В1

Конструкция симметричного кабеля _____

Конструктивный элемент	Характеристика конструктивного элемента
1. Защитный покров	Указать назначение, разновидность конструкции, материал каждого элемента.
1.1. Наружный защитный слой	
1.2. Броня	
1.3. Подушка	
2. Влагозащитная оболочка	Указать назначение, разновидность конструкции, материал, толщину.

Конструктивный элемент	Характеристика конструктивного элемента
3. Экран	Указать назначение, разновидность конструкции, материал, толщину.
4. Поясная изоляция	Указать назначение, материал, способ наложения.
5. Сердечник кабеля	Указать однородная или неоднородная скрутка, пучковая или повивная, количество пучков или повивов, количество элементарных групп в сердечнике, количество элементарных групп в пучке или в повиве, способ скрутки сердечника, тип элементарных групп, конструкцию, материал, толщину (диаметр) изоляции и проводников.

Таблица В2

Конструкция коаксиального кабеля _____

Конструктивный элемент	Характеристика конструктивного элемента
1. Защитный покров	Указать назначение, разновидность конструкции, материал каждого элемента.
1.1. Наружный защитный слой	
1.2. Броня	
1.3. Подушка	
2. Влагозащитная оболочка	Указать назначение, разновидность конструкции, материал, толщину.
3. Сердечник кабеля	Указать разновидность конструкции, вид скрутки, наличие гидрофобного заполнения
3.1. Количество групп	Указать количество коаксиальных пар (средних, малогабаритных), симметричных четверок и пар
3.2. Коаксиальная пара	Указать конструкцию, материал, размеры изоляции и проводников, конструкцию, материал, способ наложения и толщину экрана
3.3. Симметричная четверка (пара)	Указать тип скрутки, конструкцию, материал, толщину (диаметр) изоляции и проводников.

Таблица В3

Конструкция оптического кабеля _____

Конструктивный элемент	Характеристика конструктивного элемента
1. Защитный покров	Указать назначение, разновидность конструкции, материал каждого элемента.
1.1. Наружная оболочка	
1.2. Броня	
1.3. Подушка (внутренняя оболочка)	
2. Жилы для дистанционного питания	Указать материал, количество, диаметр.
3. Сердечник кабеля	Указать разновидность конструкции сердечника, наличие гидрофобного заполнения, конструкцию и материал армирующих элементов.
3.1. Вторичное покрытие оптических волокон	Указать тип вторичного покрытия оптических волокон, наличие гидрофобного заполнения, для сердечника повивной конструкции указать количество оптических модулей и число волокон в каждом модуле
3.2. Оптическое волокно	Указать количество и тип оптических волокон

Конструктивный элемент	Характеристика конструктивного элемента
3.3. Симметричная четверка (пара)	Указать число симметричных четверок и пар, тип скрутки, конструкцию, материал, толщину (диаметр) изоляции и проводников.

Содержание отчета:

1. Заполненные для каждого образца кабеля таблицы В1, В2 или В3.
2. Эскизы поперечного сечения исследованных образцов кабелей с указанием всех элементов конструкции.
3. Выводы.

Лабораторная работа № 2

Изучение параметров передачи симметричных и коаксиальных кабелей связи

Исходные данные:

Данные по каждому варианту лабораторной работы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Диаметр проводника d , мм	0.32	0.32	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5
Диаметр изолированной жилы D , мм	0.68	0.72	0.8	0.9	1	1.1	1.4	1.5	1.4
Конструкция изоляции	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная
Толщина трубчатой и кордельной изоляции, мм	-	0.06	0.06	-	0.07	0.08	-	0.09	0.06
Материал проводников	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь
Вариант	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Диаметр проводника d , мм	0.32	0.32	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5
Диаметр изолированной жилы D , мм	0.68	0.72	0.8	0.9	1	1.1	1.4	1.5	1.4
Конструкция изоляции	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая
Толщина трубчатой и кордельной изоляции, мм	0.05	-	0.06	0.07	-	0.08	0.08	-	0.06
Материал проводников	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь
Вариант	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Диаметр проводника d , мм	0.32	0.32	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5
Диаметр изолированной жилы D , мм	0.68	0.72	0.8	0.9	1	1.1	1.4	1.5	1.4
Конструкция изоляции	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная
Толщина трубчатой и кордельной изоляции, мм	0.05	0.06	-	0.07	0.07	-	0.08	0.09	-
Материал проводников	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь
Вариант	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Диаметр проводника d , мм	0.32	0.32	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5
Диаметр	0.68	0.72	0.8	0.9	1	1.1	1.4	1.5	1.4

изолированной жилы D , мм									
Конструкция изоляции	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная
Толщина трубчатой и кордельной изоляции, мм	-	0.06	0.06	-	0.07	0.08	-	0.09	0.06
Материал проводников	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий
Вариант	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Диаметр проводника d , мм	0.32	0.32	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5
Диаметр изолированной жилы D , мм	0.68	0.72	0.8	0.9	1	1.1	1.4	1.5	1.4
Конструкция изоляции	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая
Толщина трубчатой и кордельной изоляции, мм	0.05	-	0.06	0.07	-	0.08	0.08	-	0.06
Материал проводников	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий
Вариант	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Диаметр проводника d , мм	0.32	0.32	0.4	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.5
Диаметр изолированной жилы D , мм	0.68	0.72	0.8	0.9	1	1.1	1.4	1.5	1.4
Конструкция изоляции	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная	трубчатая	кордельная	сплошная
Толщина трубчатой и кордельной изоляции, мм	0.05	0.06	-	0.07	0.07	-	0.08	0.09	-
Материал проводников	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий

Выполнение работы:

1. С помощью программы Lab1.exe провести расчеты зависимостей от частоты первичных и вторичных параметров следующих кабельных цепей:

1.1. Неэкранированная симметричная пара с конструкцией изоляции, заданной вариантом.

1.2. Неэкранированная симметричная четверка с конструкцией изоляции, заданной вариантом.

Зарисовать графики. Результаты расчетов занести в таблицы по образцу таблицы 2.

Таблица 2

Диаметр проводника _____	Тип изоляции _____			Толщина изоляции _____		
f , кГц	0.1	1	10	100	1000	10000
R , Ом/км						
C , нФ/км						
L , мГ/км						
G , См/км						
α , дБ/км						
β , рад/км						
Z_B , Ом						
φ , рад						
V , км/с						

Сравните и физически объясните результаты расчетов по пунктам 1.1-1.2.

2. Для симметричной пары со сплошной изоляцией провести расчеты зависимости первичных и вторичных параметров на частоте $f = 1000$ кГц от соотношения между толщиной изоляции и диаметром проводника, считая, что диаметр изолированной жилы D не меняется. Исходную толщину изоляции δ_0 найти из соотношения: $\delta_0 = (D - d) / 2$. Результаты расчетов занести в таблицу 3.

Таблица 3

Тип изоляции сплошная Частота 1000 кГц							
Толщина изоляции δ , мм	$0.1\delta_0$	$0.2\delta_0$	$0.5\delta_0$	δ_0	$1.1\delta_0$	$1.2\delta_0$	$1.5\delta_0$
Диаметр проводника d , мм							
R , Ом/км							
C , нФ/км							
L , мГ/км							
G , См/км							
α , дБ/км							
β , рад/км							
Z_B , Ом							
φ , рад							
V , км/с							

Объясните результаты расчетов и определите оптимальные параметры передачи кабельной цепи. Постройте графики зависимости параметров цепи от толщины изоляции.

Содержание отчета:

1. Заполненные таблицы 2 для каждого из указанных типов конструкции кабельных цепей (1.1-1.2).
2. Графики параметров, рассчитанных в п.п. 1.1-1.2, для разных конструкций кабельных цепей. Выводы по результатам их сравнения.
3. Заполненная таблица 3.
4. Графики зависимости параметров от толщины изоляции. Выводы. Оптимальные параметры передачи кабельной цепи.

Лабораторная работа № 3

Измерение параметров электрических кабельных цепей

Цель работы

Ознакомление с первичными параметрами кабельных цепей и их связью с величинами, непосредственно измеряемыми кабельными приборами, рабочей емкостью, сопротивлениями шлейфа, изоляции и асимметрии. Изучение принципов действия переносного кабельного прибора ПКП-5, органов управления прибором, измерительных схем и методик измерения. Получение практических навыков в измерениях. Ознакомление с нормами на параметры исправных кабельных цепей. Определение из результатов измерения длины кабельной цепи и соответствия измеренных параметров установленным нормам.

Подготовка к работе

При подготовке к работе изучить следующие вопросы:

- методы и схемы измерения емкости кабельных цепей;
- методы и схемы измерения сопротивления изоляции кабельных цепей;
- методы и схемы измерения сопротивления шлейфа кабельных цепей;
- методы и схемы измерения сопротивления асимметрии кабельных цепей;
- существующие нормы на параметры кабельных цепей.

Выполнение работы

1. Пользуясь справкой, встроенной в программу, практически ознакомьтесь с программой, моделирующей прибор ПКП-5 и кабельные цепи десятипарного кабеля ГТС. Научитесь работать с органами управления прибора, подключать и отключать кабельные цепи, устанавливать перемычки.

Таблица 1.1

Номер рабочего места	Вариант	Диаметр жилы $d_{ж}$, мм	Номер пары	Температура t , °C
1	70	0.32	0	5
	71	0.7	1	
2	72	0.4	0	10
	73	0.5	1	
3	74	0.4	0	15
	75	0.7	1	
4	76	0.5	0	8
	77	0.32	1	
5	78	0.7	0	7
	79	0.4	1	
6	80	0.32	0	12
	81	0.5	1	
7	82	0.7	0	18
	83	0.5	1	
8	84	0.4	0	9
	85	0.32	1	
9	86	0.5	0	19
	87	0.7	1	

2. Пользуясь справкой, встроенной в программу, ознакомьтесь с методиками измерения ранее перечисленных параметров кабельных цепей.
3. Проведите измерения ранее перечисленных параметров кабельных цепей, варианты и номера цепей приведены в таблице 1.1.
4. Выполните измерение сопротивления шлейфа цепей, указанных в таблице 1. Результаты измерений занесите в таблицу 1.2. По результатам измерений рассчитайте длину цепи по выражению:

$$L = \frac{R_{ш} \cdot \pi \cdot d_{ж}^2}{8 \cdot \rho \cdot (1 + \alpha \cdot (t - 20))},$$

где $\rho = 17.24$ нОм·м – удельное сопротивление меди при температуре 20°C, $\alpha = 3.96 \cdot 10^{-3}$ 1/°C – температурный коэффициент сопротивления для меди.

