

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 25.09.2024 10:17:15

Уникальный идентификатор документа:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d039

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

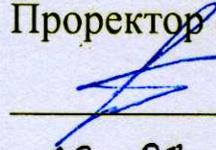
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

  
« 20 » 08



### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННЫХ СВЕТО- ВОДОВ

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность  
телекоммуникационных систем»  
по дисциплине «Физические основы оптических систем связи»

Курск 2024

УДК 681.7.069

Составители: А.А. Гуламов, И.Г. Бабанин

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Зав. кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

**Исследование характеристик волоконных световодов: методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» по дисциплине «Физические основы оптических систем связи»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, И.Г. Бабанин. – Курск, 2024. – 47 с.**

Методические указания содержат сведения о технике безопасности на рабочем месте, порядке выполнения лабораторных работ, рекомендации по подготовке, оформлению и защите лабораторных работ, а также критерии оценивания защиты отчета.

Предназначены для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» по дисциплине «Физические основы оптических систем связи» .

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *20.08.24* Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л. 5,6. Уч.- изд. л. 3,3. Тираж 100 экз. Заказ *482*  
Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

Инструкция по технике безопасности	- 4
1. Учебная лабораторная установка «Исследование характеристик волоконных световодов»	- 9
1.1. Общая характеристика установки	- 9
1.2 Состав лабораторного макета и его функциональная схема	- 9
2. Лабораторная работа №1	- 21
3. Лабораторная работа №2	- 28
4. Лабораторная работа №3	- 37
Шкала оценивания и критерии оценивания выполненной лабораторной работы	- 45
Заключение	- 46
Приложение А Форма титульного листа отчета обучающегося о выполняемой лабораторной работе	- 47

# ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

## *Общие положения*

Настоящая инструкция предназначена для студентов и работников, выполняющих работы на персональном компьютере и на сетевом оборудовании (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны и т.д.).

К выполнению работ допускаются лица:

- не моложе 16 лет;
- прошедшие медицинский осмотр;
- прошедшие вводный инструктаж по охране труда, а также инструктаж по охране труда на рабочем месте;
- прошедшие обучение безопасным приемам труда на рабочем месте по выполняемой работе.

Работник обязан:

- выполнять правила внутреннего трудового распорядка, установленные в положениях и инструкциях, утвержденных ректором ЮЗГУ, или его заместителями;
- выполнять требования настоящей инструкции;
- сообщать руководителю работ о неисправностях, при которых невозможно безопасное производство работ;
- не допускать присутствия на рабочем месте посторонних лиц;
- уметь оказывать первую помощь и при необходимости оказывать ее пострадавшим при несчастных случаях на производстве, по возможности сохранив обстановку на месте происшествия без изменения и сообщив о случившемся руководителю;
- выполнять требования противопожарной безопасности не разводять открытый огонь без специального на то разрешения руководителя работ;
- периодически проходить медицинский осмотр в сроки, предусмотренные для данной профессии.

Работник должен знать опасные и вредные производственные факторы, присутствующие на данном рабочем месте:

- возможность травмирования электрическим током при отсутствии или неисправности заземляющих устройств;
- вредное воздействие монитора компьютера при его неправильной установке или неисправности;
- возможность возникновения заболеваний при неправильном расположении монитора, клавиатуры, стула и стола;

- вредное воздействие паров, газов и аэрозолей, выделяющихся при работе копировальной и печатающей оргтехники в непроветриваемых помещениях.

Работник при выполнении любой работы должен обладать здоровым чувством опасности и руководствоваться здравым смыслом. При отсутствии данных качеств он к самостоятельной работе не допускается.

### ***Требования охраны труда перед началом работы***

Перед началом работы работник обязан:

- получить от руководителя работ инструктаж о безопасных методах, приемах и последовательности выполнения производственного задания;

- привести в порядок одежду, застегнуть на все пуговицы, чтобы не было свисающих концов, уложить волосы, чтобы они не закрывали лицо и глаза;

- привести рабочее место в безопасное состояние;

- запрещается носить обувь на чрезмерно высоких каблуках;

Перед включением компьютера или сетевого оборудования убедиться в исправности электрических проводов, штепсельных вилок и розеток. Вилки и розетки должны соответствовать Евростандарту. Отличительной особенностью этих вилок и розеток является наличие третьего провода, обеспечивающего заземление компьютера или другого прибора. При отсутствии третьего заземляющего провода заземление должно быть выполнено обычным способом с применением заземляющего проводника и контура заземления;

Убедиться, что корпус включаемого оборудования не поврежден, что на нем не находятся предметы, бумага и т.п. Вентиляционные отверстия в корпусе включаемого оборудования не должны быть закрыты занавесками, завалены бумагой, заклеены липкой лентой или перекрыты каким-либо другим способом.

## ***Требования охраны труда во время работы***

Запрещается во время работы пить какие-либо напитки, принимать пищу;

Запрещается ставить на рабочий стол любые жидкости в любой таре (упаковке или в чашках);

Помещения для эксплуатации компьютеров, сетевого оборудования должны иметь естественное и искусственное освещение, естественную вентиляцию и соответствовать требованиям действующих норм и правил. Запрещается размещать рабочие места вблизи силовых электрических кабелей и вводов трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе и отрицательно влияющие на здоровье операторов;

Окна в помещениях, где установлены компьютеры должны быть ориентированы на север и северо-восток. Оконные проемы оборудуются регулируемыми устройствами типа жалюзи или занавесками;

Площадь на одно рабочее место пользователей компьютера должна составлять не менее  $6 \text{ м}^2$  при рядном и центральном расположении, при расположении по периметру помещения –  $4 \text{ м}^2$ . При использовании компьютера без вспомогательных устройств (принтер, сканер и т.п.) с продолжительностью работы менее четырех часов в день допускается минимальная площадь на одно рабочее место  $5 \text{ м}^2$ ;

Полимерные материалы, используемые для внутренней отделки интерьера помещений с ПК, должны подвергаться санитарно-эпидемиологической экспертизе. Поверхность пола должна обладать антистатическими свойствами, быть ровной. В помещениях ежедневно проводится влажная уборка. Запрещается использование удлинителей, фильтров, тройников и т.п., не имеющих специальных заземляющих контактов;

Экран видеомонитора должен находиться от глаз оператора на расстоянии 600-700 мм, минимально допустимое расстояние 500 мм;

Продолжительность непрерывной работы с ПК должна быть не более 2 часов.

## ***Требования охраны труда по окончании работы***

По окончании работы работник обязан выполнить следующее:

- привести в порядок рабочее место;
- убрать инструмент и приспособления в специально отведенные для него места хранения;
- обо всех замеченных неисправностях и отклонениях от нормального состояния сообщить руководителю работ;
- привести рабочее место в соответствие с требованиями пожарной безопасности.

## ***Действие при аварии, пожаре, травме***

В случае возникновения аварии или ситуации, в которой возможно возникновение аварии немедленно прекратить работу, предпринять меры к собственной безопасности и безопасности других рабочих, сообщить о случившемся руководителю работ.

В случае возникновения пожара немедленно прекратить работу, сообщить в пожарную часть по телефону 01, своему руководителю работ и приступить к тушению огня имеющимися средствами.

В случае получения травмы обратиться в медпункт, сохранить по возможности место травмирования в том состоянии, в котором оно было на момент травмирования, доложить своему руководителю работ лично или через товарищей по работе.

## ***Ответственность за нарушение инструкции***

Каждый работник ЮЗГУ в зависимости от тяжести последствий несет дисциплинарную, административную или уголовную ответственность за несоблюдение настоящей инструкции, а также прочих положений и инструкций, утвержденных ректором ЮЗГУ или его заместителями.

Руководители подразделений, заведующий кафедрой, начальники отделов и служб несут ответственность за действия своих подчиненных, которые привели или могли привести к авариям и травмам согласно действующему в РФ законодательству в зависимости от тяжести последствий в дисциплинарном, административном или уголовном порядке.

Администрация ЮЗГУ вправе взыскать с виновных убытки, понесенные предприятием в результате ликвидации аварии, при возмещении ущерба работникам по временной или постоянной утрате трудоспособности в соответствии с действующим законодательством.

# 1. Учебная лабораторная установка «Исследование характеристик волоконных световодов»

## 1.1. Общая характеристика установки

На базе данной установки могут быть выполнены следующие лабораторные работы.

1. Качественное исследование модового состава волоконных световодов.

2. Экспериментальное измерение числовой апертуры волоконных световодов.

3. Экспериментальное измерение потерь, вносимых изогнутым участком волоконного световода на двух длинах волн.

4. Качественное исследование эффекта скремблирования мод, распространяющихся в волоконных световодах.

Выполнение перечисленных выше лабораторных работ позволяет:

- определить причину появления модовых шумов в волоконно-оптической линии связи;

- исследовать модовый состав волоконных световодов по распределению интенсивности в их поперечном сечении;

- экспериментально определить числовую апертуру волоконных световодов;

- оценить допустимые радиусы изгиба световодов и определить вносимый изгибом коэффициент затухания;

## 1.2 Состав лабораторного макета и его функциональная схема

Функциональная схема лабораторного макета приведена на рис.1. В его состав входят следующие элементы.

1. Источник оптического излучения – лазерный диод ЛД1 обеспечивающий излучение на длине волны  $\lambda = 0,67$  мкм. Мощность излучения зависит от тока накачки  $I_n$  и достигает величины 5мВт при  $I_n=40$ мА.

2. Источник оптического излучения –светоизлучающий диод СИД обеспечивающий излучение на длине волны  $\lambda = 0,67$  мкм. Мощность излучения зависит от тока накачки  $I_n$  и достигает величины 5мВт при  $I_n=40$ мА.

На корпусе ЛД1 имеется микрообъектив, позволяющий сфокусировать его излучение на торце волоконного световода. У СИД микрообъектив отсутствует.

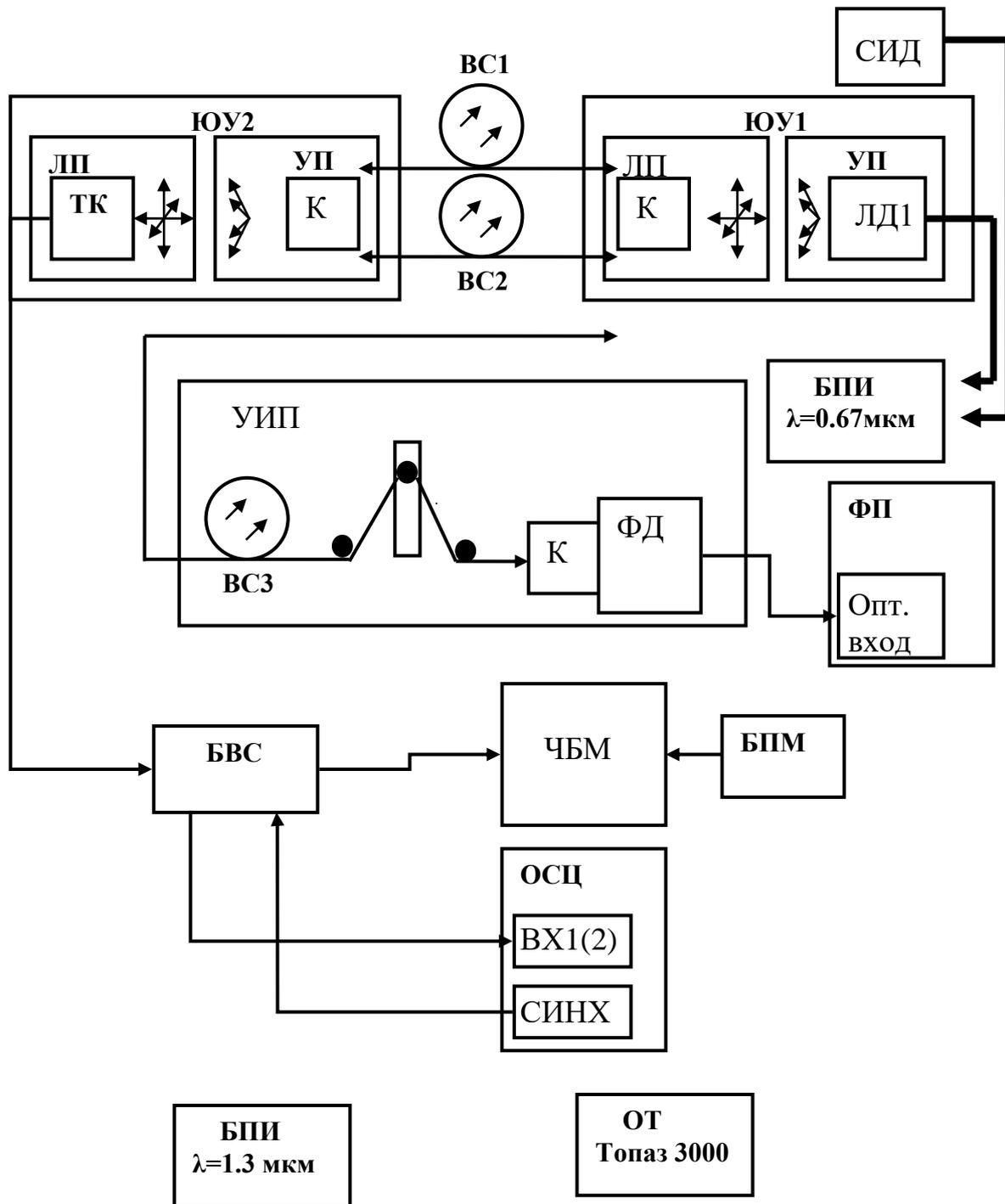


Рис. 1

ЛД1 и СИД размещены в капролоновых корпусах одинакового диаметра и снабжены электрическими шнурами с разъемами РС4-ТВ для подключения к блоку питания.

В установке они располагаются в специальной оправке, позволяющей производить их оперативную смену в процессе измерений.

3. Блок питания источника оптического излучения (БПИ  $\lambda=0.67$  мкм). На рис. 2 показана лицевая панель блока. ЛД1 и СИД подключаются к нему с помощью шнура питания с разъемом РС4-ТВ. Блочная часть разъема находится на лицевой панели и снабжена надписью «ОПТИЧЕСКИЙ ВЫХОД».

Блок предусматривает возможность:

- регулировки тока накачки с помощью потенциометра ручка которого выведена на лицевую панель. Изменение тока накачки позволяет изменять мощность излучения лазерного диода;

- переключение пределов изменения тока накачки (5, 50 мА) с помощью кнопочного переключателя;



Рис. 2

- регистрации тока накачки с помощью цифрового индикатора «ТОК ИЗЛУЧАТЕЛЯ».

Питание БПИ осуществляется от сети 220v / 50Hz. Включение блока осуществляется тумблером с подсветкой «СЕТЬ» на лицевой панели.

4. Блок питания источника оптического излучения (БПИ  $\lambda=1.3$  мкм). Блок содержит те же органы управления, что и предыдущий. Отличие заключается в том, что вместо электрического разъема РС4-ТВ установлена оптическая розетка FC-SM. К ней непосредственно подключается разъем волоконного световода.

5. Фотодиод ФД для регистрации излучения на длине волны  $\lambda = 0,67$  мкм размещенный в цилиндрическом корпусе на штативе и снаб-

женный шнуром питания с разъемом РС4-ТВ для подключения к блоку фотоприемника. В корпус фотодиода вставляется оправка, к которой крепится коннектор К исследуемого световода.

5. Фотоприемник ФП для регистрации излучения на длине волны  $\lambda = 0,67$  мкм. На рис.3 показана лицевая панель блока ФП. Фотодиод подключается к нему с помощью шнура питания с разъемом РС4-ТВ. Блочная часть разъема находится на лицевой панели и снабжена надписью «ОПТИЧЕСКИЙ ВХОД».

Блок предусматривает возможность переключения пределов измерения оптической мощности. Для этого на лицевой панели имеется кнопочный переключатель «ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ». Нажатие кнопок «0,001; 0,01; 0,1; 1» на лицевой панели приводит к изменению коэффициента усиления фототока.

