

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

**А.Е. Мандель, А.С. Перин**

**Метрология в оптических телекоммуникационных системах:  
лабораторный практикум**

Лабораторный практикум для студентов, обучающихся по направлению  
подготовки «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Томск  
2018

**УДК** 621.391.1.519.8(075.8)

**ББК** 32.88-01я73

М 231

**Рецензент:**

**Шарангович С.Н.**, профессор кафедры сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники, канд. физ.-мат. наук

**Мандель, Аркадий Евсеевич**

М 231 Метрология в оптических телекоммуникационных системах: лабораторный практикум: учеб. метод. пособие / А.Е. Мандель, А.С. Перин. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2018. – 31 с.

Приведены описания и указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Метрология в оптических телекоммуникационных системах». Лабораторные работы выполняются на кафедре сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники и предназначены для студентов, обучающихся по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

УДК 621.391.1.519.8(075.8)

ББК 32.88-01я73

© Мандель А.Е., Перин А.С., 2018

© Томск. гос. ун-т систем упр.

и радиоэлектроники, 2018

## Содержание

1 Предисловие.....	4
2 Лабораторная работа № 1 ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ИК - ДИАПАЗОНА .....	5
3 Лабораторная работа № 2 ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПРИЕМНОГО МОДУЛЯ ИК – ДИАПАЗОНА.....	10
4 Лабораторная работа № 3 ТЕСТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН РЕФЛЕКТОМЕТРОМ «ТОПАЗ-7000-AR» .....	17
5 Лабораторная работа № 4 ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ОПТИЧЕСКИМ ТЕСТЕРОМ «ТОПАЗ-7315-AL».....	26

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В пособии приведены описания лабораторных работ по курсу «Метрология в оптических телекоммуникационных системах». Данные работы выполняются на кафедре сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники.

Лабораторные работы выполняются на лабораторных стендах. Каждый стенд состоит из лабораторной установки и дополнительного оборудования. Дополнительное оборудование включает модульный скремблер (смеситель мод), измеритель оптической мощности «Топаз 7210А», оптический тестер – рефлектометр «Топаз-7000-AR», оптический тестер «Топаз-7315-AL».

В сборнике в описании каждой лабораторной работы содержатся краткие теоретические сведения, описание экспериментальной установки, описание методики проведения лабораторной работы, лабораторное задание, контрольные вопросы и список рекомендуемой литературы.

Лабораторный практикум предназначен для студентов обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Инфокоммуникационные технологии и систем связи», профиль «Оптические системы и сети связи».

## Лабораторная работа № 1

### ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ИК - ДИАПАЗОНА

#### 1 Введение

Источники излучения в волоконно-оптических системах передачи предназначены для преобразования электрического входного сигнала в выходной оптический. Известны два основных класса излучателей, пригодных для использования в технике оптической связи: светодиоды (СД) и полупроводниковые лазеры (ЛД).

Лабораторная работа «Измерение характеристик лазерного излучателя ик - диапазона» поясняет и закрепляет теоретический материал о методах измерений характеристик источников излучения, используемых в волоконно-оптических системах передачи.

**Цель работы:** Ознакомление студентов с методами измерений характеристик полупроводниковых лазеров, используемых в волоконно-оптических системах передачи.

#### 2 Теоретическая часть

Основные требования к источникам излучения в волоконно-оптических системах передачи – обеспечение требуемой мощности в волоконном световоде и долговременной стабильности параметров излучения. Обычно в качестве источников используются полупроводниковые лазерные диоды или светодиоды.

Светодиоды генерируют некогерентное излучение, используемое для работы в основном по многомодовому волокну на длинах волн. Выходная мощность СД  $\sim 1$  мВт, ширина спектра излучения составляет  $20 \div 80$  нм. У светодиодов достаточно широкая апертура излучения, что ведет к значительным потерям при вводе света в оптическое волокно – до  $10 \div 17$  дБ. Быстродействие светодиода невысоко, полоса частот модуляции не превышает 1 МГц. Светодиоды характеризуются почти линейной зависимостью мощности излучения от тока возбуждения (рис.2.1).

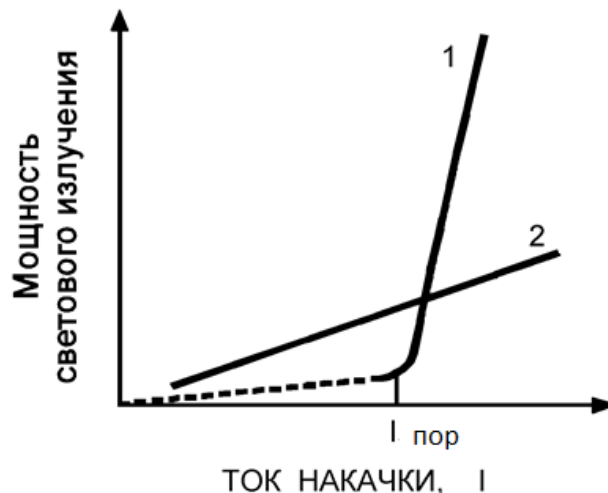


Рисунок 2.1 – Зависимость мощности светового излучения полупроводникового лазера (кривая 1) и светодиода (кривая 2) от тока накачки

Принципиальным отличием лазерных диодов от светодиодов является наличие в них встроенного оптического резонатора. Полупроводниковый лазер, в отличие от светодиода,

генерирует близкое к монохроматическому излучение со спектральной шириной  $1 \div 5$  нм, работает на длинах волн в диапазоне  $1250 - 1600$  нм и используется для передачи информации по одномодовому кабелю. Меньшая ширина спектральной характеристики ведет к снижению дисперсионных искажений передаваемого сигнала. Быстродействие современных лазеров позволяет модулировать их с частотой до 10 ГГц и выше. Выходная мощность излучения лазерных диодов составляет  $\sim 5$  мВт. Диаграмма направленности в лазерного излучателя имеет меньшую ширину, чем у светодиодов. При прочих равных условиях это позволяет ввести в волокно большую мощность. Потери на ввод излучения лазерных диодов обычно не превышают  $2 \div 5$  дБ. Зависимость мощности излучения лазерного диода от тока накачки описывается ватт-амперной характеристикой и имеет ярко выраженный пороговый характер (рис. 2.1).

При создании лазерных передатчиков приходится решать ряд сложных инженерных задач, обусловленных следующими особенностями лазера:

- для уменьшения времени задержки и, следовательно, для увеличения быстродействия лазерного передатчика рабочая точка в состоянии покоя должна находиться вблизи излома энергетической характеристики;
- величина порогового тока  $I_{пор}$ , при котором начинается лазерная генерация, сильно зависит от температуры кристалла излучателя и возрастает с течением времени из-за эффектов его старения;
- большая крутизна энергетической характеристики при токах, превышающих пороговое значение, в сочетании с низкой стойкостью лазера к перегрузкам требует контроля выходной мощности излучения.

Все это приводит к необходимости применения в электронных схемах лазерных передатчиков сложных цепей регулирования и стабилизации с использованием мониторингового фотодиода, что существенно усложняет передающий лазерный оптоэлектронный модуль.

В ходе выполнения данной работы необходимо измерить ватт-амперные характеристики лазерного диода (зависимость выходной мощности излучения от тока накачки). По измерениям этой характеристики можно определить коэффициент передачи (отношение мощности светового излучения к протекающему через диод току) и оценить нелинейность преобразования. В работе используется лазерный модуль с диодом 1310 нм.

### 3 Описание экспериментальной установки

Комплект для выполнения лабораторной работы состоит из лабораторной установки и дополнительного оборудования: могового скремблера, измерителя оптической мощности «Топаз 7210А», мультиметра (используемого как миллиамперметр).

Внешний вид лабораторной установки представлен на рисунке 3.1.

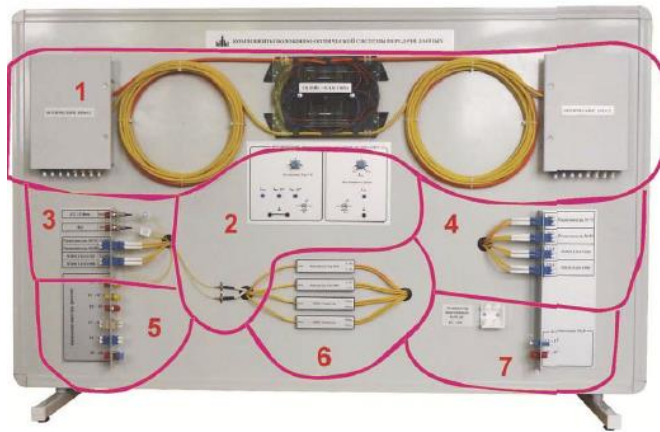


Рисунок 3.1 – Внешний вид лабораторной установки

Лицевая панель лабораторной установки (рис 3.1) разбита на области разного функционального назначения. Для выполнения данной лабораторной работы необходимо задействовать области под номерами 2,3.

Область под номером 2 – блок активных компонентов волоконно – оптической системы передачи, включающий блок «источник оптического сигнала» и блок «фотоприемник» (см. рис. 3.2). Область под номером 3 – блок оптических розеток с коннекторами активных и пассивных элементов. В качестве активных элементов в данной работе используются лазерный модуль.