Таблица 1.2

Вариант	Номер цепи	$R_{ш}$, Ом	L , км
	1		
	2		

5. Выполните измерения сопротивления изоляции каждого проводника цепи по отношению к экрану, сопротивления асимметрии и рабочей емкости заданных кабельных цепей. Результаты измерений занесите в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

Вариант	Номер цепи	$C_{раб}$, нФ	$R_{из 1э}$, МОм	$R_{из 2э}$, МОм	$R_{асс}$, Ом
	1				
	2				

6. Рассчитайте первичные параметры передачи кабельных цепей по результатам измерений, используя следующие выражения:

$$C = \frac{C_{раб}}{L}, \quad R_{из} = \min(R_{из 1э}, R_{из 2э}) \cdot L$$

Результаты расчета поместите в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

Вариант	Номер цепи	$R_{асс}$, Ом		C , нФ/км		$R_{из}$, МОм·км	
		Измеренное	Норма	Рассчитанное	Норма	Рассчитанное	Норма
	1						
	2						

7. Рассчитайте норму на сопротивления асимметрии и изоляции по выражениям:

$$R_{асс норм} = 0.01 \cdot R_{ш},$$

$$R_{эс \text{ \textit{н}д\textit{i}}} = R_{эс} \cdot L.$$

Определите норму на погонную емкость C по таблице 1.5. Результаты измерений сопротивления асимметрии, погонной емкости и сопротивления изоляции, а также соответствующие нормативы поместите в таблицу 1.4.

8. Сравните полученные в результате измерений и расчетов значения с нормативами. Сделайте выводы об исправности исследуемых кабельных цепей.

Нормируемый параметр		Норма	Частота, Гц
Сопротивление шлейфа $R_{ш}$, Ом/км при диаметре жил, мм:	0.32	432±26	0
	0.4	278±18	
	0.5	180±12	
	0.7	92±6	
Рабочая емкость $C_{раб}$ для кабелей с гидрофобной изоляцией, нФ/км:		50±5	25
Рабочая емкость $C_{раб}$ для остальных кабелей, нФ/км:		45±5	25
Сопротивление изоляции $R_{из}$, МОм·км		1000	0
Сопротивление асимметрии $R_{асс}$, Ом/км		0.05 $R_{ш}$	0

Содержание отчета

1. Схемы измерения параметров кабельных цепей.
2. Таблицы измеренных и рассчитанных величин.
3. Выводы по работе.

Лабораторная работа 4

Определение характера повреждения и расстояния до него переносным кабельным прибором ПКП-5

С помощью измерений на постоянном токе сопротивлений шлейфа, асимметрии, изоляции можно определить характер следующих повреждений:

обрывы,

короткие замыкания,

сообщения,

плохие контакты,

понижение сопротивления изоляции.

Измерения сопротивлений положены в основу определения расстояния до коротких замыканий, сообщений и мест понижения сопротивления изоляции. При проведении аварийных измерений обычно используют специальные переносные кабельные приборы (ПКП). Наибольшее распространение в настоящее время имеют приборы ПКП-4, ПКП-5 и ИРК-ПРО. Их параметры в основном соответствуют требованиям Стандарта на кабельные приборы. Более высокой точностью измерения сопротивлений шлейфа, асимметрии и изоляции обладает цифровой микропроцессорный прибор ИРК-ПРО, который имеет значительно меньшие габариты и массу по сравнению с приборами ПКП-4 и ПКП-5 (таблица 1.3).

5.4.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ДО МЕСТА ПОНИЖЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

В настоящее время существует более 20 различных методов измерения расстояния до места понижения сопротивления изоляции, основанных на измерении сопротивлений. В большинстве своем они используют уравниваемые мосты постоянного тока. В последнее время в связи с развитием высокоточных цифровых методов измерения напряжений и сопротивлений появляются новые методы измерения, которые не требуют сложной процедуры уравнивания моста, обеспечивают автоматизацию процесса обработки результатов измерения и возможность ввода результатов в компьютер.

Цифровой автоматический измерительный мост **Minibridge** немецкой фирмы **Hagenuk** имеет малые габариты и позволяет измерять сопротивления шлейфа (до 3 кОм), изоляции (до 200 МОм) и расстояние до места понижения изоляции. В нем существует функция автоматического введения поправки в измеренное расстояние в составных линиях (со вставками).

Очень важным параметром при выборе метода измерения является коэффициент изоляции $K_n = R_{из2} / R_{из1}$, который равен отношению сопротивлений изоляции условно исправного провода и неисправного.

С увеличением K_n точность измерений расстояний, как правило, возрастает. Методы измерения расстояния до места понижения сопротивления изоляции разделяют по допустимой величине K_n на три группы:

$$K_n \geq 400.$$

$$3 \leq K_n < 400.$$

$$1 \leq K_n < 3.$$

Важно также учесть величину сопротивления изоляции неисправного провода $R_{из1}$. Чем меньше $R_{из1}$ при прочих равных условиях, тем выше точность измерения расстояния.

5.4.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ МОСТАМИ ВАРЛЕЯ И МУРРЕЯ

Наибольшее распространение для измерения расстояний до места понижения сопротивления изоляции кабельными приборами при $K_n \geq 400$ получили методы односторонних измерений, на основе мостов Варлея и Муррея.

Мост Варлея (рис.5.3), называют также мостом с постоянным отношением плеч

$$n = \frac{R_1}{R_2}, \text{ которое может устанавливаться равным } 0.1, 1, 10, 100.$$

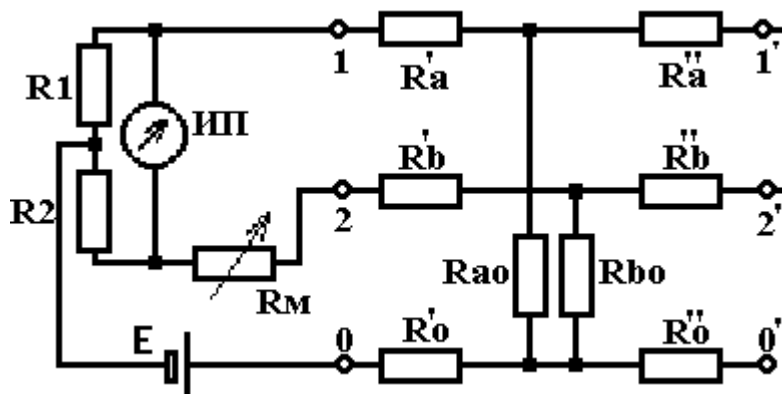


Рис.5.3. Метод Варлея измерения расстояния до места понижения сопротивления изоляции

При одинаковых проводниках их сопротивления одинаковы, т.е. $R_a = R_b$. Полагаем, что исправный проводник **a**, а неисправный **b**, т.е. $R_{a0} \gg R_{b0}$. Измерение расстояния до места понижения сопротивления изоляции основано на том, что относительное расстояние может быть выражено через отношение сопротивлений

$$I_x / I = R'_b / R_b . \quad (5.1)$$

Запишем условие равновесия для моста Варлея. При этом необходимо учесть, что сопротивление R_{b0} включено последовательно с внутренним сопротивлением источника питания и не влияет на условие равновесия моста. С учетом этого условия равновесия моста имеет вид

$$R_1 \cdot (R_M + R'_b) = R_2 \cdot (R_{ш} - R'_b) . \quad (5.2)$$

Из (5.1) и (5.2) можно получить выражение для относительного расстояния до места понижения сопротивления изоляции

$$I_x = 2I \cdot \frac{R_{ш} - n \cdot R_M}{R_{ш} \cdot (1 + n)} . \quad (5.3)$$

Если проводники **a** и **b** отличаются по своему сопротивлению, то необходимо использовать выражение

$$I_x = 2I \cdot \frac{(R_m - n \cdot R_M) \cdot (1 + R_a / R_b)}{(n + 1) \cdot R_m}, \quad (5.4)$$

где R_a, R_b –сопротивления проводников **a** и **b**, соответственно.

Мост Муррея (рис.5.4) называют также мостом с переменным отношением плеч.

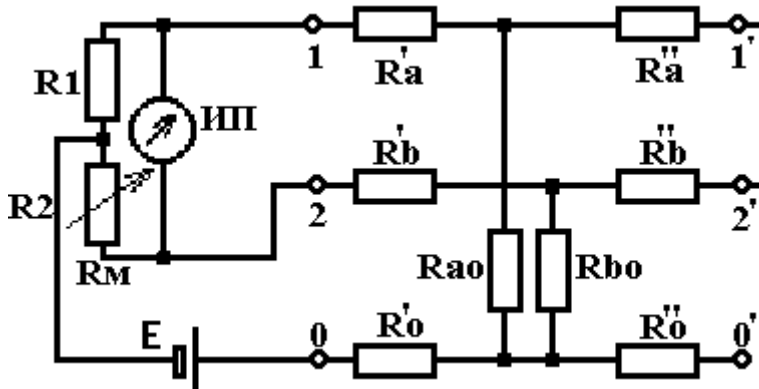


Рис.5.4. Метод Муррея измерения расстояния до места понижения сопротивления изоляции

Запишем условие равновесия для моста Муррея при условии, что $R_{b0} \ll R_{a0}$. При этом также как и для моста Варлея необходимо учесть, что сопротивление R_{b0} включено последовательно с внутренним сопротивлением источника питания и не влияет на условие равновесия моста. С учетом этого условия равновесия моста имеет вид

$$R_1 \cdot R'_b = R_M \cdot (R_m - R'_b). \quad (5.5)$$

Для относительного расстояния до места понижения сопротивления изоляции при одинаковых параметрах исправного и неисправного проводников справедливо:

$$I_x = 2I \cdot \frac{R_M}{R_1 + R_M}. \quad (5.6)$$

Выражения (5.5) и (5.6) справедливы для моста Муррея кабельного прибора ПКП-4. В приборе ПКП-5 реализована другая схема моста Муррея (рис.5.5). В ней