Для контроля оптической мощности на лицевой панели ФП имеется цифровой индикатор «ОПТИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ, ОТН. ЕД.». Оптическое излучение, попадающее на чувствительную площадку фотодиода, вызывает изменение тока (фототока), протекающего через его *pn* переход. Фототок прямо пропорционален значению оптической мощности на чувствительной площадке фотодиода. Поэтому показания цифрового индикатора пропорциональны этой мощности, но не равны ей. Измерение с помощью фотоприемника осуществляется в относительных единицах.

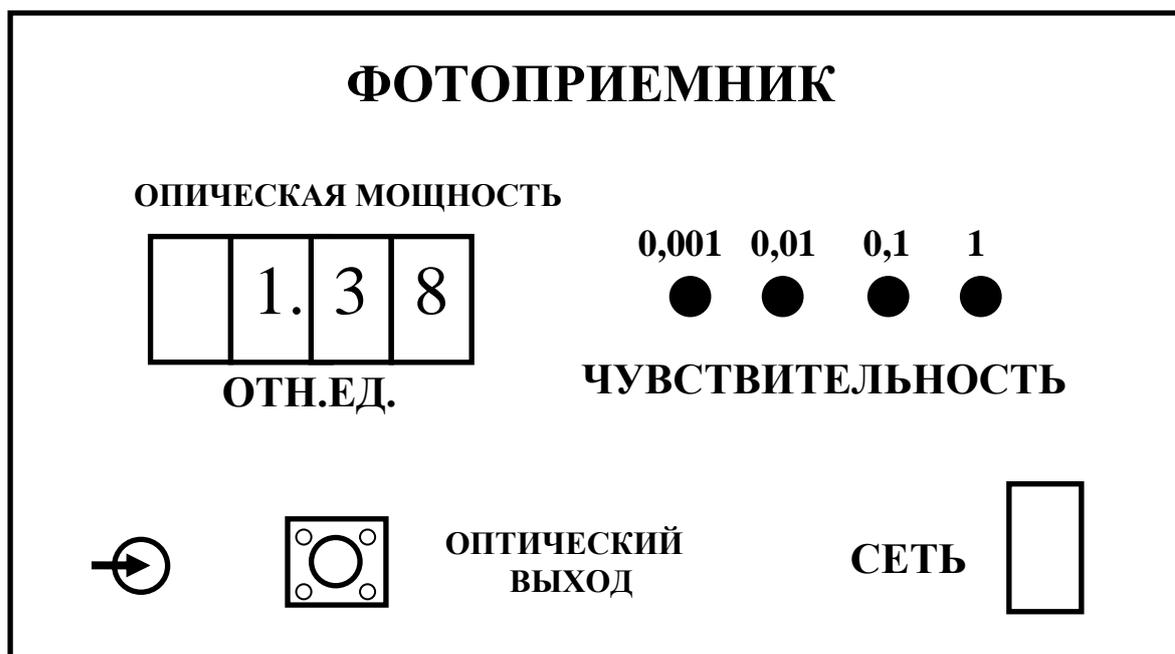


Рис. 3

6. Оптический тестер «Топаз -3000» ОТ для регистрации излучения на длине волны  $\lambda = 1.3$  мкм.

7. Два отрезка волоконных световодов ВС<sub>1,2</sub> :

- одномодовый световод без защитной оболочки (желтый цвет буферного покрытия) с коннекторами типа FC –UPS;
- многомодовый световод (зеленый цвет защитной оболочки) с коннекторами типа FC - PC;

С элементами оптической схемы лабораторной установки коннекторы ВС соединяются с помощью специальных оправок (К), которые крепятся в узлах юстировочных устройств (их описание приводится ниже).

8. Телекамера с микрообъективом (ТК), которая служит для анализа излучения из торца исследуемого световода. В поле зрения телекамеры находится один из торцов исследуемого световода.

Телекамера имеет следующие характеристики:

- максимальное разрешение – 700 лин/мм;
- фокусное расстояние объектива F=4,2 мм.

При проведении измерений (измерение числовой апертуры, исследование модового состава, измерение степени когерентности источника) объектив телекамеры не используется.

9. Черно-белый монитор (ЧБМ), на экране которого наблюдается изображение формируемое телекамерой. В данной установке – это изображение светящегося торца исследуемого световода.

10. Блок выделения строки (БВС), с помощью которого производится выделение строки изображения формируемого телекамерой. Этот сигнал соответствует распределению интенсивности в поперечном сечении исследуемого световода.

На рис. 4. показана лицевая панель блока выделения строки. На ней имеются три кнопки, обозначенные символами «↑», «↓», «+». С помощью кнопок «↑», «↓» осуществляется передвижение выделяемой строки вверх или вниз по изображению на экране монитора. Кнопка «+» устанавливает выделяемую строку в середину изображения. Положение выделяемой строки контролируется по экрану монитора – на изображении она отмечена светлой линией

На лицевой панели расположены два светодиода (синий и красный), контролирующих включение питания блока и наличие на его входе видеосигнала. Включение питания осуществляется тумблером «Вкл» на лицевой панели.

С видеовыходом монитора и входом осциллографа БВС соединяется с помощью кабелей с соответствующими разъемами. Блочные части разъемов расположены на задней панели блока.

11. Блок питания монитора (БПМ), который обеспечивает питание монитора от сети переменного тока 220v/50Hz. Питание телекамеры и БВС обеспечивается напряжениями, вырабатываемыми в мониторе.

12. Осциллограф (ОСЦ). На его вход поступает сигнал с БВС, который соответствует выделенной строке. Поскольку в поле зрения телекамеры находится торец исследуемого световода, в режиме выделения строки осциллограмма представляет собой распределение интенсивности в его поперечном сечении.

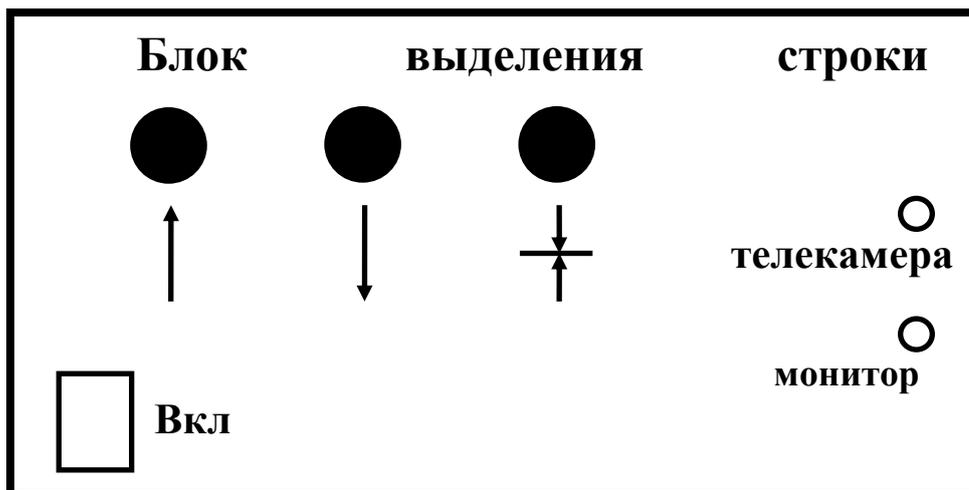


Рис.4

13. Два юстировочных устройства (ЮУ1, ЮУ2). Они обеспечивают:

- взаимную юстировку оправки для коннектора (К) торца исследуемого световода и источника ЛД (ЮУ1). Данная регулировка позволяет изменять уровень оптической мощности, вводимой в исследуемый световод, для обеспечения удобства проведения измерений;

- взаимную юстировку торца исследуемого световода и телекамеры (ЮУ2).

Упрощенный эскиз (соответствующий виду сверху) ЮУ1 и ЮУ2 приведен на рис.5. Эти устройства отличаются только видом оправок, в которых закреплены необходимые элементы. Органы их управления одинаковы.

Основой юстировочных устройств служат основания 1 (рис.5) На них расположены два узла. Один из них осуществляет линейное перемещение оправки с закрепленным элементом по трем взаимноперпендикулярным направлениям: линейное поперечное (ЛПП), линейное продольное (ЛПР), линейное вертикальное (ЛВ).

Второй узел осуществляет угловое перемещение (поворот) оправки с закрепленным элементом в двух взаимноперпендикулярных плоскостях: вертикальной (УВ), и горизонтальной (УГ).

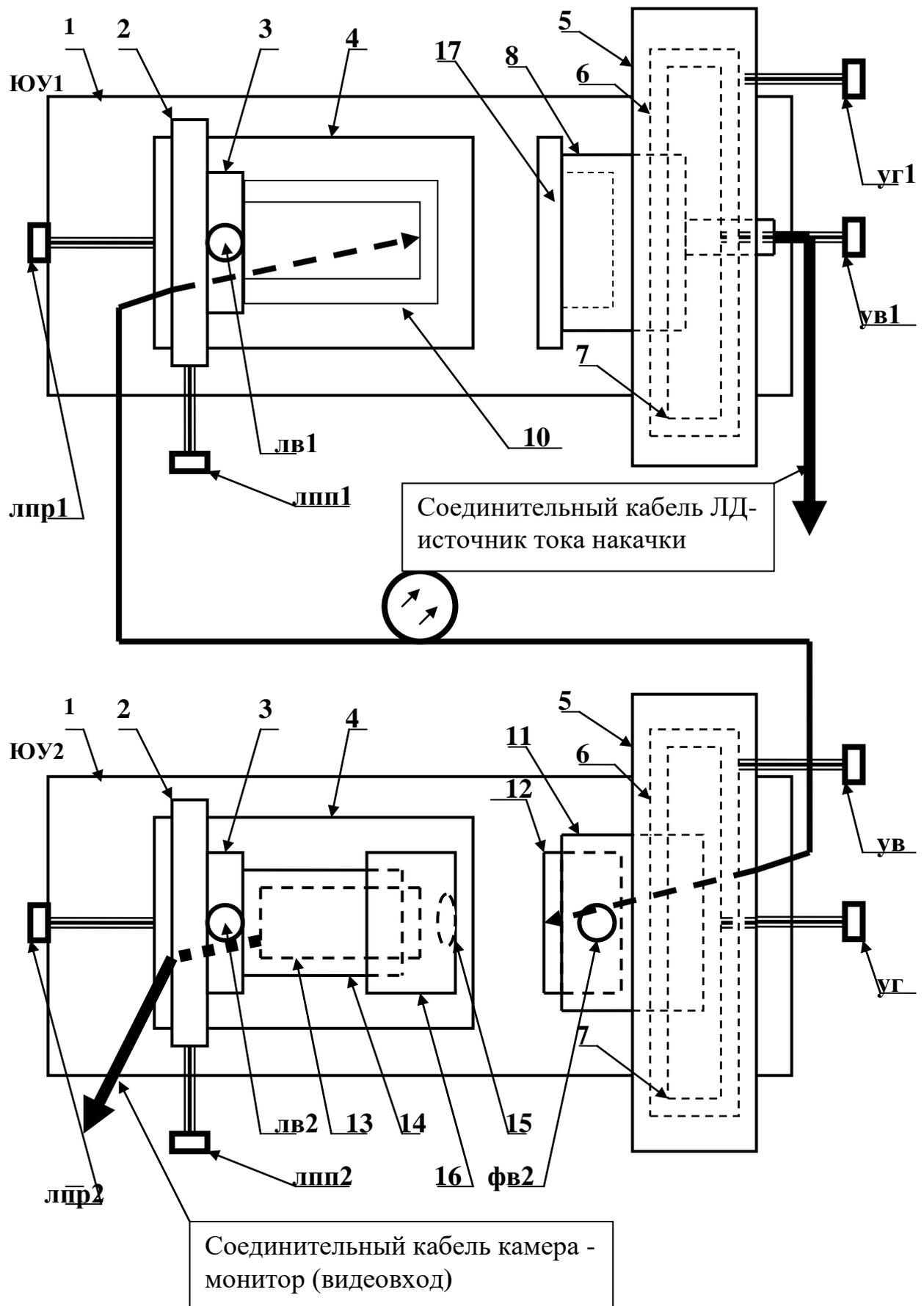


Рис.5

Шаг резьбы микрометрических винтов, с помощью которых осуществляется перемещение в одном из 5 указанных выше направлений, одинаков и составляет 0,5 мм. В состав узла, осуществляющего линейное перемещение, входят три подвижных платы (2, 3, 4), которые перемещаются в трех взаимноперпендикулярных направлениях, соответственно, микрометрическими винтами ЛПР1,2 (линейное продольное направление), ЛПП1,2 (линейное поперечное направление), ЛВ1,2 (линейное вертикальное направление).

В состав узла, осуществляющего угловое перемещение, входят три вложенных друг в друга кольца 5, 6, 7. Внешнее кольцо 5 жестко связано с основанием 1. Кольца 6 и 7 закреплены так, что обеспечивается их вращение вокруг горизонтальной (6) или вертикальной (7) оси. Вращение осуществляется с помощью микрометрических винтов УГ (угловое горизонтальное перемещение) и УВ (угловое вертикальное перемещение).

Во внутреннем кольце 7 узла, осуществляющему угловое перемещение в юстировочном устройстве ЮУ1 (рис.5), закреплена оправка 8 с оптическим источником (ЛД или СИД). Предусмотрена возможность смены одного типа источника другим. На эскизе показан соединительный кабель, с помощью которого оптический источник соединяется с блока питания БП «Источник оптического излучения». К оправке 8 крепится поляризатор 17. Он вворачивается в оправку по резьбе на ее внутренней поверхности. Поворот поляризатора приводит к изменению уровня оптической мощности.

На плате 3 узла, осуществляющего линейное перемещение в юстировочном узле ЮУ1 (рис.5), укреплен оправка 10, в которой фиксируется коннектор FC исследуемого волоконного световода.

В платах 3, 4 и цилиндре 9 имеются отверстия, через которые проходит исследуемый световод (рис.5).

Во внутреннем кольце 7 узла, осуществляющем угловое перемещение в юстировочном устройстве ЮУ2 (рис.5), закреплен цилиндр 11 с центральным отверстием. В нем с помощью фиксирующего винта ФВ2 (рис.2.3) крепится съемная оправка 12, в которой фиксируется коннектор FC исследуемого волоконного световода.

Исследуемый световод проходит через отверстия в крышке узла, осуществляющему угловое перемещение (на эскизе не показана) и цилиндре 11.

На плате 3 узла, осуществляющего линейное перемещение в юстировочном узле ЮУ2 (рис.2.1, 2.3), укреплен цилиндр 14 с внутренним

отверстием. В нем крепится телекамера 13. На внешней поверхности цилиндра 14 имеется резьба (М 40 х 0,5). По ней наворачивается оправка 16 с объективом 15. Перемещение оправки 16 по резьбе вдоль цилиндра 14 позволяет производить настройку изображения, формируемого телекамерой на экране монитора М (рис.2.1) в том случае, если используется объектив телекамеры.

На эскизе (рис.5) показан кабель, соединяющий телекамеру с монитором.

Юстировочное устройство ЮУ2 служит для коррекции положения торца исследуемого световода относительно микрообъектива телекамеры.

14. Узел измерения потерь на изгибе световода (УИП). Эскиз узла приведен на рис. 6. Световод 1, в качестве которого используется либо одномодовый световод без защитной оболочки (желтый цвет буферного покрытия) с коннекторами типа FC –UPS, либо многомодовый световод без защитной оболочки с коннекторами типа FC-PC, закрепляется в двух фиксаторах 2 с помощью винтов 3. Отрезок световода между фиксаторами пропускается между подвижными 4 и неподвижными 5 стойками скремблера.

Фиксаторы 2 перемещаются вдоль направляющих 6 при изменении положения подвижных стоек 5. Возвратное движение фиксаторов осуществляется за счет пружин. Фиксаторы, направляющие и пружины закреплены на подвижных основаниях 7.

Шесть неподвижных стоек 4 закреплены на неподвижном основании 8. В нем выполнены продольные пазы, в которых перемещаются пять подвижных стоек 5. Перемещение подвижных стоек осуществляется с помощью микрометрического винта 9.