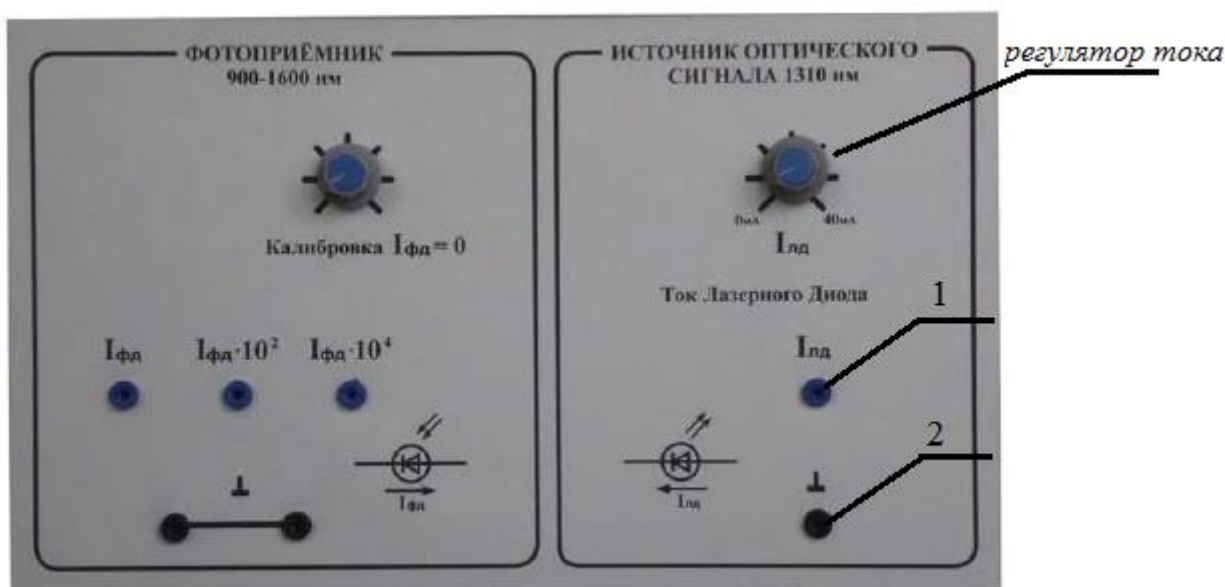


Рисунок 3.2 – Панель блока активных компонентов

Структурная схема экспериментальной установки для измерения ватт – амперной характеристики лазерного диода и фотодиода представлена на рисунке 3.3.

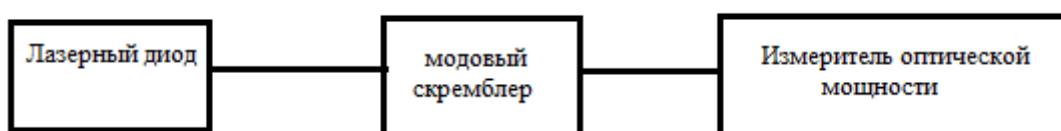


Рисунок 3.3 – Схема измерения ватт – амперной характеристики лазерного диода

Источник оптического сигнала состоит из лазерного модуля с длиной волны 1310 нм. Электрическая часть представляет собой регулируемый источник тока, ограниченный величиной  $\sim 45$  мА. Ручка регулировки находится на лицевой части панели (см. рис. 3.2).

Электрическая схема блока «источник оптического сигнала» представлена на рисунке 3.4. Миллиамперметр (тестер) подключается к гнездам 1 и 2 на лицевой панели. Сопротивление шунта тестера составляет около 3,2 Ом, что дает систематическую погрешность около 10%. Реальный ток через лазерный диод на 10% выше, чем показания на приборе.

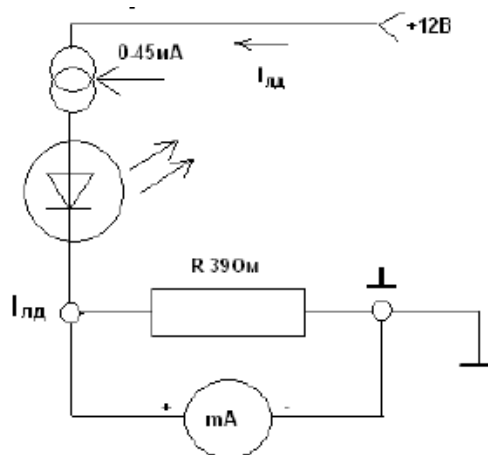


Рисунок 3.4 – Электрическая схема блока «источник оптического сигнала»

Модовый скремблер (смеситель мод) соответствует спецификации TIA/EIA – 568 – В.1 и представляет собой катушку диаметром 22 мм, на которую требуется 5 витков оптического кабеля в буфере 3 мм. Для фиксации витков на катушке необходимо использовать винт М3, закрепленный на ней. На рисунке 3.5 представлен внешний вид модового скремблера.



Рисунок 3.5 – Модовый скремблер

Измеритель оптической мощности «Топаз 7210А» находящийся в кейсе лабораторного комплекта, представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Кейс с источником оптического излучения «Топаз 3105», измерителем оптической мощности «Топаз 7210А» и блоком питания «Топаз 7210А»



**Перед началом работы с измерительным оборудованием, необходимо ознакомиться с инструкцией по эксплуатации измерителя оптической мощности «Топаз 7210А».**

#### **4 Порядок выполнения работы**

1. Возьмите модовый скремблер и намотайте на него 3- 5 витков оптического кабеля, используя ММ FC – FC оптический шнур. Для фиксации витков на катушке необходимо использовать винт М3, закрепленный на ней.
2. С помощью данного оптического шнура, намотанного на скремблер, необходимо соединить измеритель оптической мощности с лазерным диодом, подключив к соответствующим разъемам блока активных компонентов и измерителя оптической мощности. Измеритель оптической мощности «Топаз 7210А» включить в сеть.
3. Подключите мультиметр к клеммам для измерения тока лазерного диода (гнезда 1 и 2), соблюдая полярность. Переключите прибор в положение «измерение постоянного тока» с диапазоном 200 мА.
4. Регулятор тока на установке выставьте в положение «0 мА».
5. Увеличивать ток с шагом 5 мА до максимального значения, каждый раз измеряя выходную оптическую мощность. При каждом изменении тока накачки дать системе выйти на стабильный режим в течении 2 – х минут и только после этого измерять выходную оптическую мощность.
6. Повторить измерения 4-5 раз; результаты измерений зависимости оптической мощности от тока накачки излучателя занести в таблицу.
7. Построить по результатам измерений график зависимости выходной мощности оптического излучения от тока накачки лазерного диода; рассчитать доверительные интервалы.
8. Определить по результатам измерений рабочий диапазон токов лазерного диода и рабочую точку.
9. Сделать выводы о проделанной работе.

#### **5 Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Цель работы и схему экспериментальной установки.
2. Методику измерений.
3. Результаты измерений, занесенные в таблицу.
4. График зависимости выходной мощности оптического излучения от тока накачки лазерного диода.
5. Результаты расчета доверительных интервалов.
6. Выводы.

#### **6 Контрольные вопросы**

1. В чем различие ватт-амперных характеристик лазерных диодов и светодиодов
2. Почему необходимо применение в передающих лазерных модулях систем стабилизации тока накачки и температуры.
3. Почему перед измерением мощности оптического излучения диода требуется подождать некоторое время даже при условии, что измерительная аппаратура готова к измерениям?
4. Является ли ватт – амперная характеристика лазерного диода линейной?

## Лабораторная работа № 2

### ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПРИЕМНОГО МОДУЛЯ ИК - ДИАПАЗОНА

#### 1 Введение

Фотоприемное устройство (ФПУ) является составной частью линейного тракта волоконно-оптических систем передачи. ФПУ входит в состав оконечных и промежуточных обслуживаемых и необслуживаемых пунктов линии связи. В фотоприемном устройстве происходит преобразование оптического сигнала в электрический сигнал.

Лабораторная работа «Измерение характеристик фотоприемного модуля ик - диапазона» поясняет и закрепляет теоретический материал о методах измерений характеристик приемников излучения, используемых в волоконно-оптических системах передачи (ВОСП).

**Цель работы:** Ознакомление студентов с методами измерений параметров и характеристик фотоприемных устройств, используемых в волоконно-оптических системах передачи.

#### 2 Теоретическая часть

В фотоприемном устройстве происходит преобразование оптического сигнала в электрический сигнал и его усиление. При необходимости в ФПУ могут быть включены схемы обработки сигнала, позволяющие получить параметры сигнала, при которых аппаратура, подключенная к выходу ФПУ, может нормально функционировать. Типичная функциональная схема фотоприемного устройства с прямым детектированием приведена на рисунке 2.1. Оптический соединитель осуществляет ввод излучения в ФПУ и согласование с приемником излучения. Преобразование оптического сигнала в электрический в ФПУ осуществляется фотоэлектрическим полупроводниковым приемником излучения.

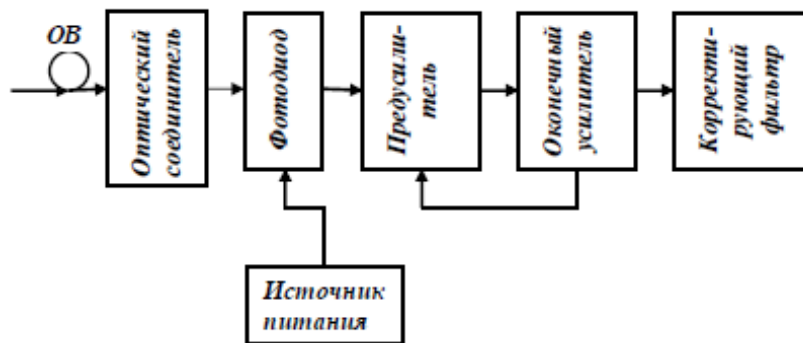


Рисунок 2.1 – Схема фотоприемного устройства

Усиление, необходимое для восстановления уровня сигнала и достижения максимально возможного при данных условиях отношения сигнала к шуму, обеспечивают усилители, входящие в состав ФПУ. После усилителя сигнал поступает в схему цифровой обработки (в цифровых ВОСП) или к потребителю информации (в аналоговых ВОСП).