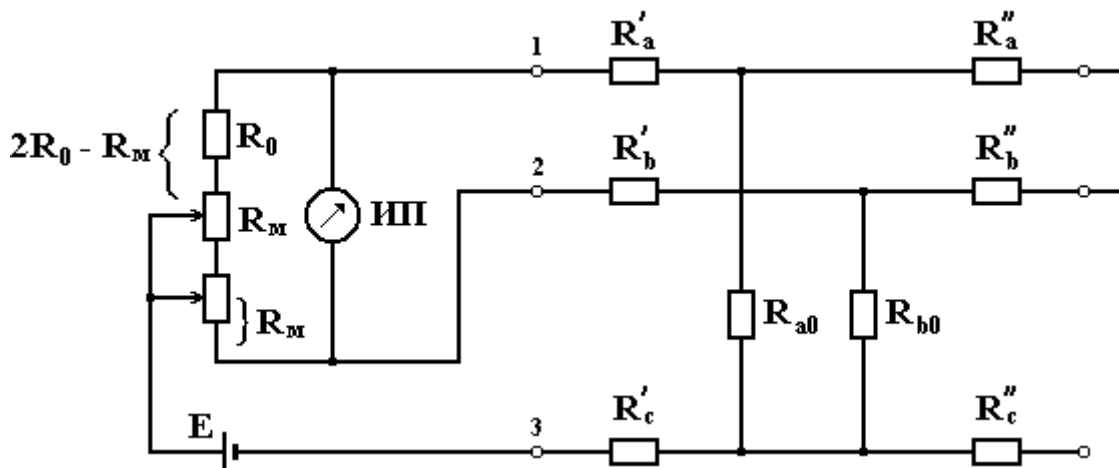


Рис.5.5. Упрощенная схема моста Муррея, реализованная в приборе ПКП-5

используется двоянный магазин сопротивления, включенный так, что верхнее сопротивление $R_1 = 2R_0 - R_M$, а нижнее сопротивление $R_2 = R_M$. С учетом этого условия равновесия моста имеет вид

$$(2R_0 - R_M) \cdot R'_b = R_M \cdot (R_{ш} - R'_b). \quad (5.7)$$

Для относительного расстояния до места понижения сопротивления изоляции при одинаковых параметрах исправного и неисправного проводников справедливо:

$$l_x = l \cdot \frac{R_M}{R_0}. \quad (5.8)$$

Расчетная формула отличается простотой и при выборе $R_0 = 1000$ Ом отсчет относительного расстояния до места понижения сопротивления изоляции может проводиться прямо по магазину сопротивления.

Для расчета расстояния до места понижения сопротивления изоляции при разных проводниках **a** и **b** вместо (5.8) используется выражение

$$l_x = \frac{R_M}{2000} l \cdot (1 + R_a / R_b), \quad (5.9)$$

По чувствительности и точности методы Варлея и Муррея практически равноценны. Некоторым недостатком метода Варлея является необходимость измерения или знание сопротивления шлейфа.

В некоторых случаях мостовые схемы Варлея и Муррея могут не уравниваться из-за большой асимметрии проводников при $R_b > R_a$. Тогда нужно поменять местами проводники **a** и **b** и вновь уравновесить мост. Расчеты расстояний до места понижения сопротивления изоляции следует в этом случае проводить по выражениям

$$I_x = 1 \cdot \frac{(R_{шл} + R_M) \cdot n \cdot (1 + R_a / R_b)}{(1 + n) \cdot R_{шл}} \quad \text{для моста Варлея,} \quad (5.10)$$

$$I_x = 1 \cdot \frac{R_0 \cdot (1 + R_a / R_b)}{R_0 + R_M} \quad , \quad \text{для моста Муррея (ПКП-4),} \quad (5.11)$$

$$I_x = 1 \cdot \left(1 - \frac{R_M}{2000}\right) \cdot (1 + R_a / R_b) \quad \text{для моста Муррея (ПКП-5).} \quad (5.12)$$

В измерительной практике при малой величине коэффициента изоляции иногда специально прокладывают исправный проводник вдоль трассы кабеля. Известно использование в качестве исправного проводника провода воздушной линии связи, на опорах которой подвешен поврежденный кабель. При этом обязательно необходимо учитывать различие в сопротивлении исправного и неисправного проводов. Обычно точность измерения при использовании идентичных исправного и неисправного проводников выше, чем при разных проводниках.

С помощью упомянутых методов можно определить также расстояние до места повреждения изоляции металлической оболочки кабеля. При этом в качестве исправного проводника используют исправную металлическую оболочку параллельно проложенного кабеля, а в качестве общего проводника используют соединенные параллельно бронепокровы.

При $3 \leq K_n < 400$ в руководствах по измерениям рекомендуется использовать двухсторонние методы измерения и проводить расчет расстояния до места повреждения изоляции для одинаковых проводов по выражениям

$$l_{ха} = l \cdot \frac{R_{MB}}{R_{MA} + R_{MB}}, \quad \text{для моста Варлея,} \quad (5.13)$$

$$l_{ха} = l \cdot \frac{1 - K_B}{2 - K_A - K_B}, \quad \text{для моста Муррея (ПКП-4),} \quad (5.14)$$

где $K = \frac{2 \cdot R_M}{R + R_M}$, а $R=990$ Ом.

$$l_{ха} = l \cdot \frac{1 - R_{MB}/1000}{2 - R_{MA}/1000 - R_{MB}/1000}, \quad \text{для моста Муррея (ПКП-5).} \quad (5.15)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

«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:

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

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:

$$\Delta = \frac{n_{10}^2 - n_2^2}{2n_1^2} \quad (1.2)$$

В кабелях связи обычно используют так называемые слаборазводящие 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-

нятие 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:

$$B = n(r) \cdot \cos \theta_z(r) \tag{1.3}$$

$$E = n(r) \cdot \sin \theta_z(r) \cdot \cos \theta_f(r) \tag{1.4}$$

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**:

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

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

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

Важным параметром ВС является нормированная частота:

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

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

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

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 расстояние 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

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

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

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

¹ С этим параметром связано понятие групповой скорости..

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 α_{pp} , 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:

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

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

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

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

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

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:

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

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).

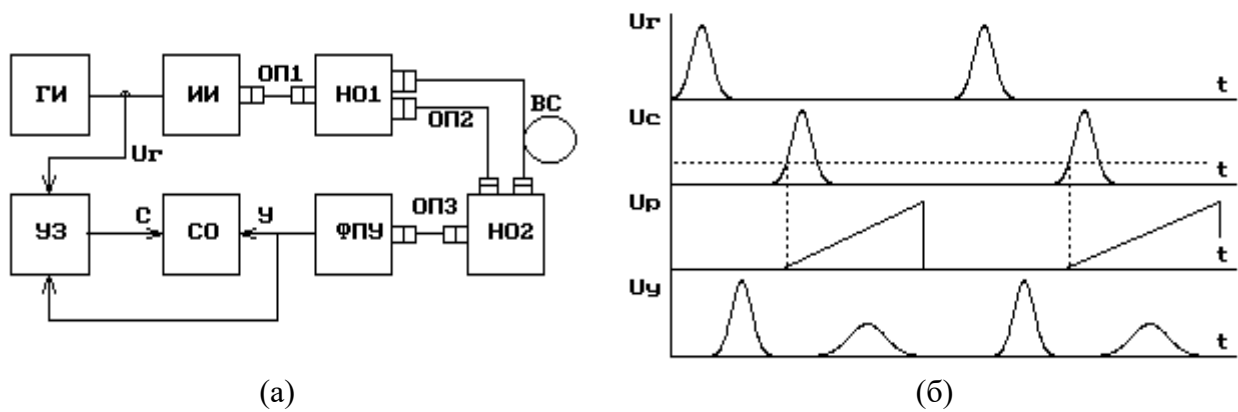


Рис. 1.1. Структурная схема лабораторной установки (а) и временные диаграммы ее работы (б)

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 поволоков 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 поволоков и направленных ответвителей использовались идентичные ВС.

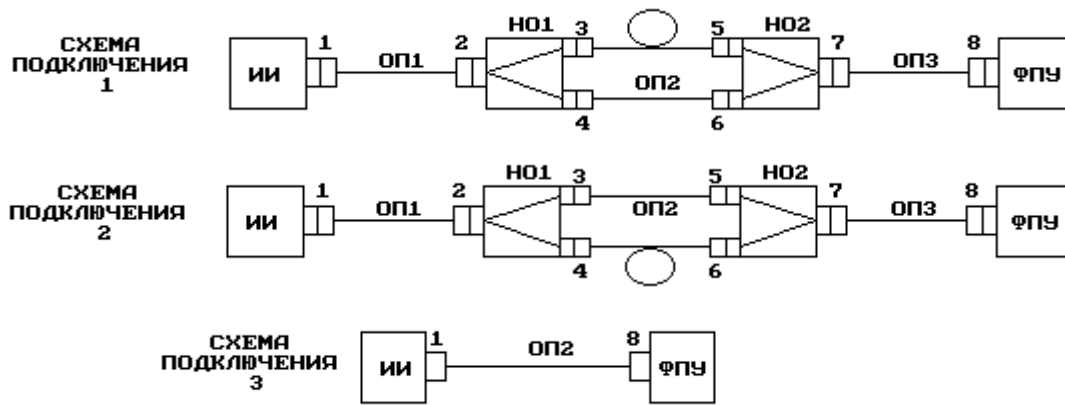


Рис. 1.2. Оптические схемы

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.