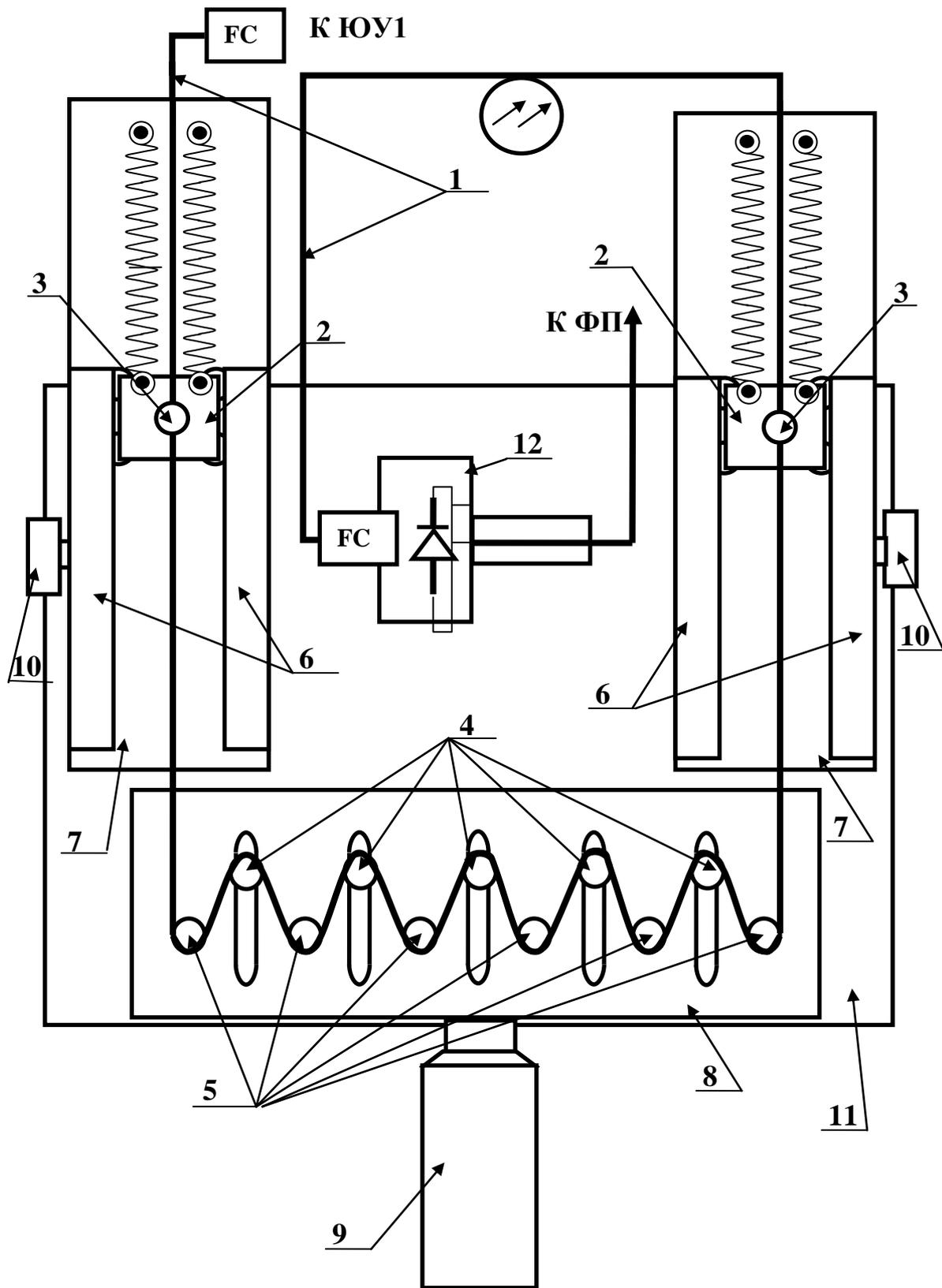


Рис.6

В исходном состоянии подвижные стойки должны быть перемещены в такое положение, при котором участок световода не деформируется

ся. При этом должно быть обеспечено незначительное натяжение световода за счет пружин, связанных с фиксаторами 3.

Перемещение подвижных стоек вверх приводит к изгибу световода. Радиус изгиба совпадает с радиусом стойки, а длина изогнутого участка изменяется при движении стоек. Перемещение подвижной стойки  $L$  отмечается по шкале микрометрического винта 9. Для известного диаметра стойки  $D$  и расстояния между стойками  $d=20$  мм длина изогнутого участка определяется выражением:

$$l = D \cdot (\arcsin((D/(L^2 + d^2))^{1/2}) + \arctg(L/d)).$$

При возвратном движении подвижных стоек световод за счет натяжения пружин, связанных с фиксаторами, также возвращается в исходное положение.

В комплект УИП входит набор сменных стоек с различными диаметрами - 5, 7, 9, 11, 13, 15 мм-, что позволяет проводить измерение потерь на этих диаметрах.

При изменении диаметра стойки изменяется положение световода относительно крайних неподвижных стоек. Правильным является положение световода, при котором он расположен параллельно направляющим 6. Для обеспечения этого основания 7 вместе со световодом и элементами его крепления перемещаются в поперечном направлении. Перемещение осуществляется с помощью винтов 10.

Вся конструкция крепится к плате 11. На ней также располагается оправка 12 с фотодиодом. Ее внутренний диаметр выбран таким образом, чтобы оправка коннектора исследуемого световода 1 стыковалась с ней. При этом световой поток из выходного торца исследуемого световода полностью попадает на чувствительную площадку фотодиода. Оправка для коннектора – съемная. Она используется для стыковки выходного торца световода как с фотодиодом, так и с телекамерой. В последнем случае она вставляется в юстировочное устройство ЮУ2;

## 2. Лабораторная работа №1

Тема: «Качественный анализ модовой структуры волоконных световодов».

Цель работы:

- определить причину появления модовых шумов в волоконно-оптической линии связи;
- исследовать модовый состав волоконных световодов по распределению интенсивности в их поперечном сечении.

### Порядок выполнения работы

Внимание! Перед каждым использованием в измерениях волоконных шнуров необходимо снять защитные колпачки с их торцов. После окончания работы с волоконным шнуром обязательно установить на его торцы снятые защитные колпачки.

В данной лабораторной работе используются следующие элементы (рис.1):

- электронный блок питания «Блок питания излучателя»;
- лазерный диод ЛД;
- юстировочные устройства ЮУ1 и ЮУ2;
- многомодовый и одномодовый волоконный световод ВС;
- телекамера с микрообъективом;
- черно-белый монитор;
- осциллограф.

1. Закрепить входной торец многомодового (зеленый цвет защитной оболочки) световода в узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение (рис.5). Для этого выполнить следующие операции.

1.1. С помощью микрометрического винта ЛПР1 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

1.2. Пропустить световод через отверстия в платах 2, 3 (рис.5).

1.3. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, накрутив фиксирующий винт коннектора.

2. Закрепить выходной торец световода в узел юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющий угловое перемещение (рис.5). Для этого выполнить следующие операции.

2.1. С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

2.2. Отвернуть фиксирующий винт ФВ2 (рис.5) и отсоединить съемную оправку 12.

2.3. Пропустить световод через отверстия в кольцах 5, 6, 7 и цилиндре 11.

2.4. Закрепить коннектор FC световода в оправке 12, накрутив фиксирующий винт коннектора.

2.5. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 12 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ2.

### 3. Установить:

-ручку потенциометра регулировки тока накачки на лицевой панели БПИ (рис.2) в крайнее положение против часовой стрелки;

-кнопочный переключатель пределов изменения тока накачки – в положение 50 мА.

-с помощью соединительного кабеля подключить ЛД (рис.1) к БПИ. Соединение осуществляется с помощью разъема РС 4 ТВ, блочная часть которого расположена на лицевой панели.

4. Включить тумблер «сеть» на лицевой панели блока БПИ. При этом загорается его подсветка.

5. Включить питание монитора М и телекамеры ТК (рис.1), нажав кнопочный переключатель на лицевой панели монитора. При этом после его прогрева наблюдается слабое свечение экрана монитора.

6. С помощью потенциометра, расположенного на лицевой панели БПИ установить значение тока накачки лазерного диода  $I_H = 15\text{мА}$ . Контроль тока накачки осуществляется по цифровому индикатору на лицевой панели.

7. Выходной торец световода расположен напротив телекамеры. Оба элемента закреплены во втором юстировочном устройстве ЮУ2 (рис.5). Изменяя угловое положение торца световода относительно телекамеры с помощью микрометрических винтов УВ2 и УГ2 и перемещая телекамеру в двух поперечных направлениях с помощью микрометрических винтов ЛПП2 и ЛВ2, добиться появления изображения торца световода на экране монитора.

*Примечание.* Для проведения измерений наличие микрообъектива телекамеры не обязательно. Удобнее проводить измерения без нее. Но если есть необходимость в его использовании, следует:

*-с помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить телекамеру в продольном направлении так, чтобы между торцом телекамеры 12 и оправкой коннектора световода 13 было бы достаточное расстояние для оправки 16 с микрообъективом 15 (рис.5);*

*-по резьбе на внешней стороне цилиндра 14 и внутренней поверхности оправки навернуть ее на цилиндр(резьба на самом микрообъективе срезана –он может свободно перемещаться вдоль корпуса телекамеры 12);*

*-меняя положение оправки 16 с микрообъективом 15 добиться четкого изображения на экране монитора.*

8. Используемый в данном эксперименте лазерный диод расположен в узле юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющем угловое перемещение (рис.5). Необходимо добиться, чтобы его излучение попадало на входной торец волоконного световода, который расположен в этом же юстировочном устройстве (в узле, осуществляющем линейное перемещение). Изменяя угловое положение ЛД относительно торца световода с помощью микрометрических винтов УВ1 и УГ1 и перемещая оправку со входным торцом световода в двух поперечных направлениях относительно ЛД2 с помощью микрометрических винтов ЛПП2 и ЛВ2, добиться появления на выходном торце световода светового пятна, которое наблюдается на экране монитора. Регулировку положения источника и входного торца световода производить методом последовательных приближений, добиваясь максимальной яркости наблюдаемого пятна.

9. В юстировочном устройстве ЮУ2 предусмотрена возможность продольного перемещения телекамеры относительно торца световода с помощью микрометрического винта ЛПР2. При этом изменяется линейный масштаб изображения, наблюдаемого на экране монитора. Перемещая телекамеру в продольном направлении с помощью микрометрического винта ЛПР2, приближая ее к выходному торцу световода, следует добиться четкого изображения светящегося торца световода на экране монитора. Изображение должно занимать приблизительно половину экрана монитора. Изменяя угловое положение торца световода относительно микрообъектива телекамеры и перемещая телекамеру по двум поперечным направлениям с помощью соответствующих микрометрических винтов, необходимо добиться того, чтобы изображение светящегося пятна находилось в центре экрана монитора и при этом имело бы форму окружности.

10. При правильном выполнении всех юстировочных операций на экране монитора наблюдается распределение интенсивности в поперечном сечении исследуемого световода. Может оказаться, что яркость изображения чрезмерно высока, что затрудняет наблюдение деталей изображения. В этом случае следует уменьшить долю оптической мощности источника излучения, которая вводится в исследуемый световод. Этого можно добиться двумя способами,

**Первый.** Сместить входной торец световода относительно ЛД. Смещение может производиться как с помощью микрометрических винтов УВ1, УГ1 (по углу ввода излучения в световод), так и с помощью микрометрических винтов ЛПП1, ЛВ1 (линейное смещение торца световода относительно источника). Используя эти возможности добиться появления на экране монитора спеклового строения - в пределах засвеченной световодом области должны наблюдаться отдельные мелкие светлые пятна, ограниченные темными областями. Положение их нестабильно и подвержено случайным флуктуациям. Это обусловлено когерентностью излучения ЛД.

**Второй.** Повернуть поляризатор вокруг оси так, чтобы оптическая мощность, вводимая в световод, была бы оптимальна для проведения измерений.

11. После выполнения всех юстировочных операций, не меняя пределов изменения тока накачки, уменьшить его до нуля, установив ручку потенциометра на лицевой панели БПИ в крайнее положение против часовой стрелки. При этом светящееся пятно на экране монитора исчезнет, так как генерация излучения отсутствует.

12. Плавно увеличивать величину тока накачки с помощью потенциометра и следить за возникающим светящимся пятном на экране монитора. При токе накачки  $I_n$  меньшим порогового значения на экране монитора должно наблюдаться светящееся пятно с равномерной засветкой. Картина стабильна, что свидетельствует об отсутствии интерференции между различными модами световода.

13. Дальнейшее увеличение тока накачки должно привести к появлению на экране монитора спеклового строения - в пределах засвеченной световодом области должны наблюдаться отдельные мелкие светлые пятна, ограниченные темными областями. Положение их нестабильно и подвержено случайным флуктуациям. Это обусловлено когерентностью излучения ЛД.

14. Зафиксировать значение тока накачки  $I_0$ , которое соответствует появлению спеклового строения излучения из торца световода.

15. Уменьшить до нуля значение тока накачки  $I_n$  установив ручку потенциометра на лицевой панели БПИ в крайнее положение против часовой стрелки. При этом светящееся пятно на экране монитора исчезнет, так как генерация излучения отсутствует.

16. Заменить многомодовый световод на одномодовый. Для этого выполнить следующие операции.

16.1. С помощью микрометрического винта ЛПР1 (рис.5) переместить узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

16.2. Отвернуть фиксирующий винт ФВ1 (рис.5) и отсоединить съемную оправку 10 с многомодовым световодом. Извлекать оправку со световодом из юстировочного устройства следует с осторожностью не допуская его резких изгибов.

16.3. Отвернуть коннектор FC входного торца многомодового световода от оправки 10, открутив фиксирующий винт коннектора. После этого извлечь его из узла юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющего линейное перемещение.

16.4. Пропустить одномодовый световод через отверстия в платах 2, 3 и цилиндре 9.

16.5. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, накрутив фиксирующий винт коннектора.

16.6. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 10 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ1.

16.7. С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить узел юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

16.8. Отвернуть фиксирующий винт ФВ2 (рис.5) и отсоединить съемную оправку 12 с многомодовым световодом. Извлекать оправку со световодом из юстировочного устройства следует с осторожностью не допуская его резких изгибов.

16.9. Отвернуть коннектор FC входного торца многомодового световода от оправки 12, открутив фиксирующий винт коннектора. После этого извлечь его из узла юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющего угловое перемещение.

16.10. Пропустить световод через отверстия в кольцах 5, 6, 7 и цилиндре 11.

16.11. Закрепить коннектор FC световода в оправке 12, накрутив фиксирующий винт коннектора.

16.12. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 12 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ2.

17. Повторить операции, предусмотренные пунктами 2-11 данного описания.

18. Плавно увеличивать величину тока накачки с помощью потенциометра на лицевой панели БПИ и следить за возникающим светящимся пятном на экране монитора. При токе накачки  $I_H$  меньшим порогового значения, определенного ранее при выполнении предыдущих лабораторных работ, на экране монитора должно наблюдаться светящееся пятно с равномерной засветкой. Дальнейшее увеличение тока накачки приводит к тому, что проявляется модовая структура исследуемого световода. Размеры поперечного сечения и значения коэффициентов преломления анализируемого световода обеспечивают одномодовый режим на длине волны  $\lambda=1,3$  мкм. В данном эксперименте используется источник с  $\lambda=0,67$  мкм. Поэтому световод уже не является одномодовым. В нем могут распространяться порядка 5 мод. Это обстоятельство делает картину распределения интенсивности в поперечном сечении регулярной, в отличие от многомодового световода, рассмотренного ранее.

19. Проанализировать распределение интенсивности в поперечном сечении одномодового световода по картине, наблюдаемой на экране монитора. Изменяя угловое положение источника оптического излучения относительно торца входного световода с помощью микрометрических винтов УВ1 и УГ1 юстировочного устройства ЮУ1 проследить за изменением распределения интенсивности в поперечном сечении, наблюдаемом на экране монитора. Зарисовать качественно все возможные картины распределения, которые могут быть получены при изменении положения входного торца световода относительно источника излучения.