Из множества фотоприемных преобразователей излучения наибольшее распространение в ВОСП получили быстродействующие р-і-п- фотодиоды и лавинные фотодиоды (ЛФД). Они хорошо стыкуются со световодом, имеют высокую квантовую эффективность, позволяют получать малое время фотоотклика. Спектральный диапазон приборов, в основном, определяется материалом. Для изготовления фотодиодов р-і-п-

структуры наиболее часто используемым материалом в области, близкой к инфракрасной (850 нм), является кремний Si. Фотодиоды p-i-n-структуры на длину волны, превышающую 1 мкм, выполняют из Ge, InGaAs и InGaAsP. ЛФД изготавливают на основе Si, InGaAs, InGaAsP. Структура ЛФД совмещает в себе свойства p-i-n и обычного лавинного диода, позволяя получать значительное усиление фототока при сохранении высокой квантовой эффективности и быстродействия. По сравнению с p-i-n- фотодиодом, ЛФД позволяет выиграть в пороге чувствительности, работает в меньшем диапазоне температур, но требует повышенного напряжения питания. При использовании ЛФД в качестве фотодетектора можно изменять подаваемое на него напряжение обратного смещения и таким путем регулировать коэффициент лавинного умножения (усиления) фотодиода. Это позволяет существенно расширить динамический диапазон ФПУ, но требует наличия блока автоматической регулировки усиления (АРУ). Лавинные фотодиоды, имеющие за счет эффекта внутреннего умножения на порядок более высокую чувствительность, чем p-i-n-диоды, находят применение в линиях связи большой протяженности. В локальных системах высокая чувствительность является излишней, и оптические приемники аппаратуры построены исключительно на p-i-n-диодах.

Приемники в оптических сетях должны обеспечивать низкий порог чувствительности, большой динамический диапазон для регистрации сигнала. При использовании в измерительной аппаратуре добавляются требования высокой линейности, широкого спектрального диапазона измерений, равномерной чувствительности в заданном спектральном диапазоне или на длинах волн калибровки.

На практике применяются различные типы полупроводниковых материалов в качестве чувствительного элемента. Кремний (Si) – хорошо работает в диапазоне 500 – 1100 нм. Германий (Ge) перекрывает диапазон 500 – 1550 нм. У него выше чувствительность, чем у кремния. InGaAs – тройная система, обладающая высокой чувствительностью в диапазоне 800 – 1600 нм и линейностью чувствительности в рабочем диапазоне.

В лабораторной работе используется фотоприемный модуль на основе InGaAs. Данный модуль можно использовать в системах передачи данных до 600 Мбит/с.

Основными метрологическими параметрами приемников излучения являются чувствительность, уровень собственных шумов, пороговая мощность.

Чувствительность - это свойство фотоприемника вырабатывать электрический сигнал определенной величины под действием падающего на него потока излучения. При использовании фотодиода как измерительного преобразователя чувствительность  $\gamma$  может быть определена как отношение фототока фотодиода  $I$  на единицу измеряемой оптической мощности  $P$ :

$$\gamma = \frac{I}{P}.$$

Чувствительность к немонахроматическому излучению заданного спектрального состава называется интегральной чувствительностью  $S_u$ . В тех случаях, когда рассматривается реакция приемника на монохроматическое излучение, говорят о монохроматической чувствительности. Для фотоприемников ВОСП обычно указывается монохроматическая чувствительность по току  $S_\lambda$  (А/Вт).

Монохроматическая чувствительность может быть абсолютной и относительной. В последнем случае величина абсолютной монохроматической чувствительности нормируется на максимум спектральной чувствительности. Зависимость монохроматической чувствительности фотоприемника от длины волны регистрируемого потока излучения называют спектральной характеристикой чувствительности.

Зависимость интегральной или спектральной чувствительности фотоприемника от интенсивности засветки называют характеристикой преобразования фотоприемника. Абсолютная

спектральная чувствительность (коэффициент преобразования) не остается строго постоянной в широком рабочем диапазоне изменения входных оптических сигналов, то есть оптическому приемнику свойственна некоторая нелинейность. Отклонение от линейности преобразования в фотоприемниках наступает либо при больших уровнях входного оптического сигнала, что связано с ограничением тока фотодиода сопротивлением нагрузки и внутренним сопротивлением при определенном напряжении питания, либо при очень малых уровнях входного сигнала, когда выходной сигнал становится сравнимым с шумами. Типичная зависимость тока фотоприемника  $I_\phi$  от входной оптической мощности  $P_{\text{опт}}$  приведена на рис.2.2.

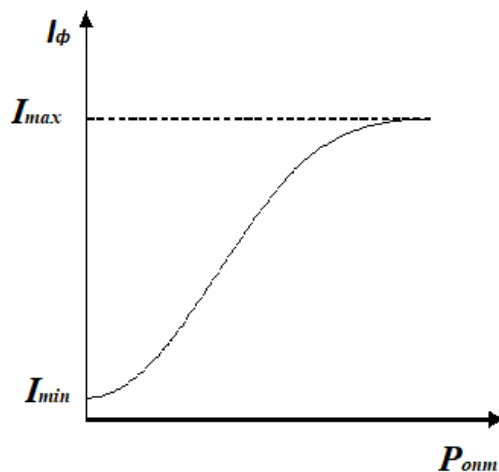


Рисунок 2.2 – Зависимость тока фотоприемника от входной оптической мощности

В данной лабораторной работе необходимо измерить и построить характеристику преобразования фотоприемника (зависимость выходного тока фотоприемника от входной оптической мощности) и определить темновой ток фотодиода.

### 3 Описание экспериментальной установки

Комплект для выполнения лабораторной работы состоит из лабораторной установки и дополнительного оборудования. Внешний вид установки представлен на рисунке 3.1

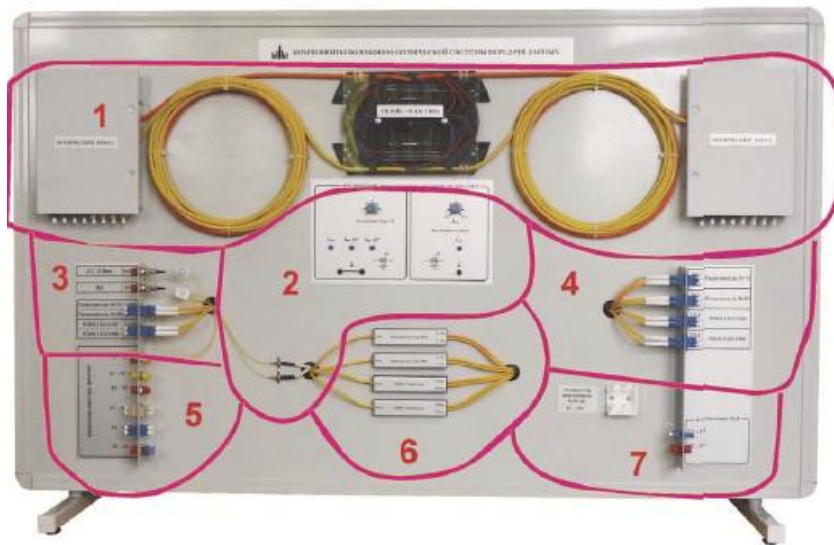


Рисунок 3.1 – Внешний вид лабораторной установки

На рисунке 3.1 лицевая панель лабораторной установки разбита на области разного функционального назначения. Для выполнения данной лабораторной работы необходимо задействовать области под номерами 2,3,4 и 6.

Область под номером 2 – блок активных компонентов волоконно – оптической системы передачи данных, включающий блок «источник оптического сигнала» и блок «фотоприемник» (см. рис. 3.2). Область под номером 3,4 – блок оптических розеток с коннекторами активных и пассивных элементов. Область под номером 6 – блок пассивных компонентов ВОЛС: разветвитель 70/30, разветвитель 50/50, два WDM сплиттера 1310/1550, оптический циркулятор.

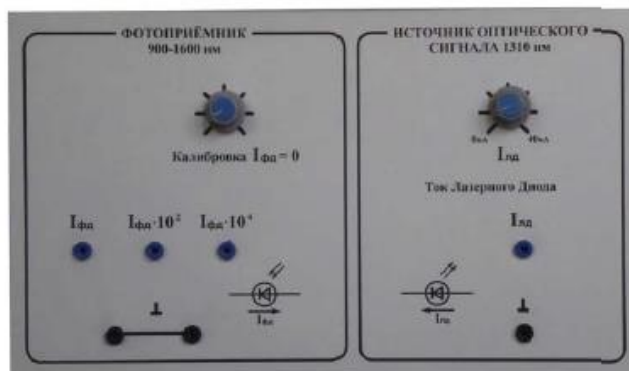


Рисунок 3.2 – Панель блока активных компонентов

Блок «Источник оптического сигнала» состоит из лазерного модуля с длиной волны 1310 нм и электрической части, представляющей собой регулируемый источник тока, ограниченный величиной порядка 45 мА. Ручка регулировки находится на лицевой части панели (см. рис. 3.2).

Блок «фотоприемник» состоит из фотоприемного модуля с чувствительным элементом InAsGa и электрической части. Оба модуля (лазерный и фотоприемный) снабжены LC – коннекторами, которые присоединены к розеткам на планке.