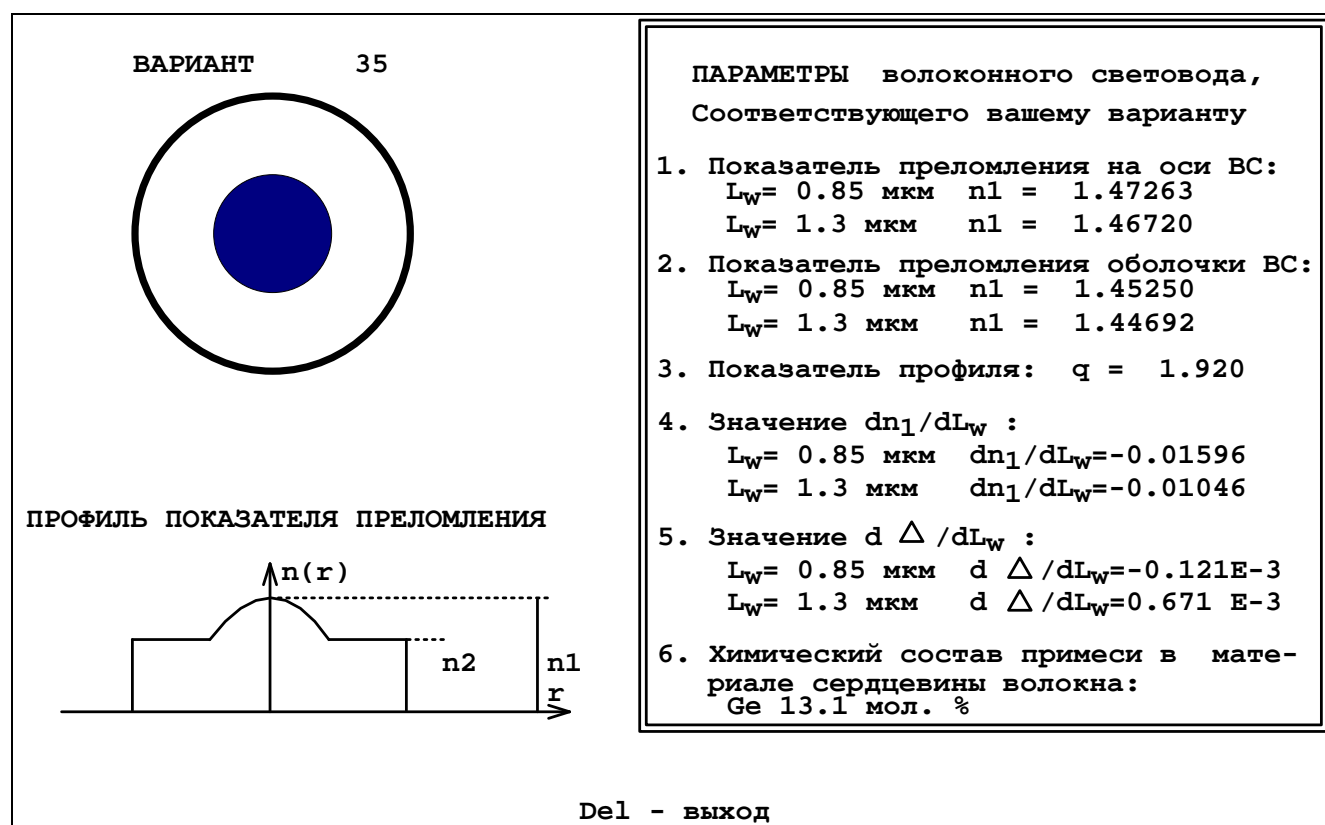


Рис. 1.3. Экран с параметрами исследуемого ВС.

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.

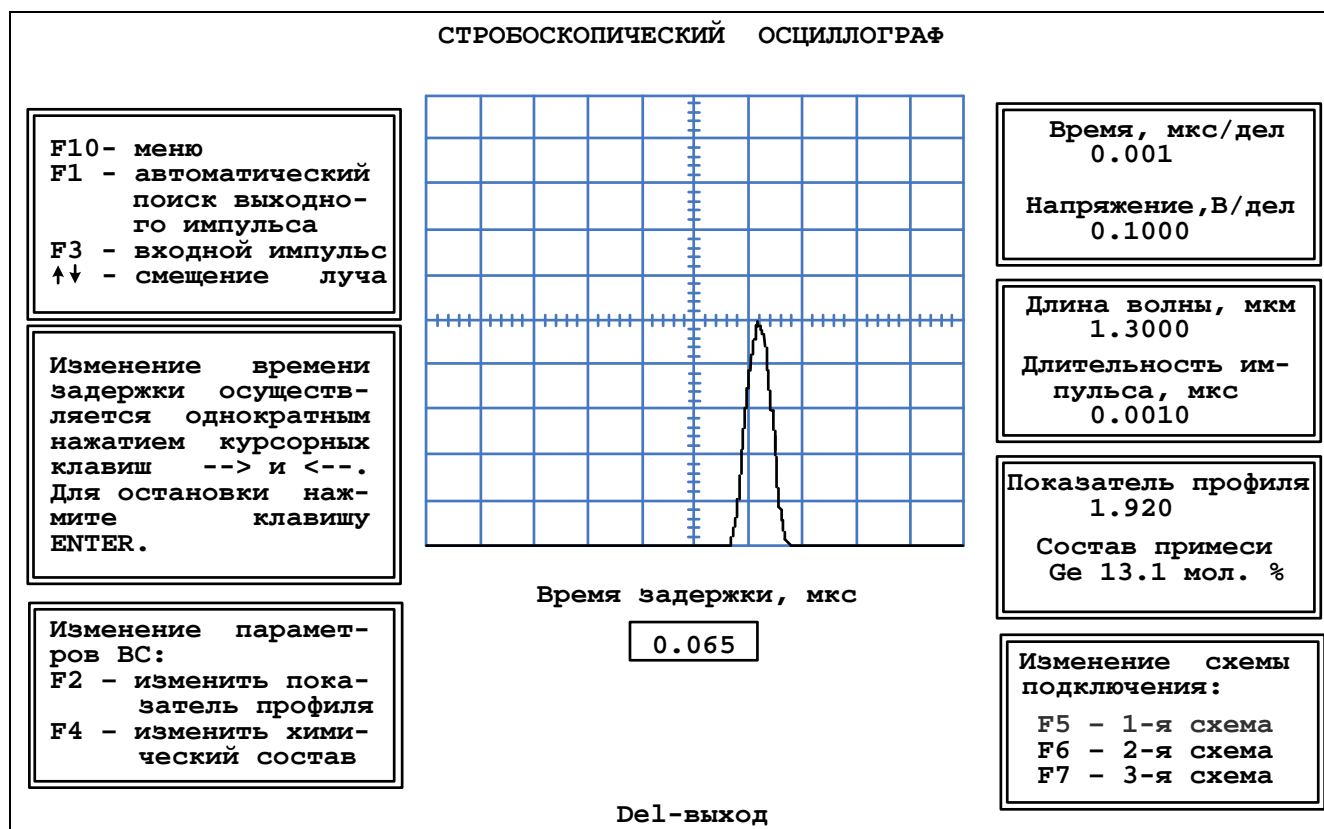


Рис. 1.4. Экран стробоскопического осциллографа.

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.

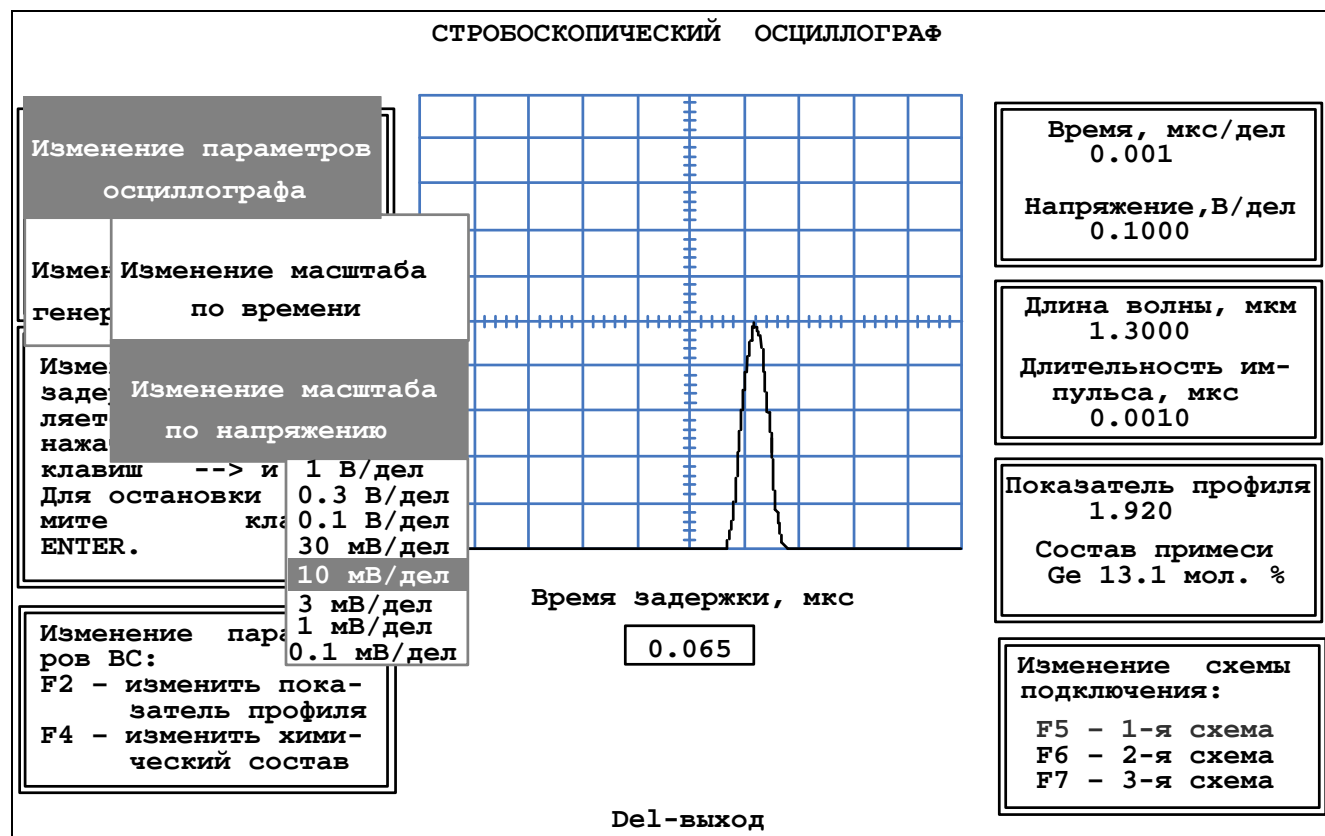


Рис. 1.5. Режим «Меню».

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 сердцевин. 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 сердцевин 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	$\frac{dn_{10}}{d\lambda}$	$d\Delta / d\lambda$	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: $\alpha_{BC} = a_{BC}/L$.

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	$q_{\text{опт}}$		$\Delta t_{M \text{ опт}}$, 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	$q_{\text{опт}}$		$\Delta t_{M \text{ опт}}$, нс/км		
			Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	
λ , мкм	1.3	t_2 , нс													
		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 $\Delta t_{M \text{ опт}}$ по формулам:

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

Рассчитайте также теоретическое значение $q_{\text{опт}}$ и $\Delta t_{\text{м опт}}$ по 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 № 6

«ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ПО ОДНОМОДОВЫМ ВОЛОКНАМ»

1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

На экране осциллографа можно наблюдать форму оптического импульса на входе в оптическое волокно, а также форму оптического импульса на выходе из оптического волокна. Для переключения наблюдаемых импульсов используется клавиша «РАСЧЕТ». Входные и выходные импульсы располагаются в центральной части экрана осциллографа. Для удобства измерения длительностей входного и выходного импульсов с помощью вертикального курсора уровень половинной амплитуды (мощности) показан горизонтальным синим курсором. Для измерения половины длительности импульса вертикальный курсор совмещается с точкой пересечения горизонтального курсора и импульса. Вертикальный курсор перемещается с помощью движка на горизонтальной линейке под экраном осциллографа. Отсчеты по курсору располагаются слева от экрана осциллографа. Для измерения амплитуды импульсов вертикальный курсор совмещают с серединой импульса. Задержка выходного импульса по отношению к входному может быть определена как «НАЧАЛО ОТСЧЕТА» слева от экрана осциллографа. Слева же располагаются переключатели цен деления по горизонтальной и вертикальной осям осциллографа.