### Контрольные вопросы

1. Что такое многомодовый световод?
2. Что такое одномодовый световод?
3. Чем отличается излучение ЛД от СД?
4. Объясните картины наблюдаемые на выходе многомодового световода.?

5. Объясните картины наблюдаемые на выходе многомодового световода.?

### Библиографический список

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. Техносфера, 2006.
3. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М: Солон-Пресс, 2004. – 272 с.
4. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика. – М.: КУ-ДИС-ОБРАЗ, 2006. – 320 с.
5. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика: Пер. с англ.- М.: Мир, 1996.- 323 с.

### 3. Лабораторная работа №2

Тема: «Экспериментальное определение числовой апертуры волоконных световодов».

Цель работы:

-произвести экспериментальное определение числовой апертуры одномодового и многомодового световода.

#### 3.1 Предварительные замечания.

При измерении числовой апертуры световодов микрообъектив телекамеры должен быть обязательно снят.

Под числовой апертурой NA волоконного световода понимается синус угла  $\varphi$ , под которым луч света, падающий на его торец, испытывает полное внутреннее отражение на границе раздела сердечник – оболочка. Для ее экспериментального определения исследуется расходимость излучения из торца световода. На рис. 9 показан ход крайних лучей, выходящих из торца возбужденного световода. Угол  $\varphi$ , который они составляют с осью световода и определяет значение числовой апертуры NA.

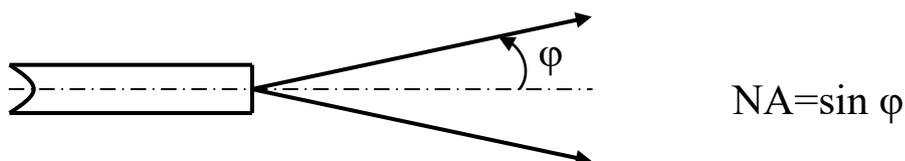


Рис.9.

Для измерения числовой апертуры анализируется излучение из торца возбужденного оптическим источником световода. В качестве оптического источника может быть использован лазерный диод ЛД или светоизлучающий диод СИД. Оба источника входят в состав поставляемой аппаратуры.

Выходной торец световода находится в поле зрения телекамеры и на экране монитора возникает его изображение. Выделение строки изображения с помощью телевизионного осциллографа (смотри описание к предыдущей лабораторной работе) позволяет анализировать распределение интенсивности в его поперечном сечении.

На рис.10.а показан торец световода С и лучи 1, 2, ограничивающие световой конус, в котором концентрируется излучение, выходящее из него. Лучи попадают на матрицу ПЗС (М на рис.10.а.) телекамеры, с помощью которой формируется телевизионный сигнал. На рис. 10.а. отмечен диаметр светового пятна  $d$ , соответствующий излучению из торца световода на расстоянии  $F$  от его торца и горизонтальный размер матрицы  $D$ .

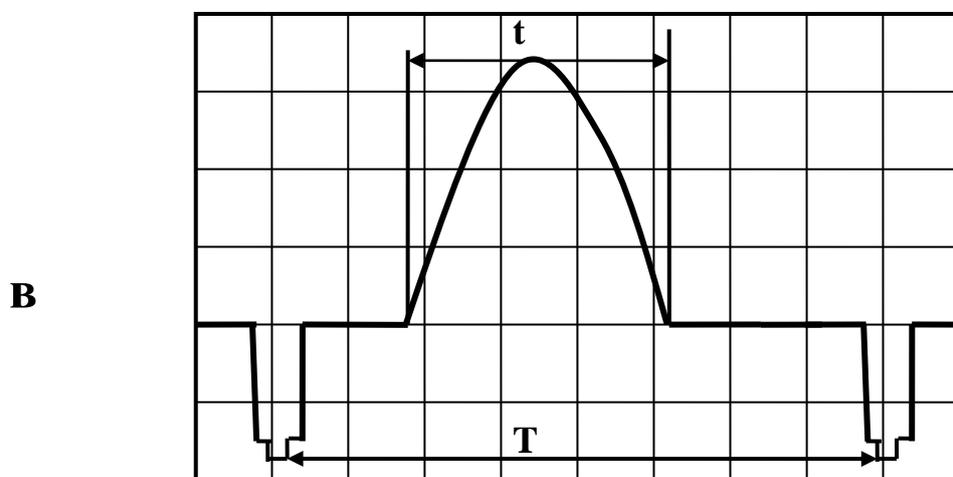
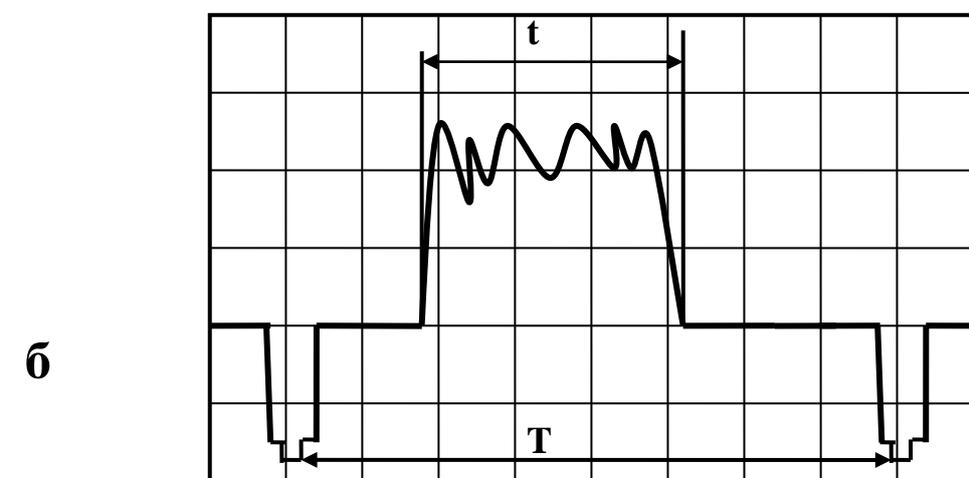
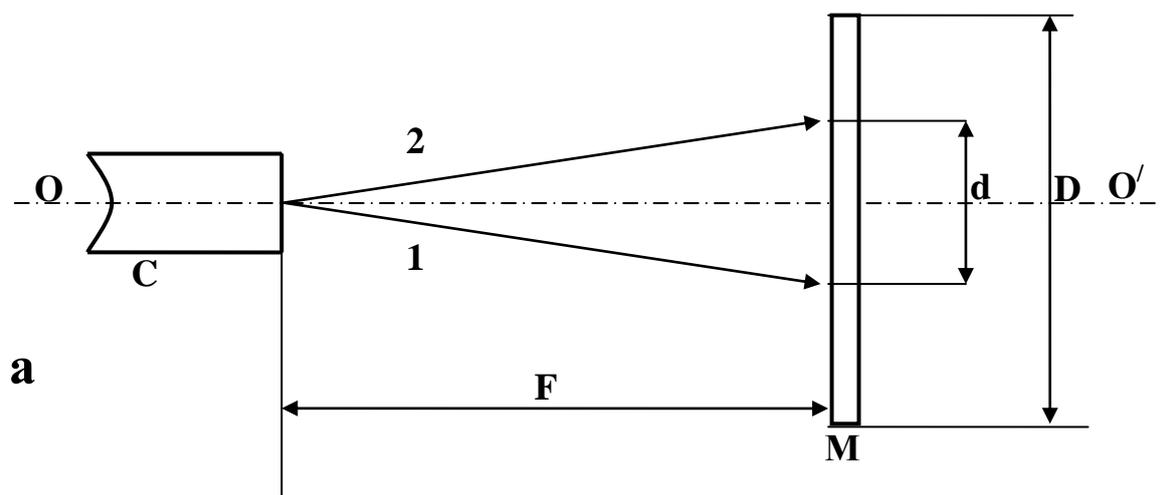


Рис.10

Изображение проекции светового конуса на матрицу  $M$  наблюдается на экране монитора в виде светлого пятна. С помощью осциллографа и блока выделения строки может быть выделена одна из строк телевизионного сигнала. Примерный вид осциллограммы, соответствующей строке, которая приходится на середину пятна, показан на рис.10.б, 10.в.

Рис.10.б. соответствует случаю возбуждения исследуемого световода с помощью лазерного диода ЛД. Вследствие когерентности его излучения на торце световода наблюдается интерференционная картина, которая образуется всеми возможными модами (спекл). В результате осциллограмма, соответствующая светящемуся пятну сильно изрезана. Это может помешать проведению измерений.

Рис.10.в. соответствует случаю возбуждения исследуемого световода с помощью светоизлучающего диода СИД. Его излучение некогерентно и интерференция между модами отсутствует.

Диаметру пятна соответствует размер  $t$ , отмеченный на осциллограмме. Горизонтальному размеру матрицы  $D$  соответствует на осциллограмме расстояние между соседними строчными гасящими импульсами  $T$ . Размер  $D$  для используемой в макете телекамеры известен и составляет  $D = \dots$ . Поэтому может быть определен реальный размер пятна  $D$  путем измерений по осциллограмме величин  $t$  и  $T$ :

$$d = t D/T.$$

Значение числовой апертуры вычисляется из элементарных тригонометрических соображений по измеренному значению расстояния:

$$NA = \sin(\varphi) = d/\sqrt{d^2 + D^2}.$$

### 3.2 Порядок выполнения работы

Внимание! Перед каждым использованием в измерениях волоконных шнуров необходимо снять защитные колпачки с их торцов. После окончания работы с волоконным шнуром обязательно установить на его торцы снятые защитные колпачки.

В данной лабораторной работе используются следующие элементы (рис.1):

- электронный блок «Блок питания оптического источника»;
- лазерный диод ЛД или СИД;
- юстировочные устройства ЮУ1 и ЮУ2;
- одномодовый световод без защитной оболочки (желтый цвет буферного покрытия) с коннекторами типа FC –UPS;
- многомодовый световод (зеленый цвет защитной оболочки) с коннекторами типа FC - PC;
- телекамера без микрообъектива;

- черно-белый монитор;
- блок выделения строки;
- осциллограф.

1. Закрепить входной торец многомодового (зеленый цвет защитной оболочки) световода в узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение (рис.5). Для этого выполнить следующие операции.

1.1. С помощью микрометрического винта ЛПР1 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

1.2. Пропустить световод через отверстия в платах 2, 3.

1.3. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, накрутив фиксирующий винт коннектора.

2. Закрепить выходной торец световода в узел юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющий угловое перемещение (рис.5). Для этого выполнить следующие операции.

2.1. С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

2.2. Отвернуть фиксирующий винт ФВ2 (рис.5) и отсоединить съемную оправку 12.

2.3. Пропустить световод через отверстия в кольцах 5, 6, 7 и цилиндре 11.

2.4. Закрепить коннектор FC световода в оправке 12, накрутив фиксирующий винт коннектора.

2.5. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 12 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ2.

3. Установить:

-ручку потенциометра регулировки тока накачки на лицевой панели БПИ (рис.2) в крайнее положение против часовой стрелки;

-кнопочный переключатель пределов изменения тока накачки – в положение 50 мА.

-с помощью соединительного кабеля подключить ЛД или СИД (рис.1) к блоку БПИ. Соединение осуществляется с помощью разъема РС 4 ТВ, блочная часть которого расположена на лицевой панели;

-закрепить выбранный оптический источник в оправке 8 (рис.5).

4. Включить тумблер «сеть» на лицевой панели блока БПИ. При этом загорается его подсветка. С помощью потенциометра установить значение тока накачки лазерного диода  $I_n = 20\text{мА}$ . Контроль тока накачки осуществляется по стрелочному прибору на лицевой панели.

5. Включить питание монитора М и телекамеры ТК (рис.1), нажав кнопочный переключатель на лицевой панели монитора. При этом после его прогрева наблюдается слабое свечение экрана монитора.

6. Выходной торец световода расположен напротив телекамеры. Оба элемента закреплены во втором юстировочном устройстве ЮУ2 (рис.5). Изменяя угловое положение торца световода относительно телекамеры с помощью микрометрических винтов УВ2 и УГ2 и перемещая телекамеру в двух поперечных направлениях с помощью микрометрических винтов ЛПП2 и ЛВ2, добиться появления изображения торца световода на экране монитора.

7. Исследуемый в данном эксперименте лазерный диод расположен в узле юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющем угловое перемещение (рис.5). Необходимо добиться, чтобы его излучение попадало на входной торец волоконного световода, который расположен в этом же юстировочном устройстве (в узле, осуществляющем линейное перемещение). Изменяя угловое положение ЛД относительно торца световода с помощью микрометрических винтов УВ1 и УГ1 и перемещая оправку со входным торцом световода в двух поперечных направлениях относительно ЛД с помощью микрометрических винтов ЛПП2 и ЛВ2, добиться появления на выходном торце световода светового пятна, которое наблюдается на экране монитора. Регулировку положения источника и входного торца световода производить методом последовательных приближений, добиваясь максимальной яркости наблюдаемого пятна.

При необходимости, если наблюдается чрезмерный контраст изображения на экране монитора, уменьшить уровень мощности, повернув поляризатор на ЛД.

8. Включить питание осциллографа. Его органы управления установлены в положение, при котором осциллограмма на его экране соответствует одной из строк видеосигнала, наблюдаемого на экране монитора.

9. С помощью микрометрического винта ЛПП2 переместить телекамеру в положение, при котором святающееся пятно, наблюдаемое на мониторе, займет примерно половину его экрана.

10. Используя органы управления режимом развертки осциллографа добиться появления на его экране осциллограммы, соответствующей рис.9. Отметить положение переключателя ступенчато регулирующего длительность развертки (дел/мксек) – R и расстояние между строчными импульсами T (рис.9) Данные измерений занести в заголовок таблицы 1.

11. С помощью кнопок «↑», «↓» осуществляется передвижение выделяемой строки вверх или вниз по изображению на экране монитора добиться максимальной ширины импульса, соответствующего светящемуся пятну. Этим обеспечивается выделение строки, приходящейся на центр светового пятна. Для повышения точности измерений следует уменьшить период развертки с помощью переключателя ступенчато регулирующего длительность развертки (дел/мксек). Отметить его новое положение  $R_0$ .

12. Попытаться уменьшить размер пятна на экране монитора и соответствующего ему импульса на осциллограмме, изменяя угловое положение торца световода относительно телекамеры с помощью микрометрических винтов УВ2 и УГ2. Этим обеспечивается коррекция параллельности фокальной плоскости объектива и плоскости, в которой расположен торец световода. После этого скорректировать положение выделяемой строки, повторив действия, описанные в пункте 11.

13. Попытаться уменьшить размер пятна, перемещая в поперечных направлениях телекамеру относительно торца световода с помощью микрометрических винтов ЛПП2 и ЛВ2. Этим обеспечивается коррекция положения торца световода относительно оптической оси ОО' (рис.9). После этого скорректировать положение выделяемой строки, повторив действия, описанные в пункте 11. Отметить окончательное положение переключателя ступенчато регулирующего длительность развертки (дел/мксек) –  $R_0$  и соответствующую ширину наблюдаемого на осциллограмме импульса –  $t_0$ . Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

Измерение числовой апертуры волоконного световода.

$T =$  ;  $R =$  .

$t_i$ (дел)	$t_0$	$t_1$		$t_n$
$R_i$ (дел/мксек)	$R_0$	$R_1$		$R_n$
$F_i$ (мм)	$F_0$	$F_1$		$F_n$
$d_i$ (мм)	$d_0$	$d_1$		$d_n$
NA	-----	$NA_1$		$NA_n$

14. По шкале на микрометрическом винте ЛПР2 отметить значение расстояния  $F = F_0$  (в дальнейшем используется для расчетов только величины изменения этого расстояния относительно исходного  $F_0$ , поэтому его истинное значение может не совпадать с измеренным). Данные измерений занести в таблицу 1.