Электрическая часть блока «фотоприемник» представляет собой каскад усилителей с выводами  $I_{фд}$ ,  $I_{фд} \times 100$ ,  $I_{фд} \times 10000$ , включенные последовательно. По мере увеличения тока через фотодиод, усилители последовательно входят в режим насыщения, который ограничен током порядка 3 мА. Это означает, что при токе фотодиода 1 нА на последнем усилителе  $I_{фд} \times 10^4$  будет ток 10 мкА. Набор выводов тока позволяет измерять токи от единиц наноампер до 10 миллиампер. Выводы используются для измерения чувствительности фотоприемника и темнового тока фотоприемника. При измерениях чувствительности фотодиода рекомендуется использовать  $I_{фд}$ , меняя диапазон измерений на приборе от 200 мкА до 20 мА.

Схема экспериментальной установки для измерения чувствительности полупроводникового фотоприемника ИК – диапазона представлена на рисунке 3.3.

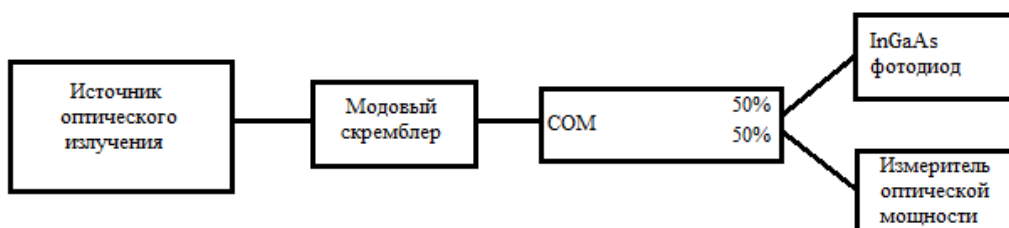


Рисунок 3.3 – Схема измерений характеристики преобразования полупроводникового фотоприемника ИК - диапазона

В качестве источника оптического сигнала в данной работе рекомендуется использовать лазерный модуль с длиной волны 1310 нм и источник оптического излучения «Топаз 3105». Перед использованием источника оптического излучения «Топаз 3105» необходимо дополнительно ознакомиться с инструкцией по его эксплуатации.

Электрическая схема блока «источник оптического сигнала» представлена на рисунке 3.4. Миллиамперметр (мультиметр) подключается к гнездам 1 и 2 на лицевой панели. Сопротивление шунта тестера составляет около 3,2 Ом, что дает систематическую погрешность около 10%. Реальный ток через лазерный диод на 10% выше, чем показания на приборе.

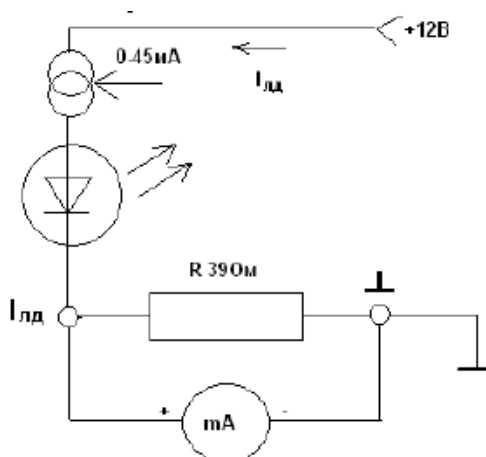


Рисунок 3.4 – Электрическая схема блока «источник оптического сигнала»

Модовый скремблер (смеситель мод) соответствует спецификации TIA/EIA – 568 – В.1 и представляет собой катушку диаметром 22 мм, на которую требуется 5 витков оптического кабеля в буфере 3 мм. Для фиксации витков на катушке необходимо использовать винт М3, закрепленный на ней. На рисунке 3.5 представлен внешний вид модового скремблера.



Рисунок 3.5 – Модовый скремблер

Оптический разветвитель 50/50, оконцованный LC/UPC коннекторами для соединения с LC – LC розетками находится на лицевой панели лабораторной установки в области под номером 6 – блоке пассивных компонентов ВОЛС.

Измеритель оптической мощности «Топаз 7210А» находящийся в кейсе лабораторного комплекта, представлен на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Кейс с источником оптического излучения «Топаз 3105», измерителем оптической мощности «Топаз 7210А» и блоком питания «Топаз 7210А»

**Перед началом работы с измерительным оборудованием, необходимо ознакомиться с инструкцией по эксплуатации измерителя оптической мощности «Топаз 7210А».**

#### 4 Порядок выполнения работы

1. Возьмите модовый скремблер и намотайте на него 3- 5 витков оптического кабеля, используя ММ FC – LC оптический шнур. Для фиксации витков на катушке необходимо использовать винт М3, закрепленный на ней.
2. С помощью данного оптического шнура, намотанного на скремблер, необходимо соединить источник оптического излучения с оптическим разветвителем 50/50, подключив к соответствующим разъемам блока активных и пассивных компонентов.
3. Два оптических кабеля ММ FC – LC из лабораторного комплекта и подключите к выходу оптического разветвителя 50/50, находящемуся на лицевой панели лабораторной установки (область под номером 4). Затем один оптический шнур подключите на вход фотодиода, находящегося на лицевой панели лабораторной установки (область под номером 3), а второй – к измерителю оптической мощности «Топаз 7210А».

4. Выставить регулятор тока лазерного диода на 0 мА;
5. Подключить мультиметр к общей клемме и клемме  $I_{\text{фд}}$  фотоприемника, который находится в блоке активных компонентов на лицевой панели лабораторной установки. Выставить мультиметр на измерение постоянного тока до 200 мкА;
6. Увеличивая ток лазера, измерить значения оптической мощности излучателя с помощью измерителя оптической мощности «Топаз 7210А». Одновременно регистрировать ток фотодиода с помощью мультиметра. В случае необходимости менять диапазон измерений на мультиметре;
7. Повторить измерения не менее 4-5 раз;
8. Рассчитать и построить характеристику преобразования фотоприемника (зависимость тока фотодиода от мощности оптического излучения на его входе);
9. Выставить регулятор тока лазерного диода на 0 мА. Для измерения темнового тока от момента включения установки до начала измерений должно пройти не менее 10 минут.
10. Определить значение темнового тока по следующей методике:  
Произведите калибровку измерительной схемы методом последовательных приближений.  
Для этого перемычкой из комплекта замкните гнездо « $I_{\text{фд}}$ » и « $\perp$ », подключите мультиметр к гнездам « $I_{\text{фд}} \times 10^4$ » и « $\perp$ », выберите диапазон 20 мА постоянного тока и, поворачивая регулятор «Калибровка» добейтесь показаний около 0 мА.  
Переключите мультиметр на диапазон 200 мкА и, поворачивая регулятор «Калибровка», добейтесь показаний около 0.  
Переключите мультиметр на диапазон 200 мкА и, поворачивая регулятор «Калибровка» добейтесь показаний в районе от +10 до -10 мкА.  
Подождите 5 мин. Зафиксируйте показания прибора.  
Снимите перемычку. Зафиксируйте показания прибора.  
Разница показаний равна темновому току фотодиода. Повторите измерения не менее 3 раз с перерывами между за мерами 2 – 3 минуты.
11. Сделайте выводы относительно диапазона применимости и ограничений применения фотоприемного устройства.

## 5 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы и схему экспериментальной установки.
2. Результаты измерений, занесенные в таблицы.
3. График зависимость тока фотодиода от мощности оптического излучения на его входе.
4. Измеренное значение темнового тока фотоприемного устройства.
5. Выводы.

## 6 Контрольные вопросы

1. Какие фотоприемники используются в ВОСП?
2. Какие основные характеристики фотоприемных устройств вы знаете?
3. Дайте определение чувствительности фотоприемного устройства.
3. Чем определяется нелинейность характеристики преобразования?
4. Что такое «темновой ток» фотоприемника?
5. Чем определяется уровень собственных шумов фотоприемных устройств



## Лабораторная работа № 3

### ТЕСТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН РЕФЛЕКТОМЕТРОМ «ТОПАЗ-7000-AR»

#### 1 ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения эффективной работы волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) важным является вопрос определения ослабления оптического кабеля, а также, потерь, вносимых коннекторами и другими компонентами линий связи при настройке и эксплуатации систем передачи. Не менее важным является и быстрое установление и, соответственно, устранение обрыва волокна. Обрыв в канале с высокой информационной емкостью может привести к закрытию большого количества коммуникационных каналов.

Всеми вышеперечисленными проблемами, в той или иной степени занимается рефлектометрия оптических волокон. Наиболее перспективным и разработанным методом импульсной рефлектометрии является метод, основанный на измерении мощности обратного рэлеевского рассеяния (OTDR – метод). Принцип измерений основан на введении в волокно импульса оптического излучения и последующем анализе той малой части светового потока, которая возвращается на вход волокна в результате обратного рэлеевского рассеивания и френелевских отражений. В результате математической обработки сигнала фотоприемника на экране рефлектометра формируется изображение, которое называется рефлектограммой (рис.1.1.).