С правой стороны от экрана осциллографа располагается переключатель типов оптических волокон, который позволяет выбрать для исследования следующие типы волокон»:

- стандартное волокно (SF) со ступенчатым профилем показателя преломления,
- волокно со смещенной дисперсией (DSF),
- волокно с ненулевой положительной дисперсией (+NZ DSF),
- волокно с ненулевой отрицательной дисперсией (-NZ DSF),
- стандартное волокно (SF) без водяного пика затухания.

Под переключателем типа оптических волокон располагается регулятор, позволяющий изменять длину исследуемого волокна.

Остальные регуляторы и переключатели относятся к источнику излучения. В лабораторной установке можно плавно изменять длину волны источника в пределах 1250-1675 нм, длительность импульса от 1 пс до 10 нс, переключать ширину спектра излучения от 0.01 ГГц до 100 ГГц. Реальные источники излучения могут иметь паразитную частотную модуляцию, которую также можно задавать с помощью переключателя.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Получить у преподавателя номер варианта задания на выполнение лабораторной работы.

Типы двух исследуемых волокон, их длины L , а также длительности входных импульсов t_1 приведены в таблице 1. Ширину спектра излучения источника в частотной области принять равной $\Delta f = 10$ ГГц. Для расчета ширины спектра излучения в единицах длины можно воспользоваться выражением

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{c} \cdot \Delta f .$$

Таблица 1

Вар .	Тип ОВ1	Длина, ОВ1,км	Длит. 1 имп. пс	Длит. 2 имп. пс	Тип ОВ2	Длина, ОВ2, км	Длит. 1 имп.	Длит. 2 имп.
1	SFобычное	25	10	2000	DSF	75	25	1000
2	SFобычное	50	15	4000	SF без ОН	100	20	1500
3	SFобычное	75	20	6000	+NZDSF	25	15	2000
4	SFобычное	100	25	8000	-NZDSF	50	10	2500
5	SF без ОН	30	25	1000	DSF	90	10	2000
6	SF без ОН	60	20	1500	+NZDSF	120	15	4000
7	SF без ОН	90	15	2000	-NZDSF	30	20	6000
8	SF без ОН	120	10	2500	SFобычное	60	25	8000

2.2. Провести измерения амплитуды P_1 и ширины t_1 входного (один раз) и выходных импульсов P_2 и t_2 при различных длинах волн λ источника излучения (от 1250 до 1675 нм не менее 20 точек) и поместить результаты в таблицу 2 при первой и второй длительности входного импульса. Для каждого волокна должна быть две таблицы с результатами, полученными для двух длительностей входных импульсов. Провести расчеты затухания a , коэффициента затухания α , уширения оптического импульса Δt и хроматической дисперсии D_x .

$$a = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}$$

$$\alpha = \frac{a}{L}$$

$$\Delta t = \sqrt{t_2^2 - t_1^2}$$

$$D_x = \frac{\Delta t}{L \cdot \Delta \lambda}$$

Построить графики зависимости коэффициента затухания α и хроматической дисперсии D_x от длины волны λ для двух длительностей входных импульсов и для двух оптических волокон. Дать объяснения полученным результатам, сравнить измерения при двух длительностях импульсов и для двух различных волокон.

Таблица 2

Тип волокна	Длина волокна, км				Длительность входного импульса, пс			
Длина волны, нм								
Мощность, мкВт								
Длительность импульса, пс								
Затухание, дБ								
Уширение импульса, пс								
Коэффициент затухания, дБ/км								
Хроматическая дисперсия, пс/нм км								

2.3. На двух длинах волн 1310 и 1550 нм провести измерения зависимости амплитуды P_2 и длительности t_2 выходных импульсов от ширины спектра излучения Δf источника излучения для двух ранее заданных длительностей входных импульсов t_1 . Результаты измерений поместить в таблицу 3.

Таблица 3

Тип волокна	Длина волокна, км					Длительность входного импульса, пс				
Длина волны, нм	1310					1550				
Ширина спектра, ГГц	0.01	0.1	1.0	10.0	100	0.01	0.1	1.0	10.0	100
Мощность, мкВт										
Длительность импульса, пс										
Затухание, дБ										
Уширение импульса, пс										
Коэффициент затухания, дБ/км										
Хроматическая дисперсия, пс/нм км										

Построить графики зависимостей коэффициента затухания α и хроматической дисперсии D_x от ширины спектра излучения источника для двух длительностей входных импульсов и для двух оптических волокон. Дать объяснения полученным результатам, сравнить измерения при двух длительностях импульсов и для двух различных волокон.

3. Содержание отчета

Таблицы с результатами измерений и расчетов. Графики зависимостей. Выводы.

Лабораторная работа № 7

Изучение метода обратного рассеяния в волоконных световодах с помощью оптического рефлектометра.

1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1.1. СОСТАВ УСТАНОВКИ

Моделируемая лабораторная установка (рис.1.1) 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.

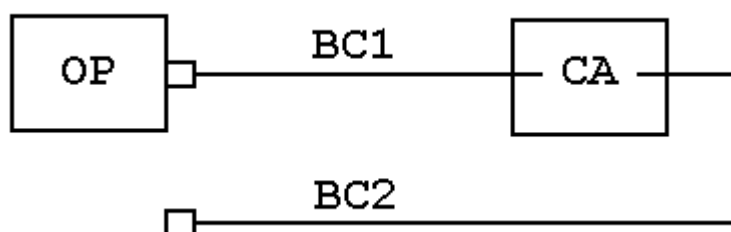


Рис.1.1. Структурная схема лабораторной установки

1.2. 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.1.2) 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, состоящую 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).

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.

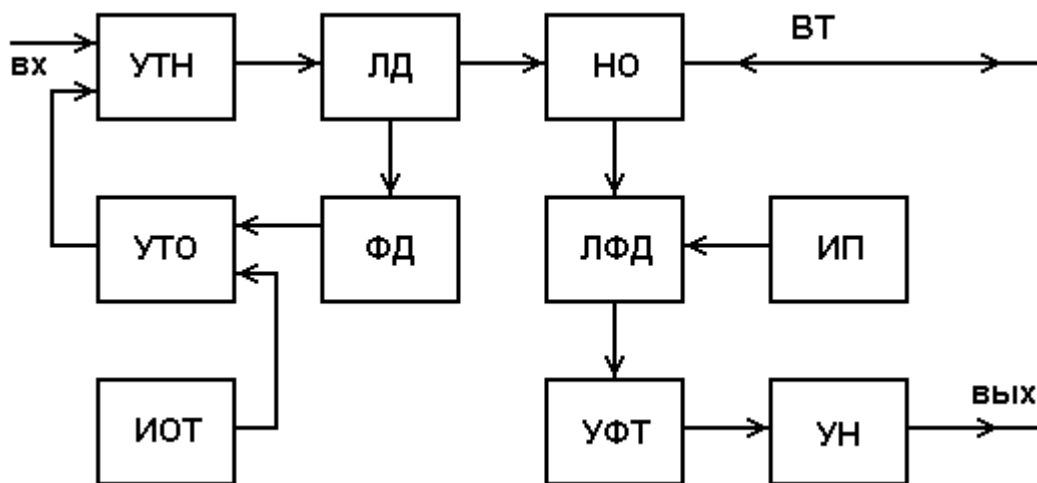


Рис.1.2. Структурная схема оптоэлектронного блока

Оптические импульсы через НО поступают в исследуемый ВТ. Обратное 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 ОР.

Структурная схема электронного блока ОР (рис.1.3) включает генератор импульсов (ГИ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), микропроцессорное устройство управления (МПУУ) и устройство отображения (УО).

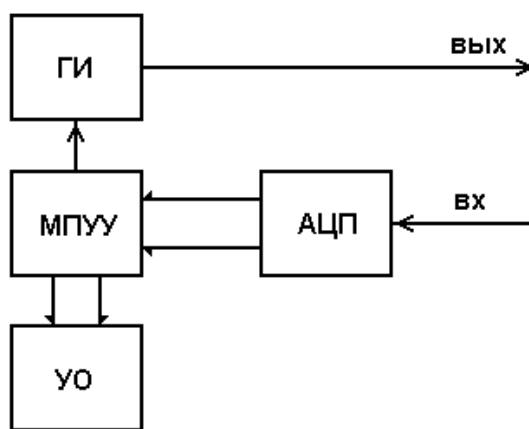


Рис.1.3. Структурная схема электронного блока обработки ОР

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

1.3. ПРИНЦИП НАКОПЛЕНИЯ СИГНАЛА ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

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

$$U_N(l) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_s(l) + U_{ni}), \quad (1.1)$$

где N - число накоплений сигнала в данной точке;

$U_s(l)$ - полезный сигнал в данной точке рефлектограммы;

U_{ni} - отсчет шума при i накоплении.

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

$$S/N_f = \frac{U_s(l)}{\sigma}. \quad (1.2)$$

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

$$S/N_N = \frac{U_N(l)}{\sigma_N} = [S/N_f] \sqrt{N}. \quad (1.3)$$

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

$$D_N = 5 \cdot \lg \frac{U_N(0)}{\sigma_N} = 5 \cdot \lg \frac{U_s(0)}{\sigma_n} + 2.5 \cdot \lg(N) \quad (1.4)$$

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

$$D = D_0 + 5 \cdot \lg \frac{t_i}{t_{i0}}. \quad (1.5)$$

Типичная рефлектограмма сигнала обратного рассеяния для ВТ приведена на рис. 1.4. 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:

$$a_B = -10 \cdot \lg R, \quad (1.6)$$

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.