15. Повторить измерения, предусмотренные пунктами 11-14 для расстояний  $F = F_{1,2,...n}$ . При этом все отсчеты  $F_{1,2,...n} < F_0$ . Число измерений  $n$  указывается преподавателем. Данные измерений занести в таблицу 1.

16. По данным таблицы 1 определить размер светящегося пятна по формуле:

$$d_i = t_i (D/T) (R/R_i).$$

Вычисленные значения занести в таблицу 1.

17. Вычислить значение числовой апертуры  $NA$ , считая отсчет расстояния  $F_0$  исходным:

$$NA_i = (d_0 - d_i) / \sqrt{(d_0 - d_i)^2 + (F_0 - F_i)^2}.$$

Измеренное значение числовой апертуры соответствует среднему значению:

$$NA = (\sum(NA_i))/n.$$

18. Заменить многомодовый световод на одномодовый. Для этого выполнить следующие операции.

18.1. С помощью микрометрического винта ЛПР1 (рис.2.3) переместить узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

18.2. Отвернуть коннектор FC входного торца многомодового световода от оправки 10, открутив фиксирующий винт коннектора. После этого извлечь его из узла юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющего линейное перемещение.

18.3. Пропустить одномодовый световод через отверстия в платах 2, 3.

18.4. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, накрутив фиксирующий винт коннектора.

18.5. С помощью микрометрического винта ЛПР2 переместить узел юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

18.6. Отвернуть фиксирующий винт ФВ2 (рис.5) и отсоединить съемную оправку 12 с многомодовым световодом. Извлекать оправку со световодом из юстировочного устройства следует с осторожностью не допуская его резких изгибов.

18.7. Отвернуть коннектор FC входного торца многомодового световода от оправки 12, открутив фиксирующий винт коннектора. После этого извлечь его из узла юстировочного устройства ЮУ2, осуществляющего угловое перемещение.

18.8. Пропустить световод через отверстия в кольцах 5, 6, 7 и цилиндре 11.

18.9. Закрепить коннектор FC световода в оправке 12, накрутив фиксирующий винт коннектора.

18.10. Осторожно, не допуская резких изгибов световода, вставить оправку 12 на установочное место и закрепить ее фиксирующим винтом ФВ2.

19. Используя методику измерений, описанную выше, произвести измерение числовой апертуры одномодового световода

### Контрольные вопросы

1. Что такое многомодовый световод?
2. Что такое одномодовый световод?
3. Что такое NA?
4. Объясните методику измерения NA?
5. Чем отличается излучение ЛД от СД.?

### Библиографический список

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. Техносфера, 2006.
3. Складов О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М: Солон-Пресс, 2004. – 272 с.
4. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика. – М.: КУ-ДИС-ОБРАЗ, 2006. – 320 с.
5. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика: Пер. с англ.- М.: Мир, 1996.- 323 с.

#### 4. Лабораторная работа №3

Тема: «Исследование зависимости удельного коэффициента затухания, вносимого изгибом световода от его радиуса».

Цель работы:

-произвести экспериментальное определение зависимости удельного коэффициента затухания от радиуса изгиба световода для:

-одномодового световода 9/125 мкм;

-многомодового световода 62,5/125 мкм.

Измерение провести для двух длин волн  $\lambda=0.67$  мкм и  $\lambda=1.3$  мкм.

##### 4.1 Порядок выполнения работы

Внимание! Перед каждым использованием в измерениях волоконных шнуров необходимо снять защитные колпачки с их торцов. После

окончания работы с волоконным шнуром обязательно установить на его торцы снятые защитные колпачки.

В данной лабораторной работе используются следующие элементы (рис.1):

- электронный блок «**Блок питания излучателя**» для длины волны  $\lambda=0,67$  мкм;
- лазерный диод ЛД1, работающий на длине волны  $\lambda=0,67$  мкм;
- электронный блок «**Блок питания излучателя**» для длины волны  $\lambda=1,3$  мкм с лазерным диодом ЛД2;
- юстировочное устройство ЮУ1 ;
- одномодовый световод без защитной оболочки (желтый цвет буферного покрытия) с коннекторами типа FC –UPS;
- узел измерения потерь на изгибе световода (УИП);
- фотодиод в оправке, закрепленный на площадке УИП;
- электронный блок «**Фотоприемник**»;
- оптический тестер **ОТ «Тоназ 3000»**.

Все операции, описанные ниже, одинаковы для обоих типов световодов. Поэтому тип световода в дальнейшем не указывается.

#### 4.2. Измерение затухания на длине волны $\lambda=0,67$ мкм.

Перед проведением измерений необходимо:

- установить ЛД1 в оправку на ЮУ1;
- подключить его шнур питания к БПИ;
- перемещая ЛД1 в оправке в продольном направлении добиться, чтобы его излучение фокусировалось в месте расположения торца исследуемого световода.

1. Закрепить входной торец световода в узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение (рис.5). Для этого выполнить следующие операции.

1.1. С помощью микрометрического винта ЛПП1 переместить узел, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

1.2. Пропустить световод через отверстия в платах 2, 3.

1.3. Закрепить коннектор FC световода в оправке 10, накрутив фиксирующий винт коннектора.

2. Закрепить выходной торец световода в оправку фотодиода ФД (рис.1,10). Для этого выполнить следующие операции.

2.1. Если оправка коннектора 12 (рис.5) установлена в юстировочном узле ЮУ2, следует отвернуть фиксирующий винт ФВ2 и извлечь ее из узла углового перемещения юстировочного устройства ЮУ2.

2.2. Вставить оправку с выходным коннектором в оправку фотодиода 12 (рис.6).

3. Расположить исследуемый световод в УИП (рис.1,6). Для этого выполнить следующие операции.

3.1. Одеть стойки выбранного диаметра на штыри, находящиеся на плате 6 (рис.6) .

3.2. Вывернуть микрометрический винт 9, перемещающий подвижные стойки 5 так, чтобы они заняла положение за крайними (рис.6).

3.3. Отвернуть винты 3 фиксаторов2 (рис.6).

3.4. Поместить исследуемый световод между неподвижными и подвижными стойками. Он должен располагаться так, чтобы подвижные стойки находились над световодом, а подвижные под ним (рис.6). Сам световод при этом не должен быть деформирован.

3.5. Поместить исследуемый световод в паз левого фиксатора (рис.6) и закрепить его винтом 3. Винт 3 следует заворачивать с минимальным усилием, обеспечивающим фиксацию световода.

3.6. Поместить исследуемый световод в паз правого фиксатора (рис.6). Слегка натянуть световод так, чтобы пружины фиксаторов 2 незначительно растянулись. Закрепить световод винтом 3. Винт 3 следует заворачивать с минимальным усилием, обеспечивающим фиксацию световода.

3.7. Вворачивая микрометрический винт 9 (рис.6), перемещающий подвижные стойки 5, переместить их вверх так, чтобы они касались исследуемого световода, но не деформировали бы его.

3.8. Отметить начальный отсчет  $L_0$  по шкалам микрометрического винта, соответствующий этому положению средней стойки и занести его в таблицу 1.

4. Установить органы управления электронного блока БПИ в исходное состояние:

-ручку потенциометра регулировки тока накачки на лицевой панели БПИ (рис.2) в крайнее положение против часовой стрелки;

-кнопочный переключатель пределов изменения тока накачки – в положение 50 мА;

-с помощью соединительного кабеля подключить ЛД (рис.1,10) к блоку БПИ. Соединение осуществляется с помощью разъема РС-4-ТВ, блочная часть которого расположена на лицевой панели;

-включить тумблер «сеть» на лицевой панели блока БПИ. При этом загорается его подсветка. С помощью потенциометра регулировка тока накачки установить его значение  $I_H = 50\text{mA}$  (максимальная мощность излучения). Контроль тока накачки осуществляется по цифровому индикатору на лицевой панели.

5. Установить органы управления электронного блока «Фотоприемник» в исходное положение:

-кнопочный переключатель «чувствительность» выбора пределов измерения оптической мощности в относительных единицах – в положение 0,001;

-с помощью соединительного кабеля подключить ФД (рис.1) к блоку. Соединение осуществляется с помощью разъема РС-4-ТВ, блочная часть которого расположена на лицевой панели;

-включить тумблер «сеть» на лицевой панели блока «Фотоприемник». При этом загорается его подсветка.

6. Используя микрометрические винты УВ1, УГ1, ЛВ1, ЛП1 юстировочного устройства ЮУ1, установить лазерный диод ЛД и входной торец световода в положение, обеспечивающее ввод оптического излучения в световод. При этом наблюдается рост показаний измерительного прибора «Оптическая мощность» электронного блока «Фотоприемник». При увеличении уровня регистрируемой мощности необходимо переключать фотоприемник на более грубые пределы измерения с помощью кнопочного переключателя «чувствительность» на его лицевой панели.

7. Произвести тщательную юстировку относительного положения ЛД и входного торца световода, обеспечив максимальные показания измерительного прибора. Настройка осуществляется с использованием всех пяти органов управления положением элементов. Установка считается настроенной, если на пределе измерений «1» показания измерительного прибора «Оптическая мощность» электронного блока «Фотоприемник»  $q_0 > 1$ . Отметить показания измерительного прибора  $q_0$ , соответствующий максимальной мощности на выходном торце невозмущенного световода. Занести это значение в таблицу 1.

8. Изменяя положение подвижных стоек отмечать отсчеты  $L_i$  по шкалам микрометрического винта и соответствующие им отсчеты  $q_i$  по

прибору «Оптическая мощность» электронного блока «Фотоприемник». Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

Измерение удельного коэффициента затухания на изогнутом участке световода.  $D =$  (мм),  $L_0 =$  (мм),  $q_0 =$  (от.ед).

$L_i(\text{мм})$				
$q_i(\text{от.ед})$				
$L = L_i - L_0(\text{мм})$				
$l_i(\text{мм})$				
$\gamma_i(\text{дБ/мм})$				

9. После окончания измерений вернуть подвижные стойки в исходное положение, отвернуть винты 3 фиксаторов 2 (рис.6) и извлечь световод из УИП. Отвернуть коннекторы световода от оправок юстировочного устройства и фотодиода.

10. Повторить измерения потерь для других диаметров изгиба. Для этого на стойки одеть втулки соответствующего диаметра и повторить пункты 11, 12 описания.

11. После окончания измерений выполнить следующие операции:

11.1. Отвернуть фиксирующие винты зажимов 10 (рис.10) и освободить световод.

11.2. Отвернуть выходной коннектор световода от оправки фотодиода.

11.3. С помощью микрометрического винта ЛПР1 (рис.5) переместить узел юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющий линейное перемещение, в крайнее левое положение.

11.4. Отвернуть коннектор FC входного торца световода от оправки 10, открутив фиксирующий винт коннектора. После этого извлечь его из узла юстировочного устройства ЮУ1, осуществляющего линейное перемещение.

12. Повторить измерения потерь на изгибе для многомодового световода без защитной оболочки, повторив пункты 1 – 14.

13. После окончания измерений провести расчет удельного коэффициента затухания на изгибах разных диаметров для двух типов световодов. Для этого необходимо определить длину изогнутого участка  $l$ .

Рис. 11 поясняет выражение, используемое для определения длины изогнутого участка световода. Две окружности представляют собой вид сверху на правую неподвижную и центральную передвигаемую стойки.

Линия  $ВАВ^1$  соответствует неизогнутому отрезку световода, заключенному между ними и является касательной к окружностям в точках  $В$  и  $В^1$ . Расстояние между центрами стоек по горизонтали  $OS = d = 10\text{мм}$ , расстояние между центрами стоек по вертикали  $O^1S = L$  определяется в процессе измерений.  $BO = B^1O^1 = D/2$  – радиус стойки.

Длина изогнутого участка световода определяется длинами дуг окружностей  $BC$  и  $B^1C^1$  (рис.11). Легко понять, что они одинаковы, поэтому полная длина изгиба, определяемая всеми тремя стойками равна  $4*BC$ .

Для расчетов следует определить угол  $BOC$ . Из элементарных тригонометрических соотношений следует:

$$BOC = OGB = B^1AO^1 + O^1AG^1;$$

$$B^1AO^1 = \arcsin((D/(L^2 + d^2)^{1/2}));$$

$$O^1AG^1 = \arctg(L/d).$$

Окончательно, полная длина изогнутого участка  $l$  определится выражением:

$$l = 8 D ( \arcsin((D/(L^2 + d^2)^{1/2} ) + \arctg(L/d)).$$

Все углы должны быть выражены в радианах.

Величина удельного коэффициента затухания  $\gamma$ , соответствующая участку длины  $l$  определяется соотношением:

$$\gamma_i = 10 \cdot Lg(q_0/q_i)/l.$$

Значение удельного коэффициента затухания определяется путем усреднения значения  $\gamma_i$  по всем результатам измерений.

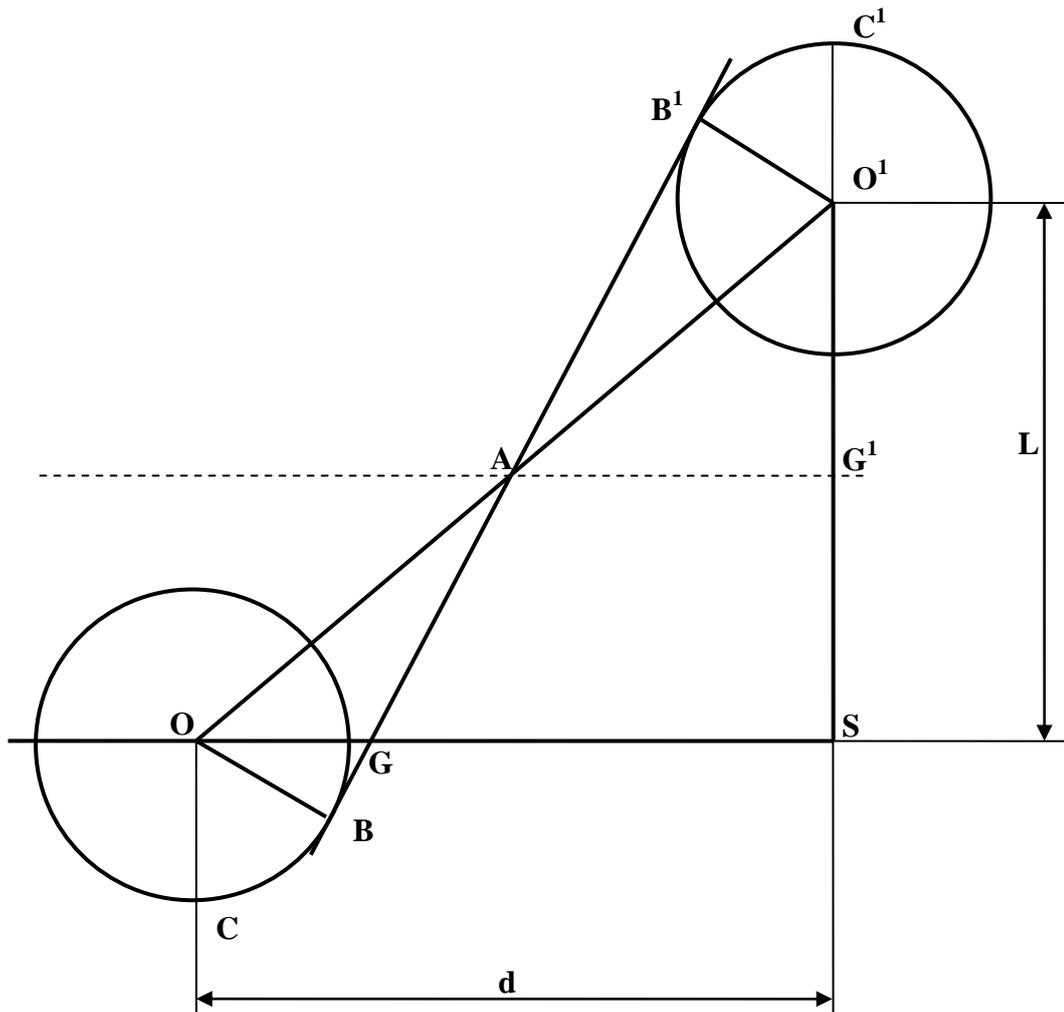


Рис.11

#### 4.3 Измерение затухания на длине волны $\lambda=1,3$ мкм

В этом эксперименте в качестве оптического источника используется ЛД2, работающий на длине волны 1,3 мкм, а в качестве фотоприемника – оптический тестер «Топаз 3000».