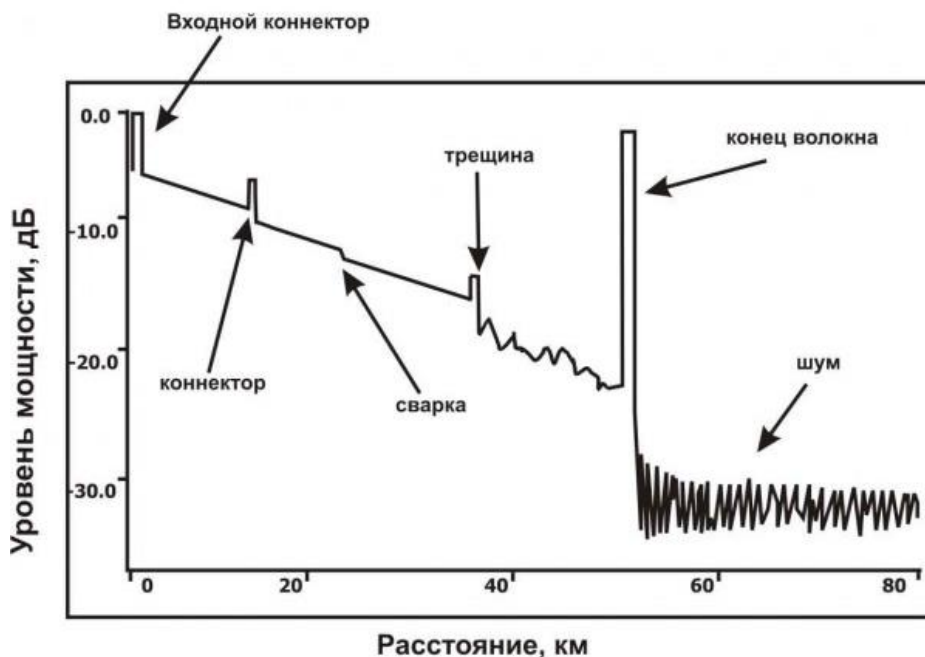


Рисунок 1.1 – Пример рефлектограммы

Рефлектограмма представляет зависимость уровня сигнала от расстояния вдоль волокна и позволяет определить затухание и обрыв волокна, потери, вносимые компонентами линии передачи, наличие механических воздействий на волокно, а также, другие важные характеристики линии связи.

**Цель работы:** получить навыки тестирования оптоволоконных линий связи импульсным оптическим рефлектометром «ТОПАЗ-7000-AR».

## 2. УСТРОЙСТВО И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНЫХ ОПТИЧЕСКИХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ

Структурная схема рефлектометра приведена на рис 2.1. Схема содержит источник оптического излучения (лазерный диод), фотоприемник (лавинный фотодиод), волоконно-оптический направленный ответвитель с оптическим соединителем, блоки усиления, обработки информационного сигнала и блок отображения результатов измерений (дисплей).

Рассеянные в волокне импульсы света передаются с помощью ответвителя на фотоприемник, где они преобразуются в электрический сигнал. Этот сигнал усиливается, накапливается, обрабатывается и отображается на дисплее в графической форме в виде рефлектограммы.

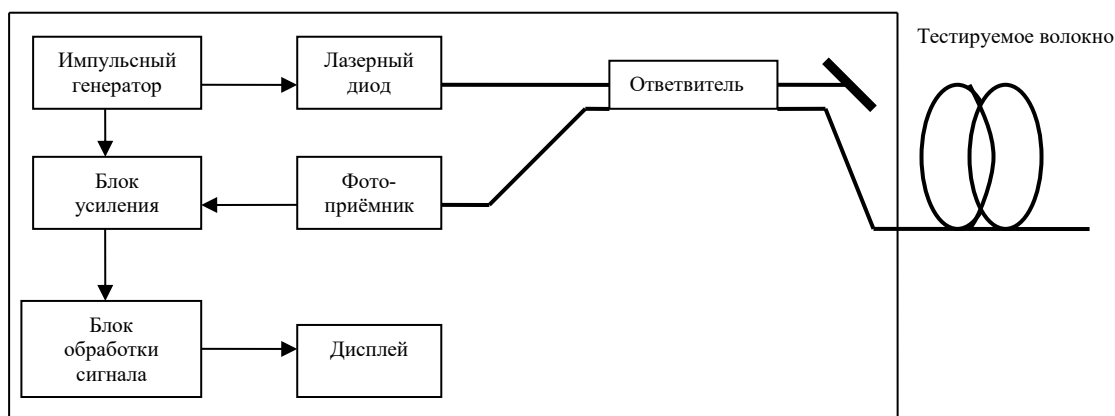


Рисунок 2.1 – Структурная схема рефлектометра

Вертикальная ось дисплея градуируется в децибеллах, а положение луча по горизонтальной оси изменяется в зависимости от времени запаздывания оптического сигнала при его распространении по волокну. Горизонтальная ось градуируется в единицах длины конкретного типа волокна, определяемого его коэффициентом преломления. Устройство обработки информационного сигнала осуществляет регистрацию и занесение в память временных характеристик мощности обратного рассеяния и преобразования данных для соответствующего представления устройством отображения.

Мощность рассеянных назад импульсов на 80...50 дБ (в зависимости от их длительности) меньше мощности импульсов, вводимых в волокно. Поэтому для улучшения отношения сигнал/шум используется многократное усреднение результатов измерений. Причем для их эффективного усреднения достаточно нескольких секунд, так как время, затрачиваемое на прохождение линии мало (100 км свет проходит за 1 мсек).

Современные рефлектометры включают базовый и ряд сменных блоков, которые отличаются рабочей длиной волны и динамическим диапазоном. Кроме того, рефлектометр может быть объединен с принтером, а также блоком дистанционного управления и коммутатором оптических волокон, что позволяет его использовать в качестве устройства удаленного оптического тестирования.

Основными характеристиками рефлектометров, позволяющими сравнивать их между собой, являются: динамический диапазон; диапазон измерения; мертвая зона; разрешающая способность.

**Динамический диапазон** является основным параметром, представляющим интерес для пользователя, поскольку именно он определяет максимальную длину контролируемого прибором волокна и является наиболее надежным способом сравнения различных рефлектометров.

В соответствии с рекомендацией Международной Электротехнической Комиссии (IEC – International Electrotechnical Commission) динамический диапазон рефлектометра  $D$  определяется как разность в децибеллах между уровнем сигнала обратного релеевского рассеяния в начале рефлектограммы  $P_c$  и пиковым значением шумов в отсутствие сигнала  $P_{\text{шум}}$ :

$$D = -10 \lg (P_c / P_{\text{шум}})$$

В современных рефлектометрах динамический диапазон достигает 50 дБ. Трудность в достижении более высокого динамического диапазона связана с методикой измерений. Волокно вносит потери, которые возрастают с увеличением длины волокна и, в конечном счете, световой поток, возвращаемый к фотоприемнику рефлектометра, становится настолько малым, что его невозможно интерпретировать. Максимальное расстояние, с которым мог бы работать рефлектометр с динамическим диапазоном  $D = 40$  дБ, составляет 200÷240 км. Длину в 300 км может обеспечить прибор с  $D = 46$  дБ.

**Диапазон измерения** рефлектометра определяется как максимальное ослабление, которое прибор в состоянии измерить. В качестве события, которое должно быть идентифицировано, обычно выбирают сращивание волокон, создающее потери порядка 0,1-0,2 дБ.

**Пространственная разрешающая способность** рефлектометра  $\Delta l$  характеризует способность прибора обнаружить два соседних события и определяет возможность выделения близко расположенных неоднородностей. Разрешающая способность  $\Delta l$  зависит от длительности импульса  $\Delta t$ , излучаемого лазером, ширины полосы пропускания усилителя  $\Delta f$  и определяется выражением:

$$\Delta l = \frac{c}{2n} \sqrt{\Delta t^2 + \left( \frac{1}{\Delta f} \right)^2}$$

Для повышения разрешающей способности необходимо уменьшать длительность зондирующих импульсов и расширять полосу пропускания усилителя.

Увеличение длительности оптических импульсов или расширение полосы пропускания усилителя приводит к увеличению дальности обнаружения неоднородности  $l$ , но одновременно снижает пространственную разрешающую способность  $\Delta l$ . Таким образом, всегда должен быть компромисс между дальностью и пространственной разрешающей способностью. Данный компромисс достигается снижением динамического диапазона на малых расстояниях тестирования, что позволяет расширить полосу пропускания усилителя и тем самым повысить разрешающую способность и точность измерения расстояния, а на больших расстояниях тестирования используется меньшая полоса пропускания.

**“Мертвая зона” рефлектометра.** Мощность отраженного от входного торца волокна сигнала как правило на 3-4 порядка больше мощности света, поступающего на вход волокна за счет релеевского рассеяния. Отраженный от входного торца волокна импульс перегружает приемник рефлектометра, а на его восстановление требуется время. Этот интервал времени, при котором рефлектометр нечувствителен к другим сигналам отражения, называется **“мертвой зоной”**. **“Мертвая зона”**, в основном, зависит от длительности импульса светового излучения, проходящего по волокну. Чем больше длительность импульса в секундах, тем больше **“мертвая зона”** в метрах. **“Мертвые зоны”** могут возникнуть и при отражении сигналов от элементов линии связи (например, коннекторов) с высокой отражательной способностью.