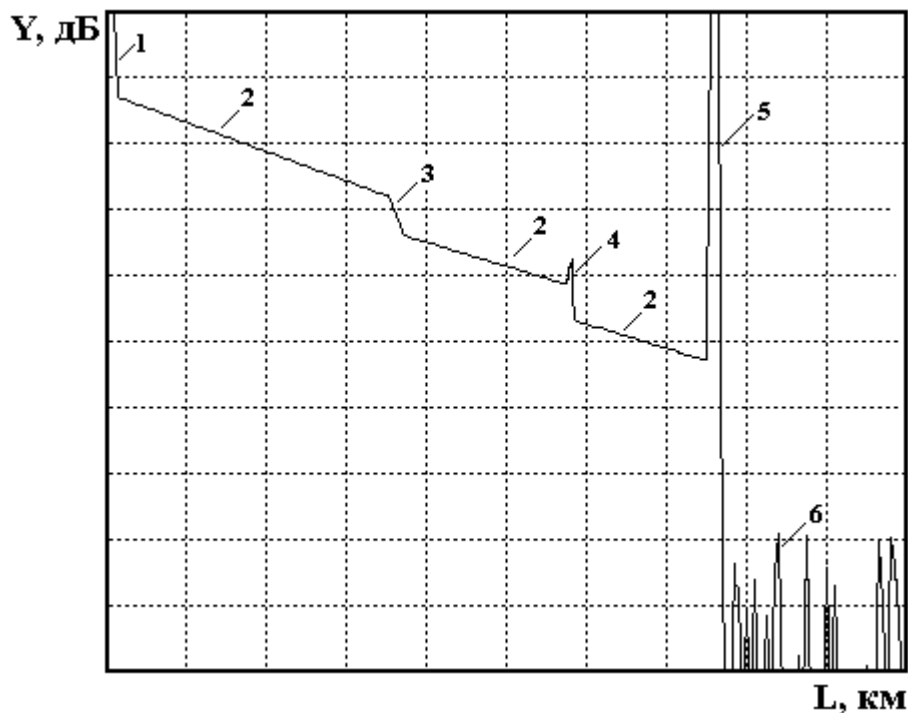


Рис.1.4. Сигнал обратного рассеяния

2. УПРАВЛЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКОЙ

2.1. ОСНОВНОЕ МЕНЮ

Основное меню 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».

2.2. ЗАПУСК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

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.

2.3. ЗАДАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОР

Режим "ПАРАМЕТРЫ" позволяет выйти в подменю, каждый пункт которого предназначен для установки определенного параметра ОР. Для перемещения по подменю используются вертикальные курсорные клавиши. Выбор 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".

При установке "Коэффициента усиления" изменяется 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.

При установке "Длительности импульса" вместе с изменением длительности импульса в пределах от 20 до 5000 нс изменяется также уровень сигнала обратного рассеяния. Причем с увеличением длительности уровень сигнала обратного рассеяния растет, а уровень френелевских сигналов и уровень шума практически не изменяются. При изменении длительности изменяется расположение рефлектограммы на экране в логарифмическом масштабе и отношение сигнала к шуму.

При установке "Длины участка" горизонтальная шкала ОР имеет протяженность 1, 5, 25 и 125 км.

При установке "Длины волны" изменяется тип оптико-электронного 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.

При установке "Режима работы" можно выбирать 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).

При установке "РЕЖИМА НАКОПЛЕНИЙ" можно выбирать 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

$$T_r = N \cdot M \cdot T_0 = \frac{N \cdot M}{F_0}, \quad (2.1)$$

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

$$T_r = N \cdot T_0 = \frac{N}{F_0}. \quad (2.2)$$

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.

2.4. 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.

2.5. УПРАВЛЕНИЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕМ

Режим "ПОДКЛЮЧЕНИЕ" позволяет выйти в подменю, состоящее из трех пунктов: "BC1+BC2", "BC2+BC1" и "Нет подключения". Выбирая первый или второй, можно подключить ОР с любой стороны ВТ. При установке третьего пункта можно наблюдать отражение от границы раздела ВС/воздух.

2.6. НАСТРОЙКА ПРОГРАММЫ

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

2.7. ПОЛЬЗОВАНИЕ КУРСОРАМИ

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 → и ←, правый – клавишами ↑ и ↓. 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. Предусмотрена возможность подробного изучения фрагмента рефлектограммы, находящегося между курсорами, с помощью нажатия большой клавиши пробела. Этот режим работы называют «электронной лупой» или «окном». 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 «обзор» осуществляется через пункт меню «Параметры». При наблюдении выбранного фрагмента рефлектограммы можно повысить точность измерения расстояний и вносимого неоднородностями затухания.

2.8. ПОМОЩЬ

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

3. ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. 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 $2b = 125 \text{ мкм}$, но разный диаметр сердцевины $2a = 50 \text{ мкм}$ для МВС и $2a = 8-10 \text{ мкм}$ для ОВС. 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 вводе/выводе излучения при неправильном соединении ВС можно оценить по выражению

$$a_d = 10 \cdot \lg \left[\frac{r_m \cdot NA_m}{r_o \cdot NA_o} \right], \text{ дБ} \quad (3.1)$$

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 $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$ при двух типах оптических разъемов ОР (многомодовом $50/125 \text{ мкм}$ и одномодовом $9/125 \text{ мкм}$). 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 $50/125 \text{ мкм}$); режим накопления - (параллельный); число накоплений - (2000). Тип подключенного к ОР световода соответствует тому оптическому разъему, при котором уровень сигнала при одном и том же расстоянии больше. 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. Тогда потери на вводе/выводе при несоответствии ВС и оптического блока ОР составят

$$a_d = |Y_{sm} - Y_{so} + Y_{nm} - Y_{no}|, \quad (3.2)$$

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.

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВС1 И ВС2

После определения типа ВС установите в режиме «Параметры» длину волны $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$ и соответствующий световоду тип оптического разъема. Подключите 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.

3.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ВС

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.

3.2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ

Для определения коэффициента затухания на однородном участке ВС необходимо с помощью курсоров выбрать две точки, отстоящие друг от друга на известное расстояние $\Delta L = L_2 - L_1$, например 1 км и определить в них уровни сигналов Y_{s1} и Y_{s2} . Тогда коэффициент затухания

$$\alpha = \frac{Y_{s1} - Y_{s2}}{\Delta L}, \text{ дБ/км} \quad (3.3)$$

Общее затухание на однородном участке можно определить по выражению

$$a = \alpha \cdot L, \text{ дБ}, \quad (3.4)$$

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

Для повышения точности измерений Y_L необходимо уменьшить цену деления по оси Y .

3.2.3. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Проведите измерения длины ВС1 и ВС2 (при одной длине волны $\lambda = 1.3$ мкм). Измерения коэффициента затухания проводятся 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. Результаты измерений и расчетов внесите в таблицу 3.1.

ТАБЛИЦА 3.1

$\lambda, \text{мкм}$	ВС	$L, \text{км}$	$Y_{c1}, \text{дБ}$	$Y_{c2}, \text{дБ}$	$\Delta L, \text{км}$	$\alpha, \text{дБ/км}$	$a, \text{дБ}$
1.3	ВС1						
	ВС2						
	ВС1	-					
	ВС2	-					

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ МЕРТВОЙ ЗОНЫ

"Мертвая зона" образуется из-за насыщения ФПУ. В этой зоне невозможно проведение измерений, в частности невозможно обнаружить даже отражение от обрыва ВС. Для измерения ширины "мертвой зоны" L_{mz} необходимо выбрать начальный участок рефлектограммы с первым курсором, установленным на расстояние $L_0 = 0$. Ширину "мертвой зоны" определяют с помощью второго курсора, наблюдая за уровнем сигнала. Конец зоны соответствует началу рассеянного сигнала. Измерения можно провести для одного ВС, который надо указать в отчете. Результаты измерений ширины "мертвой зоны" в зависимости от длительности импульса и длины волны поместите в таблицу 3.2.

ТАБЛИЦА 3.2

$\lambda, \text{мкм}$	$L_{mz}, \text{км при } T_{i,nc}$				
	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.

3.4. ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ОПТИЧЕСКОГО РЕФЛЕКТОМЕТРА

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. Динамический диапазон определяется по выражению

$$D = Y_s - Y_n, \text{ дБ} \quad (3.5)$$

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 таблицу 3.3.

ТАБЛИЦА 3.3

$\lambda, \text{мкм}$	N	2000			20000		
		20	200	2000	20	200	2000
1.3	$T_i, \text{нс}$						
	$D, \text{дБ}$						

3.5. ИЗМЕРЕНИЯ ПОТЕРЬ В СВАРКЕ

Измерения проводятся на длине волны $\lambda = 1.3 \text{ мкм}$. Установите последовательность подключения ВС (ВС1 + ВС2). Сварите волокна, включив режим "сварка". Убедитесь по рефлектограмме, что ВС1 и ВС2 сварены. Для повышения точности измерений используйте режим электронной лупы (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 можно определить методом трех курсоров. В современных ОР для этих измерений все курсоры устанавливаются на рефлектограмме одновременно и расчет потерь проводится по заложенной в программное обеспечение ОР

формуле. На рис.3.1 показана типичная рефлектограмма отражающей неоднородности, например разъемного соединения.

Первый курсор устанавливают в точке, соответствующей концу ВС1. Ему соответствуют расстояние l_1 и сигнал обратного рассеяния Y_1 . Курсоры 2 и 3 устанавливают на однородном участке ВС2. 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 обратного рассеяния. Курсор 3 должен лежать, как можно дальше от стыка, но на линейном участке сигнала обратного рассеяния. Тогда для вносимых потерь в разъемных и неразъемных соединениях будет справедливо:

$$a_c = Y_1 - Y_2 \cdot \frac{l_3 - l_1}{l_3 - l_2} + Y_3 \cdot \frac{l_2 - l_1}{l_3 - l_2}. \quad (3.6)$$

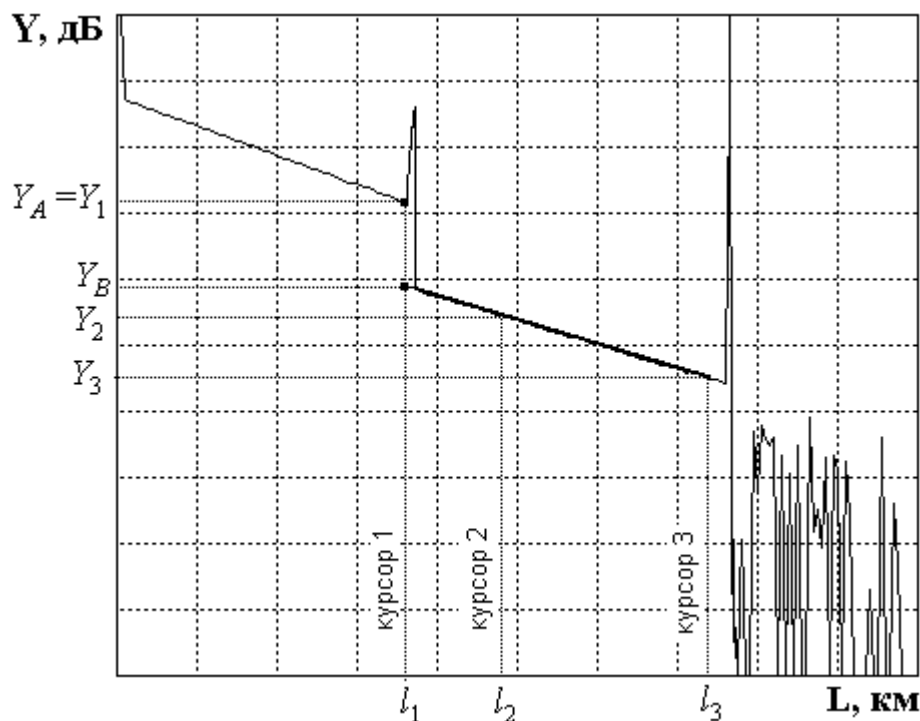


Рис. 3.1. Измерение вносимых потерь в соединении методом трех курсоров

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.3.2 показаны рефлектограммы, иллюстрирующие такую измерительную ситуацию.