Перед проведением измерений необходимо:

- установить входной коннектор исследуемого световода в оптическую розетку на лицевой панели электронного блока **«Блок питания излучателя»** для длины волны  $\lambda=1,3$  мкм ;

- установить выходной коннектор исследуемого световода в оптическую розетку на оптическом тестере «Топаз 3000».

Никаких дополнительных юстировочных операций проводить не требуется.

Провести измерение потерь по методике, описанной выше – пункты 3 и 8.

### Контрольные вопросы

1. Что такое многомодовый световод?
2. Что такое одномодовый световод?
3. Чем отличается излучение двух длин волн  $\lambda=0.67$  мкм и  $\lambda=1.3$  мкм?
4. Что такое закон Бугера?
5. От чего зависит затухание интенсивности излучения в оптическом волокне?
6. Что такое коэффициент затухания?
7. Объясните ход полученной зависимости коэффициента затухания?

### Библиографический список

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. Техносфера, 2006.
3. Складов О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М: Солон-Пресс, 2004. – 272 с.
4. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика. – М.: КУ-ДИС-ОБРАЗ, 2006. – 320 с.
5. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика: Пер. с англ.- М.: Мир, 1996.- 323 с.

## **ШКАЛА ОЦЕНИВАНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ВЫПОЛНЕННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Оценка «отлично» выставляется студенту, если лабораторная работа выполнена правильно, в установленное преподавателем время или с опережением времени, при этом студентом выбран наиболее эффективный способ выполнения задания.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если лабораторная работа выполнена правильно, в установленное преподавателем время, типовым способом и допущено наличие несущественных недочетов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если при выполнении лабораторной работы допущены ошибки не критического характера и (или) превышено установленное преподавателем время.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если лабораторная работа не выполнена или при его выполнении допущены грубые ошибки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения лабораторных работ студент формирует следующие компетенции:

Код компетенции/ этап	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый (удовлетворительный)	Продвинутый (хорошо)	Высокий (отлично)
1	2	3	4	5
ПК-1/ основной, завершающий.	<p>ПК-1.1. Формулирует тезисы из анализируемой научной-технической литературы.</p> <p>ПК-1.2. Разрабатывает формальные модели обработки и передачи данных в телекоммуникационных системах.</p> <p>ПК-1.3. Формулирует целевые критерии для оценивания эффективности исследуемых систем.</p> <p>ПК-1.4. Проводит экспериментальные и теоретические исследования</p>	<p><b>Знать:</b> Основные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять основные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей..</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения основных методов проведе-</p>	<p><b>Знать:</b> Применяемые методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения методов проведения теоретических и экспе-</p>	<p><b>Знать:</b> Современные эффективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять современные эффективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей</p> <p><b>Владеть</b> Навыками применения совре-</p>

	защищённости телекоммуникационных систем и сетей	ния теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.	риментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.	менных эффективных методов проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.
--	--	--	---	--

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

## Форма титульного листа отчета, обучающегося о выполненной лабораторной работе

### МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Кафедра космического приборостроения и систем связи

#### ОТЧЕТ

о выполненной лабораторной работе

по дисциплине «Физические основы оптических систем связи»

на тему «\_\_\_\_\_»

Выполнил

\_\_\_\_\_

(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Проверил

\_\_\_\_\_

(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Курск 20\_\_

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе

«20» 08



**ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
НА ОПТИЧЕСКОМ РЕФЛЕКТОМЕТРЕ AQ7275**

Методическое указание по выполнению цикла лабораторных работ для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника»

Курск 2024

УДК 681.7.069

Составители А.А. Гуламов, И.А. Пастухов

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Зав. кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

**Цикл лабораторных работ на оптическом рефлектометре AQ7275:** методическое указание по выполнению цикла лабораторных работ для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.А. Гуламов, И.А. Пастухов. Курск, 2016. 41 с.: ил. 23. Библиогр.: с.41.

Содержит сведения о технике безопасности на рабочем месте, по методике работы на оптическом рефлектометре, устройству и принципу работы оптического рефлектометра Yokogawa AQ7275, порядку проведения измерений оптических характеристик ВОЛС, оформлению и защите лабораторных работ, а также критерии оценивания защиты отчета..

Предназначены для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *20.08.24*. Формат 60×84 1/16.  
Усл.печ.л. 2,9. Уч.-изд.л. 2,63. Тираж 100 экз. Заказ *485* Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г.Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Содержание

Инструкция по технике безопасности	- 4
1. Оптический рефлектометр AQ7275	- 9
1.1. Назначение	- 9
1.2. Технические характеристики Yokogawa AQ7275	- 9
1.3. Состав комплекта	- 11
1.4. Устройство и принцип работы	- 14
2. Теоретическое введение	- 16
2.1. Методика измерения длины волокна	- 16
2.2. Измерение потерь в срезках волокон	- 18
2.3. Определение места повреждения волокон	- 20
2.4. Двухсторонний анализ рефлектограмм	- 23
2.5. Измерения на двух длинах волн	- 25
3. Цикл лабораторных работ	- 30
3.1 Лабораторная работа №1 «Режим измерений на нескольких длинах волн».	- 30
3.2. Лабораторная работа №2 «Поиск локальных неоднородностей».	- 32
3.3. Лабораторная работа №3 «Измерение расстояний».	- 36
3.4. Лабораторная работа №4 «Двухсторонний анализ трассы»	- 40
3.5. Лабораторная работа №5 «Измерение обратного отражения»	- 42
3.6. Лабораторная работа №6 «Проведение измерений в реальном времени»	- 44
Контрольные вопросы	- 45
Библиографический список	- 46
Шкала оценивания и критерии оценивания выполненной лабораторной работы	- 47
Заключение	- 48
Приложение А Форма титульного листа отчета обучающегося о выполняемой лабораторной работе	- 50

# ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

## *Общие положения*

Настоящая инструкция предназначена для студентов и работников, выполняющих работы на персональном компьютере и на сетевом оборудовании (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны и т.д.).

К выполнению работ допускаются лица:

- не моложе 16 лет;
- прошедшие медицинский осмотр;
- прошедшие вводный инструктаж по охране труда, а также инструктаж по охране труда на рабочем месте;
- прошедшие обучение безопасным приемам труда на рабочем месте по выполняемой работе.

Работник обязан:

- выполнять правила внутреннего трудового распорядка, установленные в положениях и инструкциях, утвержденных ректором ЮЗГУ, или его заместителями;
- выполнять требования настоящей инструкции;
- сообщать руководителю работ о неисправностях, при которых невозможно безопасное производство работ;
- не допускать присутствия на рабочем месте посторонних лиц;
- уметь оказывать первую помощь и при необходимости оказывать ее пострадавшим при несчастных случаях на производстве, по возможности сохранив обстановку на месте происшествия без изменения и сообщив о случившемся руководителю;
- выполнять требования противопожарной безопасности не разводите открытый огонь без специального на то разрешения руководителя работ;
- периодически проходить медицинский осмотр в сроки, предусмотренные для данной профессии.

Работник должен знать опасные и вредные производственные факторы, присутствующие на данном рабочем месте:

- возможность травмирования электрическим током при отсутствии или неисправности заземляющих устройств;

- вредное воздействие монитора компьютера при его неправильной установке или неисправности;
- возможность возникновения заболеваний при неправильном расположении монитора, клавиатуры, стула и стола;
- вредное воздействие паров, газов и аэрозолей, выделяющихся при работе копировальной и печатающей оргтехники в непроветриваемых помещениях.

Работник при выполнении любой работы должен обладать здоровым чувством опасности и руководствоваться здравым смыслом. При отсутствии данных качеств он к самостоятельной работе не допускается.

### ***Требования охраны труда перед началом работы***

Перед началом работы работник обязан:

- получить от руководителя работ инструктаж о безопасных методах, приемах и последовательности выполнения производственного задания;
- привести в порядок одежду, застегнуть на все пуговицы, чтобы не было свисающих концов, уложить волосы, чтобы они не закрывали лицо и глаза;
- привести рабочее место в безопасное состояние;
- запрещается носить обувь на чрезмерно высоких каблуках;

Перед включением компьютера или сетевого оборудования убедиться в исправности электрических проводов, штепсельных вилок и розеток. Вилки и розетки должны соответствовать Евро-стандарту. Отличительной особенностью этих вилок и розеток является наличие третьего провода, обеспечивающего заземление компьютера или другого прибора. При отсутствии третьего заземляющего провода заземление должно быть выполнено обычным способом с применением заземляющего проводника и контура заземления;

Убедиться, что корпус включаемого оборудования не поврежден, что на нем не находятся предметы, бумага и т.п. Вентиляционные отверстия в корпусе включаемого оборудования не должны быть закрыты занавесками, завалены бумагой, заклеены липкой лентой или перекрыты каким-либо другим способом.

### *Требования охраны труда во время работы*

Запрещается во время работы пить какие-либо напитки, принимать пищу;

Запрещается ставить на рабочий стол любые жидкости в любой таре (упаковке или в чашках);

Помещения для эксплуатации компьютеров, сетевого оборудования должны иметь естественное и искусственное освещение, естественную вентиляцию и соответствовать требованиям действующих норм и правил. Запрещается размещать рабочие места вблизи силовых электрических кабелей и вводов трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе и отрицательно влияющие на здоровье операторов;

Окна в помещениях, где установлены компьютеры должны быть ориентированы на север и северо-восток. Оконные проемы оборудуются регулируемыми устройствами типа жалюзи или занавесками;

Площадь на одно рабочее место пользователей компьютера должна составлять не менее  $6 \text{ м}^2$  при рядном и центральном расположении, при расположении по периметру помещения –  $4 \text{ м}^2$ . При использовании компьютера без вспомогательных устройств (принтер, сканер и т.п.) с продолжительностью работы менее четырех часов в день допускается минимальная площадь на одно рабочее место  $5 \text{ м}^2$ ;

Полимерные материалы, используемые для внутренней отделки интерьера помещений с ПК, должны подвергаться санитарно-эпидемиологической экспертизе. Поверхность пола должна обладать антистатическими свойствами, быть ровной. В помещениях ежедневно проводится влажная уборка. Запрещается использование удлинителей, фильтров, тройников и т.п., не имеющих специальных заземляющих контактов;

Экран видеомонитора должен находиться от глаз оператора на расстоянии 600-700 мм, минимально допустимое расстояние 500 мм;

Продолжительность непрерывной работы с ПК должна быть не более 2 часов.

### ***Требования охраны труда по окончании работы***

По окончании работы работник обязан выполнить следующее:

- привести в порядок рабочее место;
- убрать инструмент и приспособления в специально отведенные для него места хранения;
- обо всех замеченных неисправностях и отклонениях от нормального состояния сообщить руководителю работ;
- привести рабочее место в соответствие с требованиями пожарной безопасности.

### ***Действие при аварии, пожаре, травме***

В случае возникновения аварии или ситуации, в которой возможно возникновение аварии немедленно прекратить работу, предпринять меры к собственной безопасности и безопасности других рабочих, сообщить о случившемся руководителю работ.

В случае возникновения пожара немедленно прекратить работу, сообщить в пожарную часть по телефону 01, своему руководителю работ и приступить к тушению огня имеющимися средствами.

В случае получения травмы обратиться в медпункт, сохранить по возможности место травмирования в том состоянии, в котором оно было на момент травмирования, доложить своему руководителю работ лично или через товарищей по работе.

### ***Ответственность за нарушение инструкции***

Каждый работник ЮЗГУ в зависимости от тяжести последствий несет дисциплинарную, административную или уголовную ответственность за несоблюдение настоящей инструкции, а также прочих положений и инструкций, утвержденных ректором ЮЗГУ или его заместителями.

Руководители подразделений, заведующий кафедрой, начальники отделов и служб несут ответственность за действия своих

подчиненных, которые привели или могли привести к авариям и травмам согласно действующему в РФ законодательству в зависимости от тяжести последствий в дисциплинарном, административном или уголовном порядке.

Администрация ЮЗГУ вправе взыскать с виновных убытки, понесенные предприятием в результате ликвидации аварии, при возмещении ущерба работникам по временной или постоянной утрате трудоспособности в соответствии с действующим законодательством.

## 1. Оптический рефлектометр AQ7275

### 1.1. Назначение

Компактный оптический рефлектометр в полевом исполнении AQ7275 создан специально для проведения измерений оптических характеристик при прокладке и эксплуатации оптических линий связи. Рефлектометр AQ7275 позволяет проводить измерения как на коротких трассах городских СКС или сетях PON/FTTx, так и на протяженных магистральных линиях. Дополнительно (опции) в приборе могут быть установлены измеритель оптической мощности и источники излучения.

Важным достоинством рефлектометрических измерений является то, что в них измерительный прибор подключается только к одному концу линии (Рис.1.). Так как типичная длина регенерационного участка в магистральной линии передачи составляет около 100км (с оптическими усилителями ~ 1000км), то ясно, что подключать измерительную аппаратуру только к одному концу такой линии значительно проще.

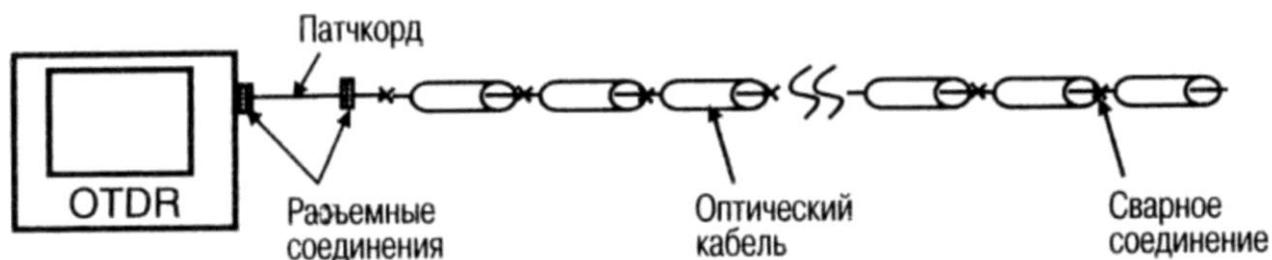


Рис.1.1. Рефлектометр подключается только к одному из концов линии

### 1.2. Технические характеристики Yokogawa AQ7275

Экран	8.4 дюймовый цветной TFT (640x480 точек)
Диапазон расстояний, км	0.5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; 100; 200; 300; 400
Разрешение считывания с экрана, см	1 (min)
Разрешение выборки, м	0.05; 0,10; 0.2; 0.5; 1;2;4;8; 16; 32
Число точек в рефлектограмме (точек выборки)	До 50000
Групповой показатель преломления	1.30000... 1.79999 (с шагом 0.00001)
Единицы измерения расстояний	км, мили, футы
Длительность импульса, нс	3 <sup>**</sup> , 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000*, 10000, 20000
Точность измерения расстояний	$\pm 1 + \text{длина трассы} \times 2 \times 10^5 \pm \text{разрешение выборки}$
Внутренняя память	Более 1000 рефлектограмм.
USB (1.1)	Тип А (принтер и внешняя USB-flash карта памяти)
	Тип В (дистанционное управление и доступ к внутренней памяти)
LAN (опция)	10/100 BASE-T
Встроенный термопринтер (опция)	576-точек/линий, ширина загружаемого рулона бумаги - 8 см.
АС адаптер питания	Для работы от сети 100-240 В, 50/60 Гц
Аккумуляторная батарея	Время работы: 6 часов, время зарядки батареи - 5 часов
Вес (без опций), кг	2.8
Размеры (без защитных накладок)	287x197x85 287x197x135 (с опцией термопринтера и сети LAN)
Температурный диапазон эксплуатации	0°C ... 45°C при использовании термопринтера: 0°C ... 35°C (влажность не более 80%)
Температурный диапазон хранения	-20°C ... +60°C
Температурный диапазон зарядки аккумуляторной батареи	0°C ... +35°C
Относительная влажность не более	85% (без конденсации)
* Длительность импульса 5000 не доступна только для измерения на длине волны 850 нм (ММ).	
**Для длин волн 850/1300 нм (ММ) длительность импульса 3 нс недоступна.	