### 3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Комплект для выполнения лабораторной работы состоит из лабораторной установки и рефлектометра «ТОПАЗ-7000-AR». Внешний вид установки представлен на рисунке 3.1

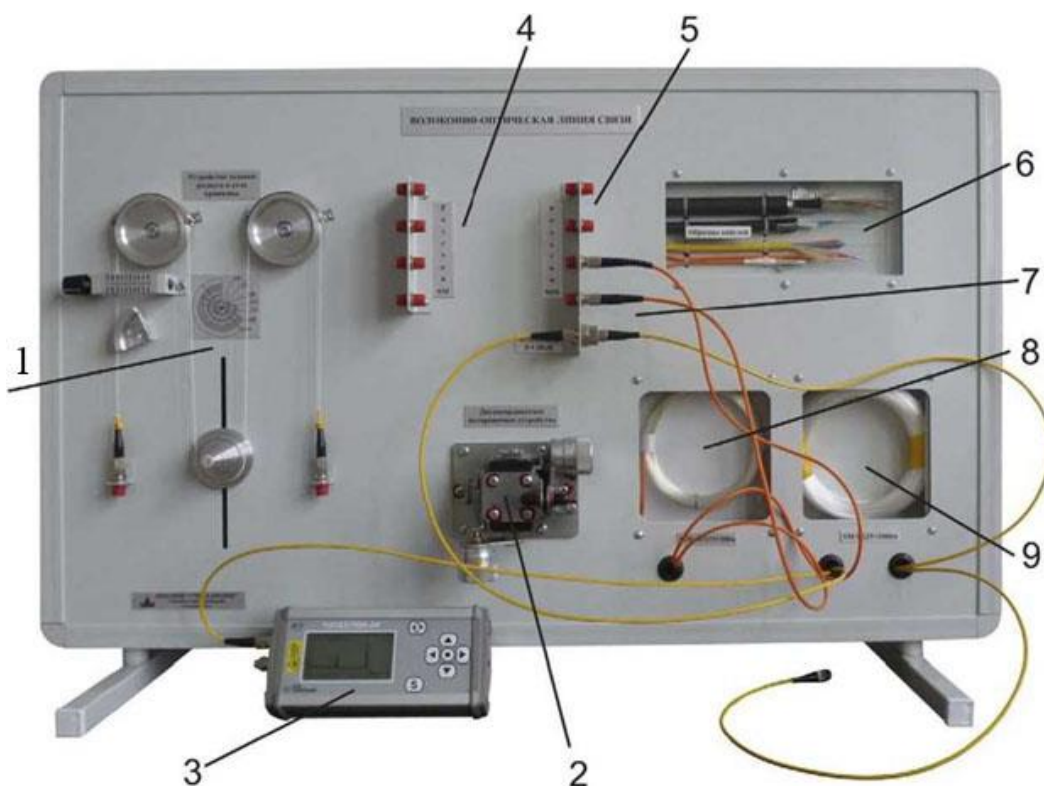


Рисунок 3.1 – Внешний вид лабораторного макета

- 1 – устройство задания радиуса и угла кривизны;
- 2 – устройство внесения неоднородностей в стык оптоволокна с трехкоординатным юстировочным устройством;
- 3 – оптический рефлектометр;
- 4 – планка с оптическими розетками для подключения одномодового волокна (SM);
- 5 – планка с оптическими розетками для подключения многомодового волокна (MM);
- 6 – образцы оптических кабелей;
- 7 – переменный аттенюатор;
- 8 – оптическая линия связи многомодовым волокном MM длиной 200 м;
- 9 – оптическая линия связи с одномодовым волокном SM длиной 1000 м.

Панки с оптическими розетками представляет собой набор оптических розеток для UPC полированного оптоволокна. Представлены розетки для SM и MM волокна, которые используются для различных оптических схем в процессе работы.

Оптические линии связи представляют собой катушки для SM и MM волокна, с длиной соответственно 1000 м и 200 м (рисунок 3.2). Две из них закрыты органическим стеклом и представлены для обозрения. Одна закреплена внутри корпуса стенда.

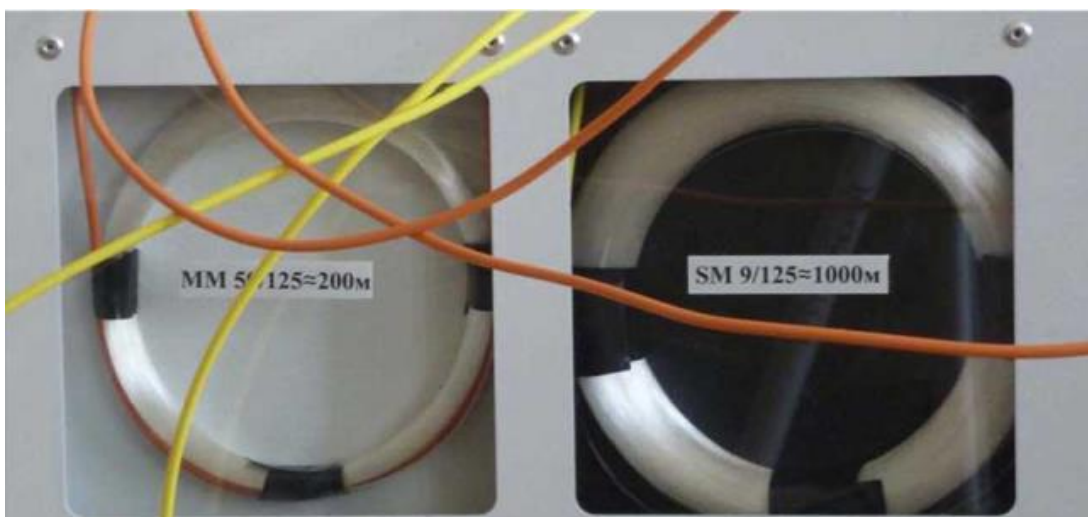


Рисунок 3.2 – Оптические линии связи в виде катушек для SM и MM волокна, с длиной соответственно 1000 м и 200 м

На рисунке 3.3 представлен рефлектометр «ТОПАЗ–7000–AR» с функцией измерителя оптической мощности.

Модель прибора включает два разъёма на боковой стороне для измерителя оптической мощности и рефлектометра.

Выбор функций производится переключением режима его работы в главном меню кнопками ▼ и ▲. Для выбора режима используется центральная кнопка ●.

Для возврата в предыдущее меню используется кнопка с двумя круговыми стрелками.



Рисунок 3.3 – Оптический тестер-рефлектометр «ТОПАЗ–7000–AR»

**! ВАЖНО:** при работе с лазерным прибором соблюдайте все меры безопасности.

**Правила работы с оптическим оборудованием:**

- **Перед проведением измерений необходимо обеспечить чистоту оптических разъемов. Не допускается прикасаться руками и предметами к торцам коннекторов;**
- **Подключая разъем рефлектометра к линии, убедитесь, что в линию не поступает сигнал. Наличие мощного сигнала в линии может привести к неисправности прибора;**

- **Защищайте глаза во время работы.**

В состав оборудования входит модовый скремблер (смеситель мод). Модовый скремблер соответствует спецификации TIA/EIA-568-B.1 и представляет собой катушку диаметром 22 мм, на которую требуется намотать 5 витков оптического кабеля (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Модовый скремблер

Для фиксации витков на катушке необходимо использовать винт.

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с инструкцией по эксплуатации рефлектометра «Топаз-7000-AR».

##### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ.

##### ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ ОДНОМОДОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

1. Включите рефлектометр в режим измерения оптической мощности (ТЕСТЕР → РУЧНОЙ), снимите защитный колпачок с входа измерителя оптической мощности. Для изменения значения единиц измерения нужно в режиме тестера (рисунок 3.1) переместиться на вторую строку дисплея, и последовательным нажатием кнопки ◀ выбрать требуемую единицу измерения.

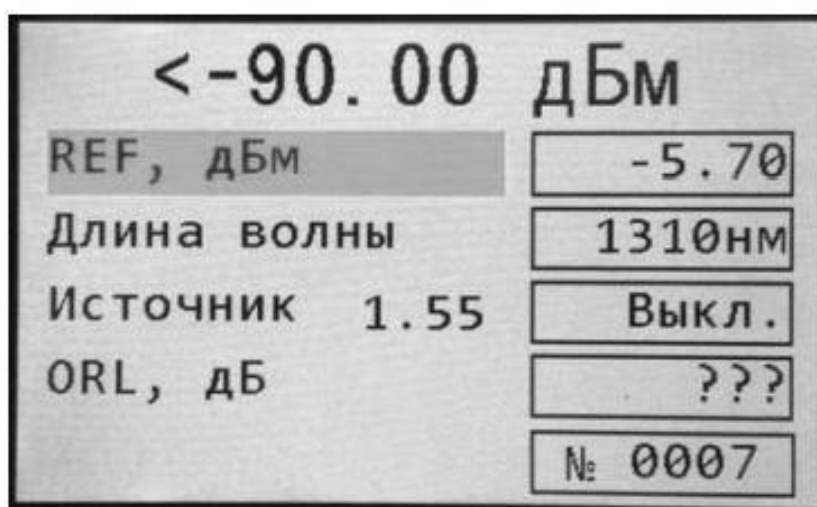



Рисунок 4.1 – Режим «РУЧНОЙ»

2. Для установки требуемого значения длины волны измерителя мощности нужно переместиться на строку «Длина волны». Быстрый переход на предустановленные значения длины волны из ряда: 1310 нм 1550 нм осуществляется последовательным нажатием кнопки ●. Изменение значения длины волны на 1 нм производится нажатием кнопок ◀ и ▶.
3. Для установки требуемого значения длины волны источника излучения нужно переместиться на строку «Источник».
4. Соедините коротким «эталонным» кабелем 9/125 FC SM источник излучения и приемник излучения рефлектометра.
5. Установить источник и приемник излучения на одну длину волн (1310 или 1550 нм)
6. Измерить мощность излучения на длинах волн 1310 нм и 1550 нм. Результаты измерения занести в таблицу 4.1.
7. Не отключая эталонное волокно от источника излучения соедините его второй конец через планку с розетками SM с измеряемым волокном одномодовой линии длиной 1000 м.
8. Измерить мощность излучения в линии на длинах волн 1310 нм и 1550 нм. Результаты измерения занести в таблицу 4.1.
9. Повторить измерения для одномодовой линии длиной 2000 м. Результаты измерения занести в таблицу 4.1.
10. Затухание в SM линиях длиной 1000 м и 2000 м рассчитать как разность затухания в «эталонном» оптоволокне и затухания в волокнах SM линии. Результаты расчета занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений в режиме «РУЧНОЙ».