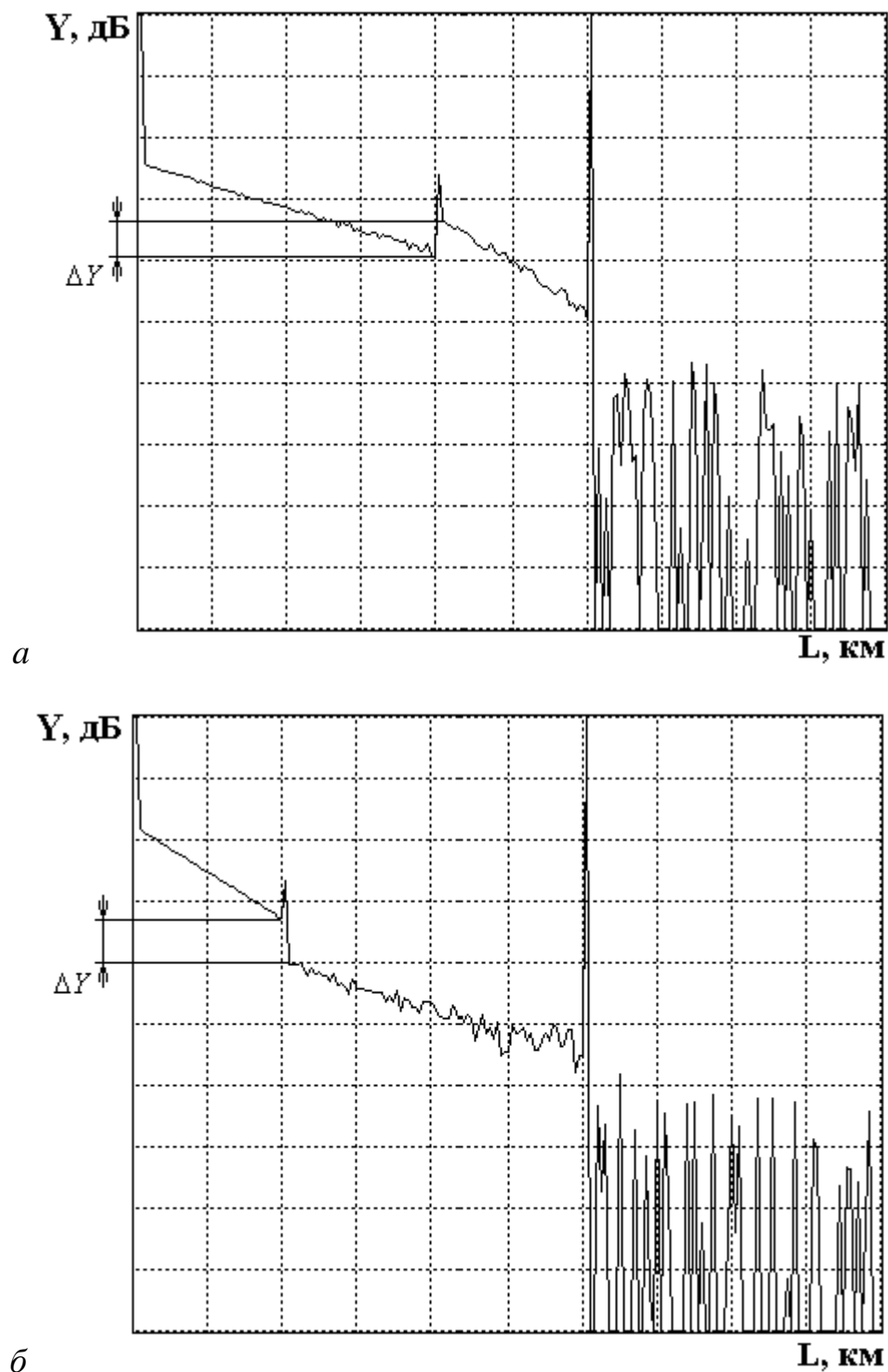


Рис.3.2. Рефлектограммы, зарегистрированные с обоих концов ВТ

Потери в стыке определяются по выражению

$$a_s = \frac{a_{s1} + a_{s2}}{2}, \quad (3.7)$$

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

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. Средние потери \bar{a}_s и СКО $s(a_s)$ определяем по следующим выражениям:

$$\bar{a}_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{sj}, \quad s(a_s) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (a_{sj} - \bar{a}_s)^2}, \quad (3.8)$$

где j - номер сварки.

Результаты измерений и расчетов поместите в таблицу 3.4.

ТАБЛИЦА 3.4

№	Подкл	Экспериментальные данные						Рассчитан. величины			
		$L1$	$L2$	$L3$	Y_{s1}	Y_{s2}	Y_{s3}	a_{s1}	a_s	\bar{a}_s	$s(a_{sj})$
1	BC1										
	BC2										
2	BC1										
	BC2										
5	BC1										
	BC2										

3.6. ИЗМЕРЕНИЕ ВОЗВРАТНЫХ ПОТЕРЬ В НЕОДНОРОДНОСТИ

При сварке ВС существует некоторая вероятность возникновения дефектных сварок, которые представляют собой отражающие неоднородности, которые характеризуются возвратными потерями (1.6). 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 необходимо получить рефлектограмму (рис. 3.3), на которой виден выброс сигнала, обусловленный френелевским отражением Y_F в разъемном соединении. 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 измеряют уровни сигнала обратного рассеяния Y_S и Y_F .

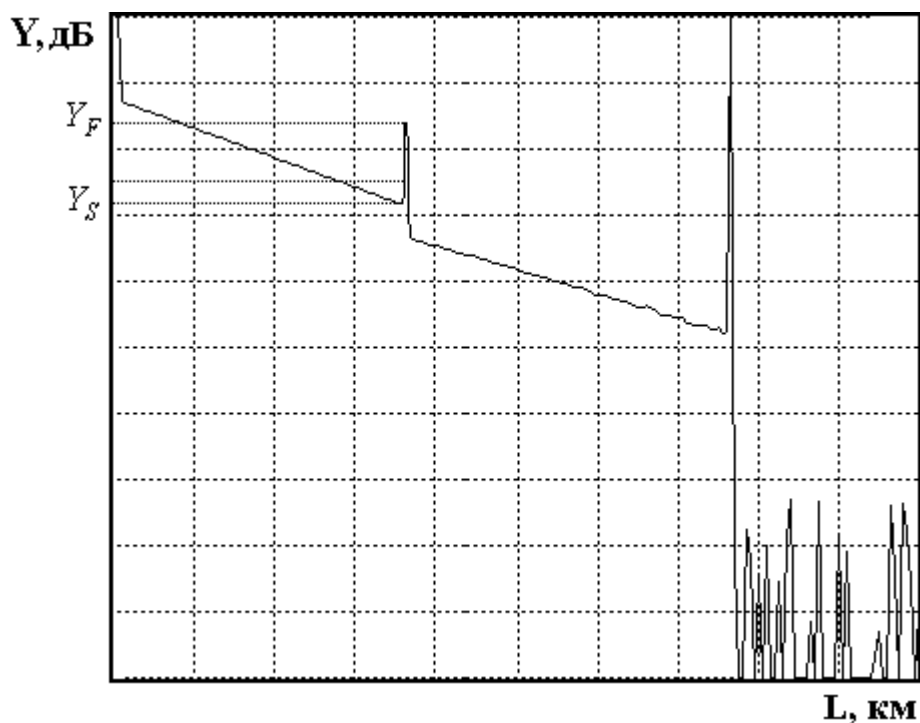


Рис. 3.3. Методика измерения возвратных потерь

Для расчета возвратных потерь по рефлектограмме используют выражение:

$$a_B = -2 \cdot Y_{s0} - 10 \cdot \lg \frac{t_i}{t_{i0}} - 10 \cdot \lg \left(10^{\frac{Y_F - Y_S}{5}} - 1 \right), \quad (3.9)$$

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. 3.5.

Таблица 3.5

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

4.СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Упрощенную структурную схему оптического рефлектометра.
2. Результаты наблюдений и измерений по пунктам:
 - 2.1. Результаты измерений, расчета, вывод о типе ВС и 2 рефлектограммы;
 - 2.2. Результаты измерений и расчетов длины, коэффициента затухания и общего затухания двух ВС на двух длинах волн (таблица 3.1);
 - 2.3. Результаты измерений ширины мертвой зоны (таблица 3.2);
 - 2.4. Результаты измерения динамического диапазона ОР (таблица 3.3);
 - 2.5. Результаты многократных измерений потерь в сварке и результаты статистической обработки результатов наблюдений (таблица 3.4).
 - 2.6. Результат измерения возвратных потерь.

Лабораторная работа № 8

«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.

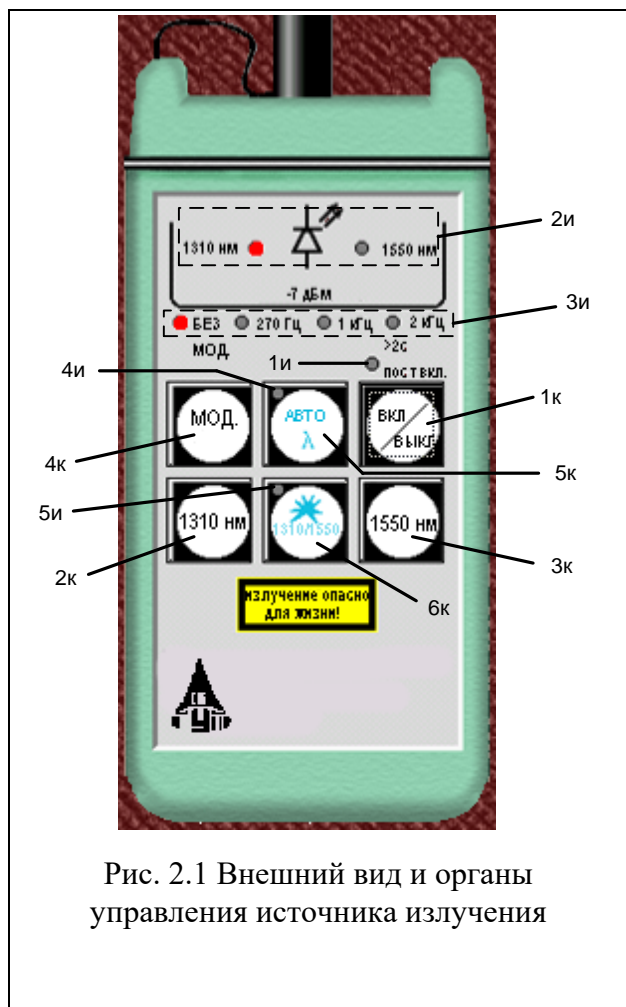


Рис. 2.1 Внешний вид и органы управления источника излучения

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.