### 1.3. Состав комплекта

Ниже указаны стандартные принадлежности, поставляемые вместе с прибором

1. AQ7270 Series OTDR User's Manual B8070TN
2. Адаптер питания B8070TN
3. Аккумуляторная батарея B8070TL
4. Бумага для принтера A9010ZP(поставляется, если при заказе был указан суффикс /PL)
5. USB flash – карта
6. Универсальный адаптер (FC)A1023PJ
7. Наплечный ремень B8070CY (поставляется, если при заказе был указан суффикс /SB)
8. Боковой ремень B8070CX
9. Программное обеспечение для обработки рефлектограмм 735070
10. Сетевой шнур стандарта VDEA1071WD
11. Сумка для переноски 738960

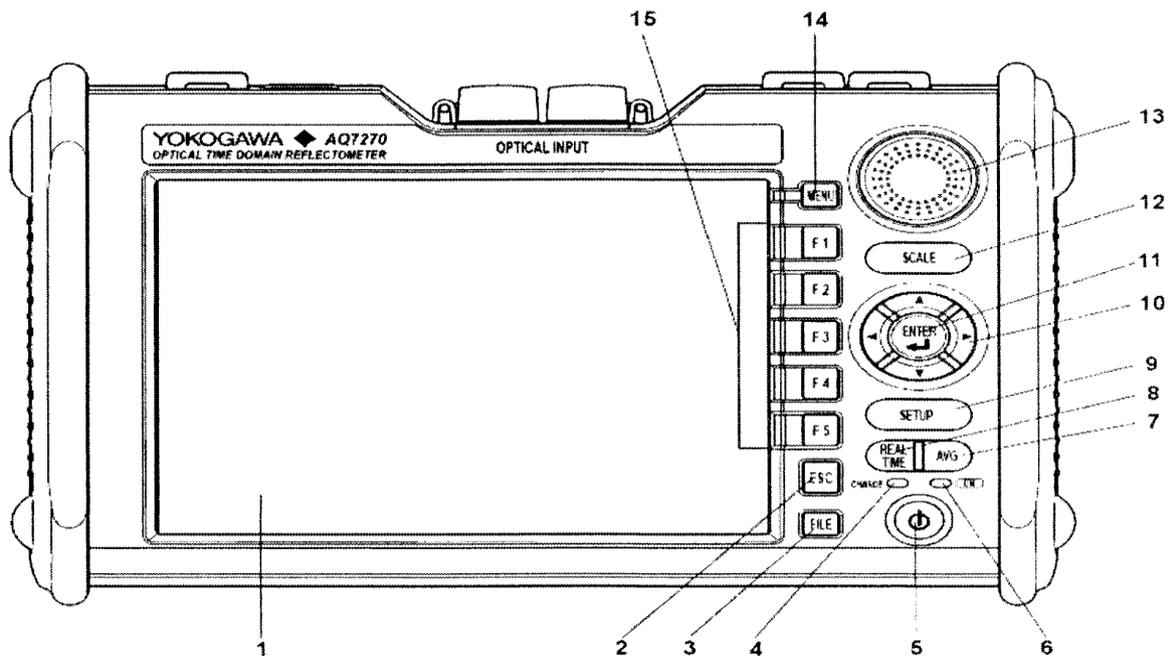


Рис.1.2. Лицевая панель прибора

№	Название	Функциональное назначение
1	ЖК-дисплей	Отображает полученные рефлектограммы, условия измерений и т. д.
2	Кнопка ESC	Отмена текущей операции или возврат к предыдущему меню.
3	Кнопка FILE	Служит для выполнения различных операций с файлами (сохранения, копирования, удаления), а также для вывода на печать результатов измерений. В некоторых случаях используется как функциональная кнопка.
4	Индикатор CHARGE	Горит зеленым при зарядке батареи. После зарядки батареи индикатор гаснет. Мигание (зеленым) индикатора сигнализирует о невозможности зарядки батареи (отсутствие или неисправность батареи).
5	Кнопка POWER	ВКЛ/ВЫКЛ прибора.
6	Индикатор POWER	Горит зеленым, когда прибор включен. Горит красным, когда аккумулятор разряжен.
7	Кнопка AVERAGE	Запуск/остановка режима измерений с усреднением по времени.
8	Кнопка REALTIME	Запуск/остановка режима измерений в реальном времени.
9	Кнопка SETUP	Установка параметров измерений и настройка рефлектометра. Еще используется для изменения параметров поиска неоднородностей.
10	Кнопки вверх/вниз вправо/влево	Сдвиг, масштабирование рефлектограммы, перемещение курсора по рефлектограмме и др.
11	Кнопка ENTER	Подтверждение действий, ввод параметров и т.д.
12	Кнопка SCALE	Изменение масштаба, сдвиг рефлектограмм.
13	Поворотно- нажимная кнопка	Перемещение курсора и маркеров, изменение числовых значений, и т. д.
14	Кнопка MENU	Возврат в основное меню (выбор режима работы прибора - OTDR, источник света, измеритель мощности, одна кнопка).
15	Функциональные кнопки	Нажатие функциональной кнопки соответствует выполнению действия, которое связано с соответствующей кнопкой экранного меню на дисплее рефлектометра» В зависимости от режима, одним и тем же функциональным кнопкам соответствуют различные кнопки экранного меню.

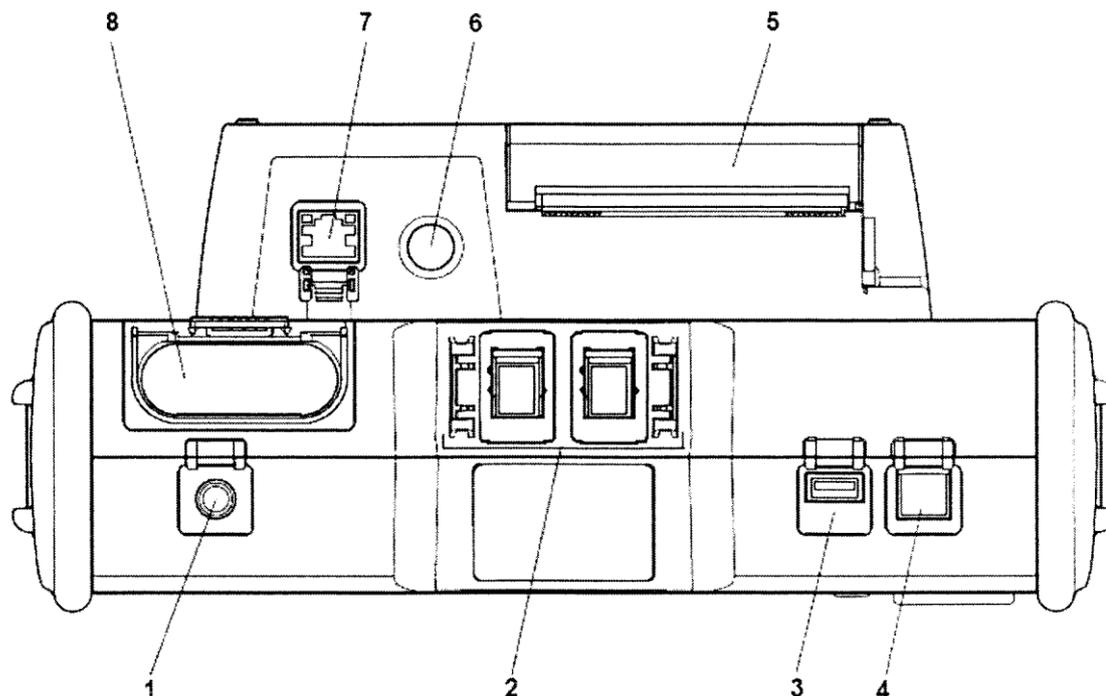


Рис.1.3. Боковая панель (вид сверху)

№	Название	Функциональное назначение
1	Разъем питания	Используется для подключения сетевого адаптера.
2	Оптические порты	Предназначены для подключения измеряемой оптической трассы.
3	Разъем USB 1.1 (тип А)	Подключение USB-flash памяти, USB принтера, USB клавиатуры.
4	Разъем USB 1.1 (тип В)	Разъем для дистанционного управления прибором, доступа к внутренней памяти рефлектометра. (При подключении к ПК).
5	Встроенный термопринтер	Используется для печати рефлектограмм, таблицы неоднородностей, и т. д. (опция /PL)
6	Кнопка протяжки бумаги термопринтера	Протяжка бумаги встроенного термопринтера (опция /PL).
7	Разъем RJ-45	Подключение прибора к сети Ethernet (опция /PL),
8	Отсек аккумуляторной батареи	Отсек для установки аккумуляторной батареи.

\*' Для измерителя мощности (опция /PM) используется порт 1 (правый). Порт 2 (левый, многомодовый и для длины волны 1650нм) как измеритель мощности не используется.

#### 1.4. Устройство и принцип работы

Рефлектометр - прибор, принцип измерения которого основан на введении в волокно импульсного оптического излучения и последующем анализе той малой части светового потока, которая возвращается в результате обратного рассеяния и отражения. Рефлектометр строит график зависимости уровня светового потока от расстояния по волокну.

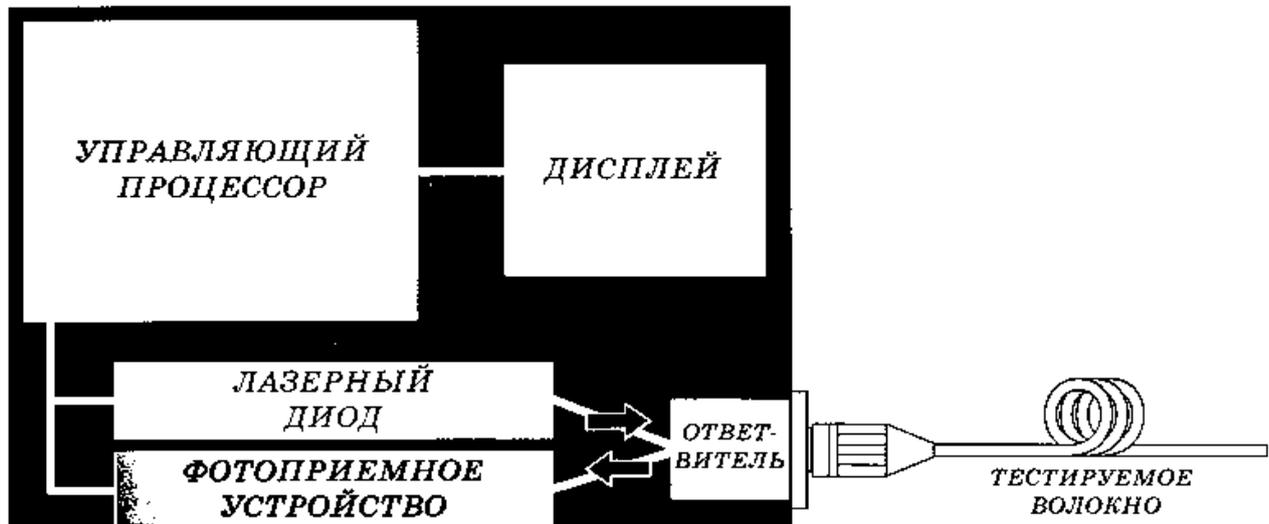


Рис.1.4. Структурная схема работы рефлектометра

Уровень обратного рассеяния прямо пропорционален уровню мощности в тестирующем импульсе. Уровень мощности импульса уменьшается по мере прохождения света по волокну, то же происходит и с уровнем обратного рассеяния. Рефлектометр с определенной дискретностью по длине волокна определяет уровень обратно-рассеянного света и строит график затухания света в волокне в зависимости от расстояния - рефлектограмму.

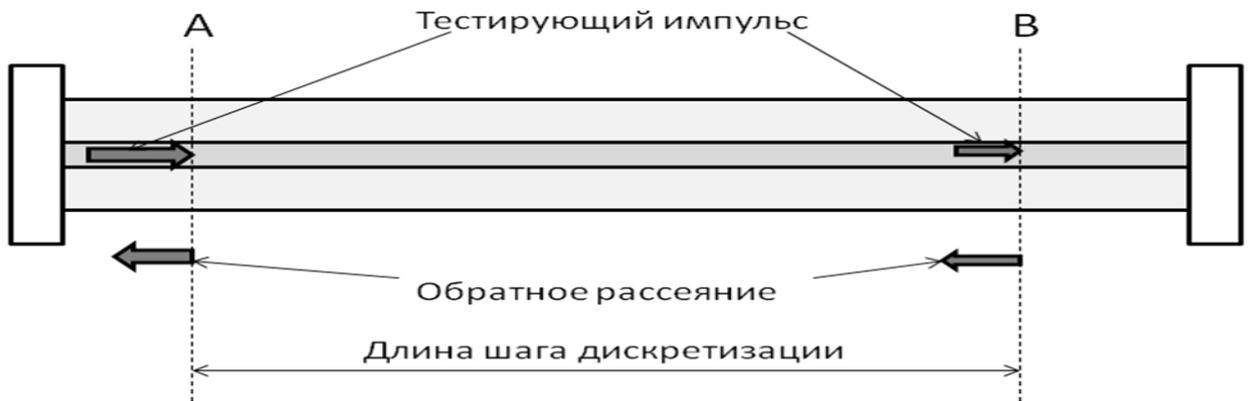


Рис.1.5.

Прибор AQ7270/AQ7275 излучает в оптическое волокно короткий импульс и измеряет вернувшееся назад за счет **релеевого** рассеяния и отражений от неоднородностей излучение. Полученные данные о мощности и времени задержки зондирующего импульса используются для расчета распределения потерь в волокне. Потери и отражения на неоднородностях оптической трассы, отображенные на рефлектограмме, называются рефлектометрическими событиями (неоднородностями) представлены на Рис.1.6.

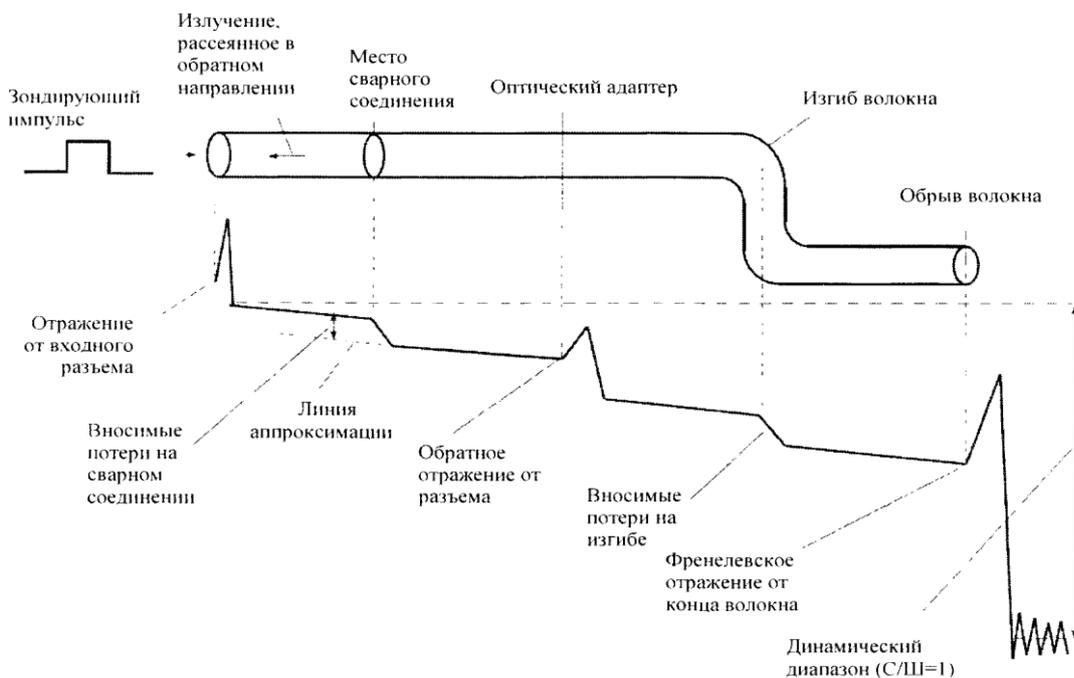


Рис.1.6. Потери и отражения на неоднородностях оптической трассы, отображенные на рефлектограмме

## 2. Теоретическое введение

### 2.1. Методика измерения длины волокна

Одной из важнейших задач, решаемых с помощью OTDR, является измерение расстояний до неоднородностей. Это расстояние определяется по времени запаздывания импульсов, отразившихся от неоднородности и вернувшихся обратно в рефлектометр. Пересчет времени в расстояние осуществляется автоматически с помощью формулы

$$L = cT/2n_{\Gamma}, \quad (2.1)$$

где  $c/n_{\Gamma}$  - групповая скорость распространения света в волокне,  $c$  - скорость света в вакууме,  $n_{\Gamma}$  - групповой показатель преломления волокна. Множитель  $1/2$  учитывает то, что импульс света проходит участок длиной  $L$  дважды - в прямом и обратном направлении. При оценках обычно используют приближенные значения  $c = 3 \cdot 10^5$  км/с и  $n_{\Gamma} = 1.5$ . Тогда коэффициент пересчета времени в расстояние получается равным  $0.1$  км/нс =  $0.1$  м/нс.