Шкала измерения	Длины волн	
	1310 нм	1550 нм
Вт		
дБм		

### ИЗМЕРЕНИЕ РЕФЛЕКТОГРАММ ОДНОМОДОВЫХ ВОЛОКОН.

1. Нажатием кнопки  выбрать режим «РЕФЛЕКТОМЕТР».
2. Подключите рефлектометр (верхний разъем прибора «OTDR») к SM линии 1000 м (вторая сторона линии должна быть закрыта заглушкой). На экране отобразится таблица с текущими параметрами (рисунок 4.2).
3. Выберите длину волны, на которой будете проводить измерения (следует провести измерения для 1550нм и 1310нм). Параметр «Длина линии» установить на АВТО. Длительность импульса устанавливается в строке «Зонд.Имп.» на АВТО.

Длина волны	1550нм
Длина линии	2км
Зонд.Имп.	500нс
Время Изм.	реальн.
Коэфф. прелом.	1.4681

Рисунок 4.2 – Режим «РЕФЛЕКТОМЕТР»

4. Проведите измерения в течении 15с. (строка на дисплее «Время изм.»)
5. Проведите измерение рефлектограммы в режиме реального времени (строка на дисплее «Время изм.») для SM линий длиной 1000 м и 2000 м. Для запуска нажмите кнопку (S). Для остановки процесса измерения нажмите повторно кнопку (S).
6. Определите длину линии, затухание в линии и затухание на харктерных участках. Занесите результаты в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты измерений в режиме «РЕФЛЕКТОМЕТР»

$\lambda$ , нм	Затухание, дБ/км		
	длина линии	затухание в линии	затухание на хар. уч.
1550 нм			
1310 нм			

7. Для проведения ручных измерений параметров линии нажмите кнопку ●. В месте, где был установлен курсор, появится метка в виде пунктирной вертикальной линии (рисунок 4.3). Маркер отображается сплошной вертикальной линией. Курсор можно двигать кнопками ◀ и ▶.

Найдите на рефлектограмме конец линии и переместите туда курсор. В верхнем левом углу отобразится погонное затухание линии в промежутке между началом линии и установленным курсором. В информационной строке отображается расстояние между и затухание между этими двумя точками .

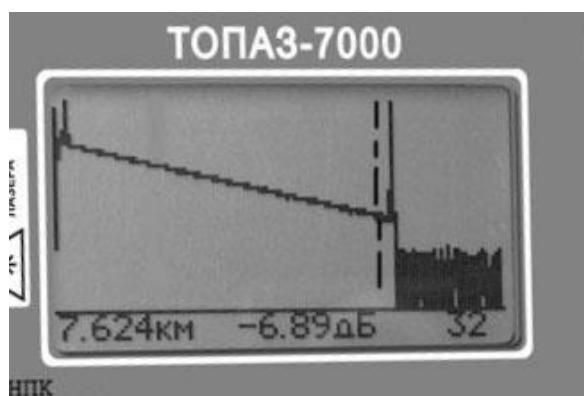


Рисунок 4.3 – Измерение затухания и длины линии

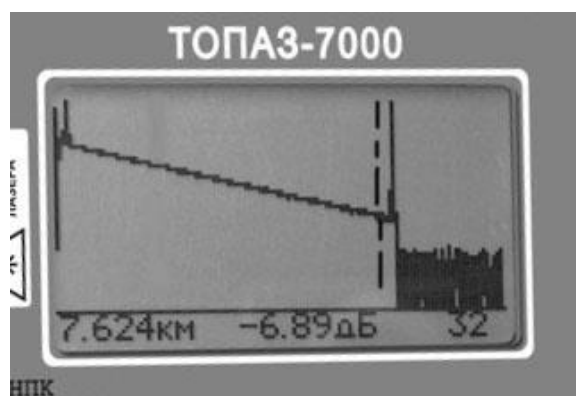


Рисунок 4.4 – Определение затухания на неоднородности

8. Чтобы измерить затухание на неоднородностях линии нужно изменить масштаб. Для изменения масштаба отображения рефлектограммы нажмите и удерживайте кнопку ● в течении 2-х секунд.

Далее кнопкой ▲ увеличивайте масштаб по вертикали, пока не будет четко выражен участок события.

Установите маркер и курсор на границах события кнопкой ввод ● (рисунок 4.4).



## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен включать:

1. Цель работы и схему экспериментальной установки.
2. Результаты измерений, занесенные в таблицу.
3. Выводы по результатам измерений и проделанной лабораторной работе.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы измерения оптических потерь вы знаете, в чём они заключаются ?
2. На чем основан принцип действия оптического рефлектометра?
3. Из каких элементов состоит рефлектометр?
4. Что означает понятие “мертвая зона” рефлектометра.
5. Перечислите основные характеристики рефлектометров, позволяющие сравнивать их между собой.

## 7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Рефлектометр оптический «Топаз-7000-AR». Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.topfibertester.ru/downloads/manual/ТОПАЗ-7000-AR\\_ARX\\_v1.2.pdf](http://www.topfibertester.ru/downloads/manual/ТОПАЗ-7000-AR_ARX_v1.2.pdf) .
2. Мандель, А.Е. Метрология в оптических телекоммуникационных системах: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. – 139 с.

## Лабораторная работа № 4

### ИЗМЕРЕНИЕ ЗАТУХАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ОПТИЧЕСКИМ ТЕСТЕРОМ «ТОПАЗ-7315-AL»

#### 1 ВВЕДЕНИЕ

Оптический тестер – прибор, в котором используются согласованные пары: источник излучения – измеритель оптической мощности. Тестер позволяет измерить уровень мощности оптического сигнала в различных участках линейного тракта и определить затухание как линейного участка волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), так и затухание, вносимое различными элементами тракта ВОЛС. Оптический тестер предназначен для настройки, обслуживания и ремонта волоконно-оптических линий связи.

Современный тестер оптического кабеля поддерживает работу с несколькими длинами волн, имеет дисплей, позволяет сохранять результаты измерений и передавать их для дальнейшей обработки на компьютер.

По конструктивному исполнению тестеры подразделяются на два типа:

- комплекты из двух приборов - источника и измерителя;
- совмещающие в одном корпусе источник и измеритель.

Тестеры в виде комплекта из двух приборов более универсальны, так как позволяют применять большее число методов измерений.

**Цель работы:** получить навыки использования оптического тестера «ТОПАЗ-7315-AL» для измерения затухания оптических волокон.

#### 2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

По мере распространения света в оптическом световоде его интенсивность ослабевает. Этот процесс называется затуханием оптического волокна.

Полное затухание оптического сигнала в световодах определяется коэффициентом затухания  $\alpha$ , который в общем виде равен:

$$\alpha = \alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{р}} + \alpha_{\text{пр}} + \alpha_{\text{к}}$$

где  $\alpha_{\text{п}}$  – составляющая коэффициента затухания, которая характеризует ослабление излучения за счёт собственного поглощения материала сердцевины. Эта составляющая в значительной степени зависит от спектрального состава передаваемого излучения;

$\alpha_{\text{р}}$  - составляющая коэффициента затухания, характеризующая ослабление излучения за счёт рассеивания световой энергии. Составляющая  $\alpha_{\text{р}}$  определяется, в основном, рэлеевским рассеянием, обусловленным малыми по сравнению с длиной волны флуктуациями (в том числе и тепловыми) показателя преломления оптического волокна;

$\alpha_{\text{пр}}$  - составляющая коэффициента затухания, связанная с наличием в оптическом волокне посторонних примесей, приводящих к дополнительному поглощению оптической мощности. Такими примесями являются ионы металлов ( $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ) и гидрооксидные группы (ОН), приводящие к резонансному всплеску затухания на определенных длинах волн;

$\alpha_{\text{к}}$  - составляющая коэффициента затухания, характеризующая дополнительные потери оптической мощности за счет скрутки, деформации и изгибов оптического волокна при изготовлении оптического кабеля (эти потери называют кабельными).

При согласованном вводе, к чему стремятся на практике, полное (суммарное) затухание излучения в волоконном световоде характеризуется выражением:

$$\alpha = 10 \lg \left( \frac{P_0}{P_L} \right), \text{ дБ.}$$

Для измерения затухания с помощью оптических тестеров разработаны и применяются на практике согласно два основных метода - метод разрушающего (обрыва) и неразрушающего (вносимых потерь) измерения.

Метод обрыва основан на сравнении значения мощности оптического излучения, измеренной на выходе длинного отрезка волокна, со значением мощности, измеренной на выходе короткого участка волокна, образованного за счет отсечения части длины волокна (около 2 м) со стороны источника излучения. При этом необходимым условием измерения является постоянство мощности и неизменность модового состава вводимого в волокно оптического излучения, с тем, чтобы избежать ввода мощности в переходные моды высшего порядка. Для обеспечения таких условий ввода используются фильтры мод (3-5 витков волокна, намотанного с небольшим натяжением на стержень диаметром 15 – 40 мм). Не менее важным условием измерений является выбор источника излучения, который должен отличаться высокой стабильностью как по интенсивности, так и по длине волны излучения.