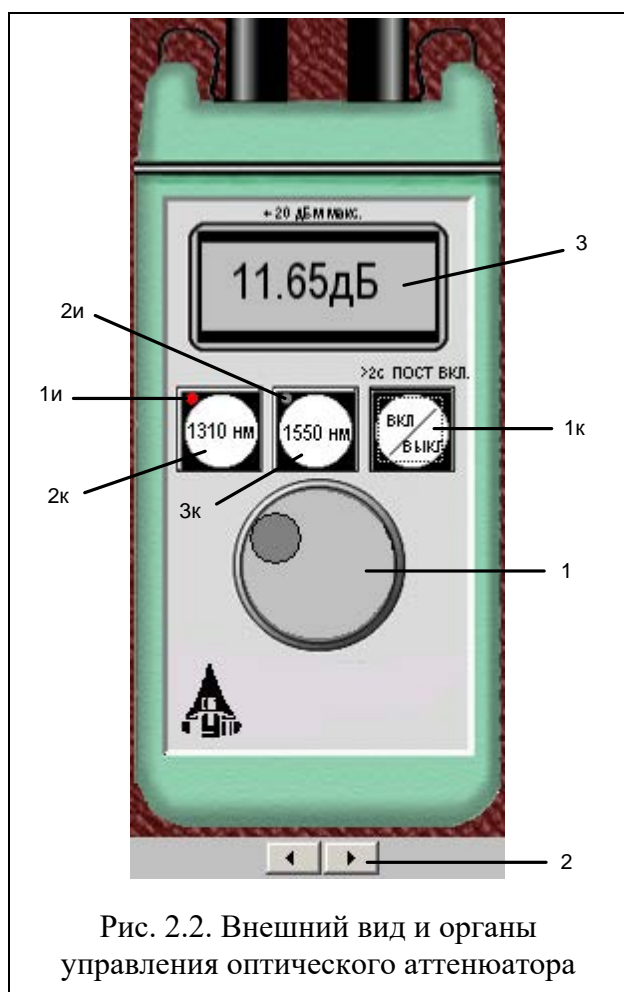


Рис. 2.2. Внешний вид и органы управления оптического аттенюатора

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 непрерывной

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,
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 мВт 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.

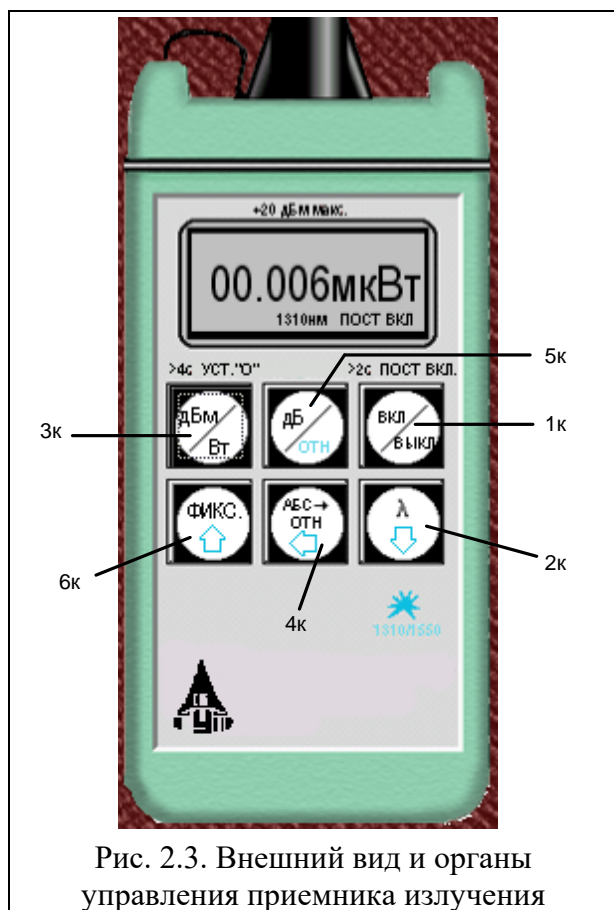


Рис. 2.3. Внешний вид и органы управления приемника излучения

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 разъёмных 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».

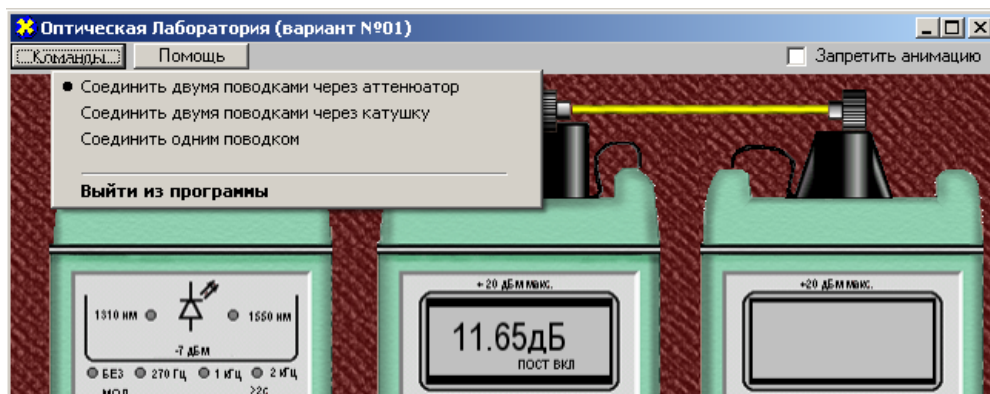


Рис. 2.4. Выбор схемы.

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

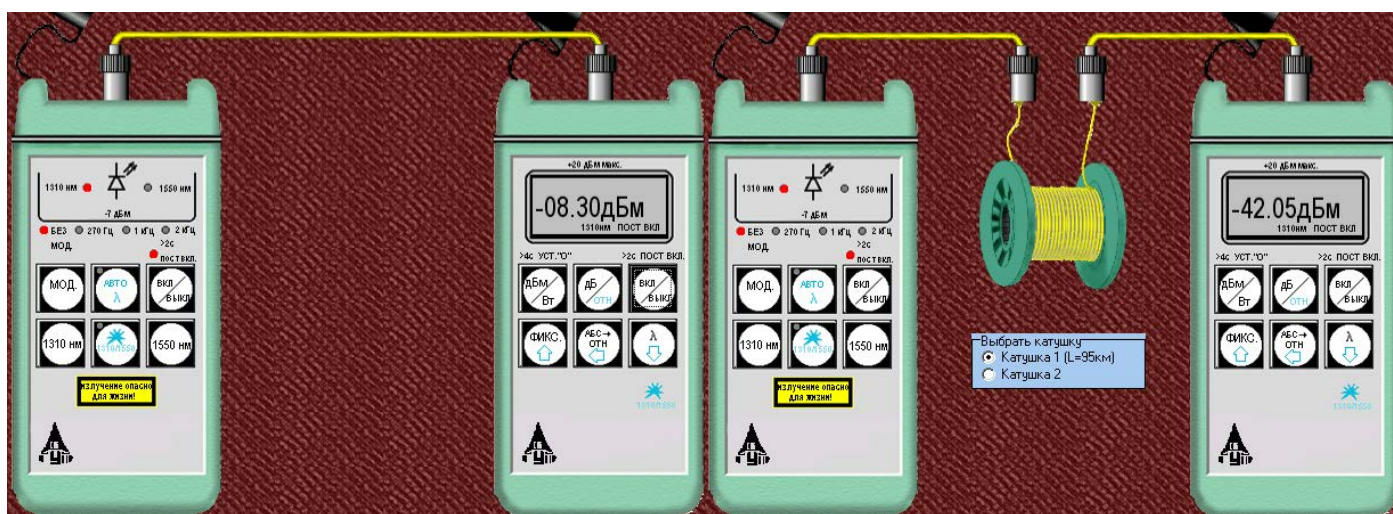
Подготовка к работе

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.

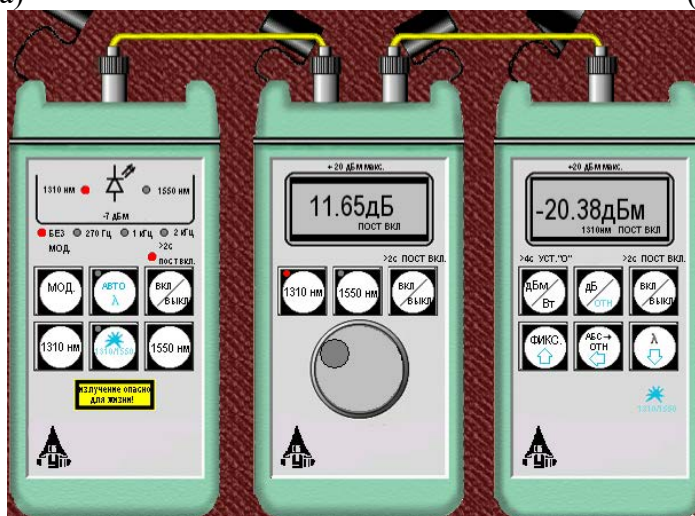
Измерение мощности излучателей, исследование разъемных соединителей

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.



(a)

(б)



(в)

Рис. 2.5. Схемы проведения измерений.

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

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

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

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

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				

4. 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.

5. Сделайте выводы по полученным результатам.

Измерение вносимого затухания и коэффициента затухания оптического волокна

Измерение методом разности уровней

1. Соедините ИИ с ПИ коротким оптическим поводком.
2. 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.
3. Соедините ИИ с ПИ первым измеряемым оптическим волокном (команда «Соединить двумя поводками через катушку», катушка 1).
4. 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 волны, 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.