Метод обрыва является наиболее точным методом измерения затухания с помощью измерителя оптических потерь, но из-за того, что он требует разрыва волокна, его использование при техническом обслуживании и в полевых условиях неэффективно. Поэтому он применяется только при производстве оптических волокон.

Метод вносимых потерь менее точен, чем предыдущий, однако он не требует разрыва волокна и поэтому обычно используется в полевых условиях. Согласно этому методу измерения производятся в два этапа. На первом этапе (этап калибровки) производится измерение оптической мощности на выходе эталонного волокна. Это может быть волокно того же типа, что и измеряемое, но длиной не более 2 м, чтобы можно было пренебречь его затуханием. На втором этапе измерение проводится с добавлением к системе тестируемого волокна. Разница между этими двумя результатами и представляет собой потери в измеряемом (тестируемом) волокне. При этом условия ввода должны быть одинаковыми как для эталонного, так и для измеряемого волокон. Метод вносимых потерь требует очень качественного соединения волокон, чтобы свести к минимуму потери, вносимые разъемами и обеспечить достоверные результаты.

Отметим, что затухание оптического волокна, как и потери, вносимые в линию связи отдельными компонентами линии, есть всегда частное от деления двух уровней мощности. Поэтому при измерениях затухания или вносимых потерь точность измерения абсолютной мощности не важна. Важна погрешность отношения мощностей и, следовательно, в первую очередь необходима линейность характеристики фотоприемника.

### **3 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА**

Комплект для выполнения лабораторной работы состоит из лабораторного макета и оптического тестера «Топаз-7315-AL». Внешний вид лабораторного макета приведен на рис. 3.1.

Лабораторный макет содержит оптическую линию связи с многомодовым волокном MM длиной 200 м, оптическую линию связи с одномодовым волокном SM длиной 1000 м, планку с оптическими розетками для подключения одномодового волокна (SM), планку с оптическими розетками для подключения многомодового волокна (MM).

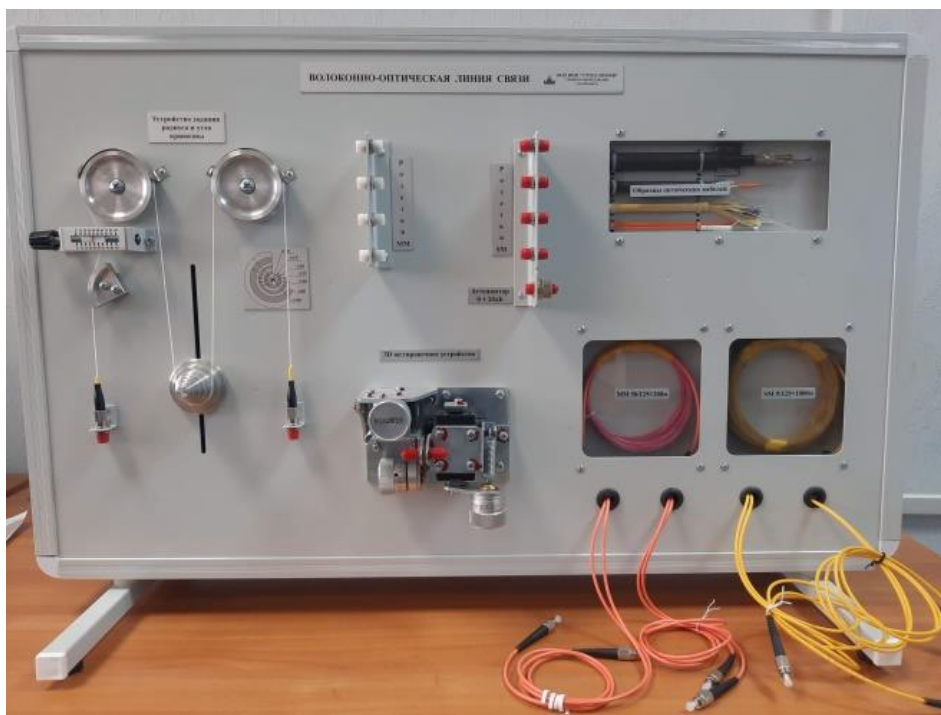


Рисунок 3.1 – Внешний вид лабораторного макета

Многофункциональный оптический тестер **ТОПАЗ-7315-AL** объединяет в одном приборе измеритель оптической мощности, источник излучения на 1310 и 1550 нм, измеритель обратного отражения (возвратных потерь, ORL) и измеритель длины линии или расстояния до обрыва. Тестер предназначен для тестирования параметров оптических волокон. Внешний вид оптического тестера «Топаз-7315-AL» представлен на рисунке 3.2.

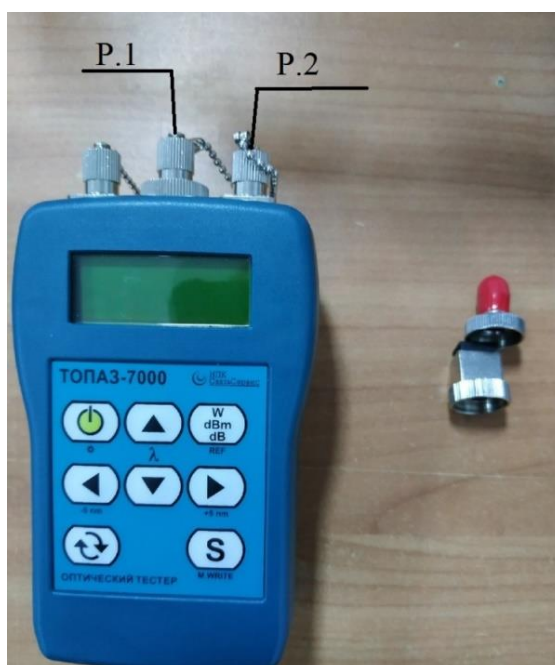







Рисунок 3.2 – Оптический тестер **ТОПАЗ-7315-AL**


Оптический разъем P.1 (рис.3.2) является входом измерителя, а разъем P.2 является выходом его внутреннего источника S.



Перед началом работы с измерительным оборудованием, необходимо ознакомиться с инструкцией по эксплуатации оптического тестера «Топаз-7315-AL».

Назначение кнопок оптического тестера «Топаз-7315-AL» приведено в таблице 3.1.

Таблица 3.1. – Назначение кнопок управления

Обозначение	Функциональное назначение
	Выбор длины волны: 1310, 1550 нм
	Переключение длины волны с шагом 5 нм
	Просмотр состояния источника
	Переключение способа представления результата измерения: «W/dBm/dB»
	Выбор режима работы







Для выбора режима работы необходимо нажать кнопку . На индикаторе прибора появится название текущего режима.

Переключение доступных режимов производится с помощью кнопок  и .

Для возврата из меню изменения режима нажмите кнопку .

В таблице 3.2 приведены виды режимов работы тестера.

Таблица 3.2 – Режимы работы оптического тестера «Топаз-7315-AL»

Режим работы	Обозначение
Измеритель мощности	
Измеритель потерь	
Источник излучения	
Тестер	
Индикатор мощности	
Измеритель обратного отражения	

## 4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ


Прежде чем приступить к работе, внимательно прослушайте вводный инструктаж по электробезопасности и правилах эксплуатации тестера «Топаз-7315-AL».

1. Включите измеритель оптической мощности. Снимите защитные колпачки.
2. С помощью короткого («эталонного») отрезка кабеля 9/125 FC SM соедините измеритель оптической мощности тестера с источником излучения тестера (разъёмы тестера P.1 и P.2).

3. Нажатием кнопок тестера  и  подключите источник излучения. Для подтверждения еще раз нажимаем .
4. С помощью кнопок тестера  задайте непрерывный режим работы источника излучения (CW).
5. С помощью кнопок тестера  выбирается длина волны источника излучения 1550 нм.
6. Нажатием кнопок  и  подключите приемник излучения. Для подтверждения еще раз нажимаем кнопку .
7. С помощью кнопок тестера  выбирается длина волны приемника излучения 1550 нм.
8. С помощью кнопки тестера  выбирается измеряемый параметр. Результаты измерений заносим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений..

Шкала измерения	Длины волн	
	1310 нм	1550 нм
Вт		
дБм		

9. С помощью розеток для подключения одномодового волокна добавьте к эталонному волокну одномодовое волокно длиной 1000 м.
- С помощью кнопки тестера  выбирается измеряемый параметр и регистрируются результаты измерения. Результаты измерений заносим в таблицу 4.1.
10. С помощью розеток для подключения одномодового волокна увеличьте длину измеряемой линии до 2000 м. Проведите измерения мощности на выходе линии. Результаты измерений занесите в таблицу 4.1.
11. Затухание в SM линиях длиной 1000 м и 2000 м рассчитать как разность затухания в «эталонном» оптоволокне и затухания в волокнах SM линии.
12. Повторите пункты 5-11 для длины волны источника излучения и приемника излучения 1310 нм.
13. Повторите пункты с 1 по 11 для «эталонного» многомодового волокна (ММ ) FC 50/125 и многомодовых линий связи длиной 200 и 400 м. При измерениях использовать розетки стенда для многомодового волокна ММ.

## **5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет должен включать:

1. Цель работы и схему экспериментальной установки.
2. Результаты измерений, занесенные в таблицу.
3. Выводы по результатам измерений и проделанной лабораторной работе.

## **6 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Тестер оптический «Топаз-7315-AL». Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://skomplekt.com/files/product\\_10026/instr\\_p10026\\_1.pdf](https://skomplekt.com/files/product_10026/instr_p10026_1.pdf)
2. Мандель, А.Е. Метрология в оптических телекоммуникационных системах: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2014. – 139 с.