В результате такого пересчета рефлектограмма представляется на дисплее OTDR как функция длины волокна. При этом точность измерения расстояния с помощью рефлектометра ограничивается теми же факторами, что и при классических способах измерения расстояния (например, с помощью линейки). А именно, точностью определения положения начала и конца отсчета и точностью калибровки шкалы прибора.

Для OTDR характерно то, что точность измерения расстояния практически не зависит от длительности ( $T$ ) зондирующих импульсов, которая может меняться в широких пределах (от 2 нс до 20 мкс). Обусловлено это тем, что положение неоднородности на рефлектограмме определяется по переднему фронту импульса, как это показано на рис.2.1.



Рис. 2.1 Измерение длины волокна по сигналу отражения от конца волокна

На рис.2.1 представлены рефлектограммы отрезка волокна длиной около 5 км с погонными потерями порядка 0.2дБ/км на  $\lambda=1550$ нм. Рефлектограммы измерены при двух значениях длительности импульса 100 нс (сплошная линия) и 1 мкс (пунктирная линия). Рефлектограммы представляют собой прямые линии (с углом наклона  $\sim 0.2$ дБ/км) и с всплесками сигнала в начале и в конце линии. Эти всплески сигнала вызваны отражением импульсов света от оптического разъема рефлектометра и от торца волокна и представляют собой по существу осциллограммы отраженных импульсов. Причем передний фронт отраженных импульсов отображается ближе к началу рефлектограммы, так как он приходит на фотоприемник раньше, чем его задний фронт.

Длина волокна находится по расстоянию между передними фронтами импульсов, отраженных от оптического разъема рефлектометра и от заднего торца волокна. Это расстояние, как видно из рис.2.1, не зависит от ширины импульса. Точность, с которой определяется положение начала и конца волокна тем выше, чем больше крутизна переднего фронта импульса.

Длительность импульсов определяет величину сигнала обрат-

ного релеевского рассеяния света в волокне и ширину мертвой зоны в начале рефлектограммы. При большой длительности импульса (1 мкс) сигнал обратного релеевского рассеяния заметно превосходит уровень шумов в конце рефлектограммы, но при этом мертвая зона делает недоступным для измерения большой участок в начале волокна ( $\sim 0.5$  км). При уменьшении длительности импульса до 100 нс ширина мертвой зоны уменьшается примерно в 10 раз. При этом уровень сигнала обратного релеевского рассеяния уменьшается на 5 дБ, и вклад шумов может уже стать заметным.

## 2.2. Измерение потерь в сростках волокон

Рефлектограмма только одного волокна в линии содержит несколько десятков ступенек, вызванных потерями в сростках волокон. Если учесть то, что оптический кабель содержит несколько десятков волокон, то становится понятным, что анализ такого большого числа неоднородностей целесообразнее всего проводить в автоматическом режиме. Этот режим позволяет анализировать рефлектограммы наиболее быстрым и удобным способом и не требует от оператора наличия специальных навыков.

Однако в автоматическом режиме удастся обнаружить не все сростки волокон, так как вызванное ими изменение сигнала может быть недостаточным для того, чтобы пересечь некий пороговый уровень. Выбор величины этого порогового уровня всегда является определенным компромиссом. Так, с одной стороны, для того, чтобы зарегистрировать сростки волокон с малыми потерями, пороговый уровень должен быть мал. А с другой стороны, этот пороговый уровень должен быть достаточно большим для того, чтобы шумовые всплески сигнала не были приняты за сростки волокон (они наиболее сильны в конце рефлектограммы) (рис.2.2).

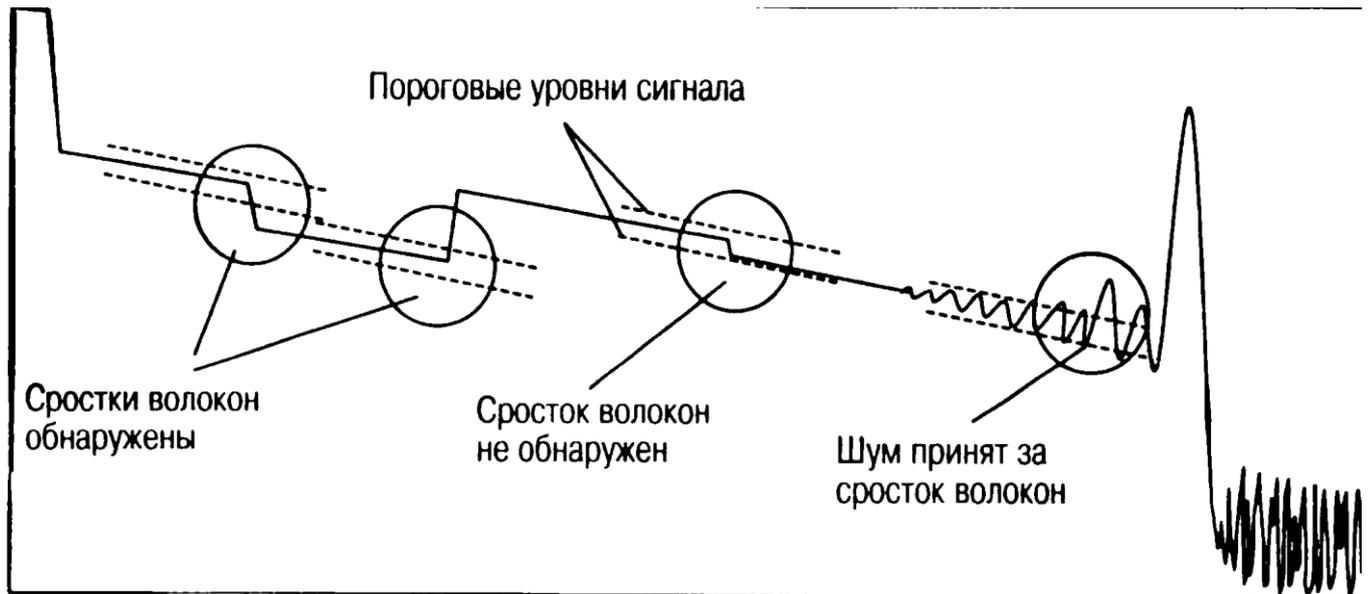


Рис.2.2 Схема обнаружения неоднородности на рефлектограмме

При двухстороннем анализе рефлектограмм (он проводится для того, чтобы исключить ошибки, вызванные флуктуациями диаметра модового пятна волокна) необходимо, чтобы число сростков волокон и их положение на рефлектограммах, измеренных с двух сторон линии, было одинаковым. Т.е. необходимо, чтобы маркеры на этих рефлектограммах стояли на одних и тех же местах и, при этом не было сростков волокон, не отмеченных маркерами, а также не было шумовых всплесков сигнала, отмеченных маркерами.

Поиск пропущенных сростков волокон и устранение ложных сигналов удобнее всего проводить в полуавтоматическом режиме. В этом режиме можно просмотреть в увеличенном масштабе места соединений строительных длин оптических кабелей (где собственно и должны находиться сростки волокон). При этом можно изменить величину порогового уровня и измерить потери тех сростках волокон, которые не были зарегистрированы в автоматическом режиме, и выставить на них маркеры.

Поиск местоположения сростков волокон существенно упрощается, когда на дисплей выводятся рефлектограммы нескольких соседних волокон в кабеле, так как для всех волокон в кабеле сростки волокон находятся на одинаковом расстоянии (в местах расположения муфт). При этом достаточно расставить правильно мар-

керы только для одного волокна в линии, так как для остальных волокон маркеры должны находиться на тех же местах.

### 2.3. Определение места повреждения волокон

Оптический кабель проектируется и применяется с таким расчетом, чтобы срок службы линии передачи был не менее 25 лет. Такой кабель, если он эксплуатируется в штатном режиме, обладает высокой степенью надежности. Но все же, за 25 лет кабель может быть поврежден случайно или умышленно. Случайные повреждения кабеля происходят, в основном, при земляных работах (около 40 %), умышленно его повреждают при кражах кусков кабеля (думая, что медный) или при стрельбе по нему из охотничьих ружей. Кроме того, кабель может быть поврежден грызунами или на линии может произойти авария (подвижка грунта, наводнение, удар молнии и т.д.).

В большинстве случаев (~80 %) повреждаются сразу все волокна в кабеле, что приводит к простоям линии и, соответственно, к большим финансовым потерям. Для примера, типичная стоимость простоя локальной сети за рубежом составляет около 100 тыс. долларов в минуту. Поэтому место повреждения кабеля должно быть найдено максимально быстро. Однако сделать это, учитывая большую протяженность регенерационного участка линии (типичная длина ~100 км), часто бывает сложно.

С помощью рефлектометра можно измерить с хорошей точностью (порядка нескольких метров) длину волокна от начала линии до места повреждения волокна. Однако знания длины волокна недостаточно для того, чтобы определить положение места повреждения кабеля на трассе. Для этого нужно ещё осуществить привязку рефлектограммы к местности. Сделать это необходимо потому, что длина волокна, уложенного в кабель, обычно превышает длину кабеля, а длина кабеля в свою очередь превышает длину трассы.

Общим для всех конструкций оптического кабеля является то, что деформации кабеля, неизбежно возникающие под действием окружающей среды, не должны приводить к возникновению напряжения в волокне. Только в этом случае удастся избежать появ-

ления в волокне дополнительных потерь и обеспечить большой срок службы кабеля. Так, например, для достижения срока службы ~25 лет величина относительного удлинения волокна не должна превышать 0.2%, что в несколько раз меньше допустимой величины относительного удлинения кабеля.

Наиболее простым конструктивным решением, обеспечивающим механическую развязку волокна от несущих элементов кабеля, является свободная укладка волокна в кабель в виде спирали. При этом избыток волокна должен быть достаточно большим для того, чтобы деформации, которым подвергается кабель, приводили только к изменению шага спирали, и не создавали в волокне натяжения.

Величина избытка волокна зависит от конструкции кабеля. Так, например, волокно может быть уложено в виде спирали в трубчатом модуле (пластмассовом или металлическом) (рис.2.3). Избыток волокна в таком модуле составляет 0.4...0.8%. Эти модули обычно свиваются слоями (повивами) вокруг центрального элемента кабеля. Возникающий при этом избыток волокна может достигать уже нескольких процентов. Для оценки - при избытке волокна около 3 % на расстоянии 30 км длина волокна может превысить длину кабеля примерно на 1 км.

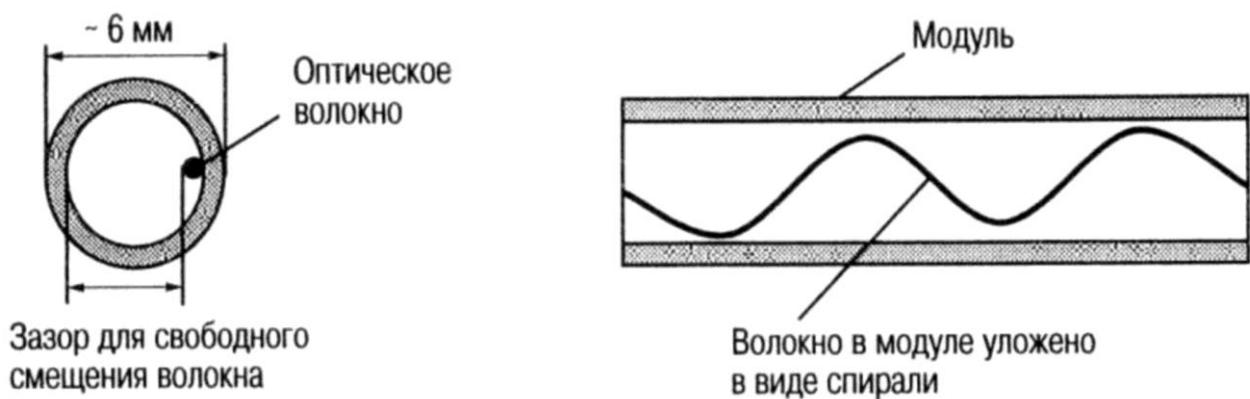


Рис.2.3

В свою очередь, длина кабеля может значительно (в 1.5 раза) превысить длину трассы. Происходит это потому, что кабель должен обходить различные препятствия и, кроме того, в линии имеются конструктивные запасы кабеля необходимые для его ремонта. Поэтому, несмотря на то, что с помощью рефлектометра можно с

достаточно хорошей точностью измерить длину волокна от начала линии до места её повреждения, положение места повреждения волокна на местности будет известно с невысокой точностью порядка нескольких сот метров (рис.2.4.).

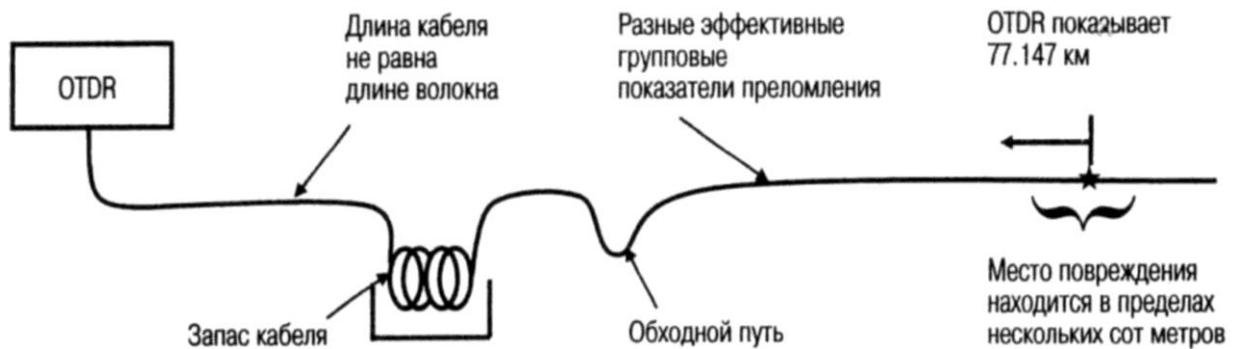


Рис.2.4. Схема, поясняющая причины возникновения неопределенности при определении места повреждения волокна

Неопределенность в определении места повреждения волокна можно уменьшить, представив рефлектограмму как функцию длины кабеля (а не как функцию длины волокна). Сделать это можно, если вместо группового показателя волокна установить в рефлектометре некий эффективный показатель преломления  $n_{эфф}$ , позволяющий учесть избыток волокна в кабеле.

Для того, чтобы рассчитать величину  $n_{эфф}$ , нужно знать длину кабеля  $L_K$  (её можно взять, например, из документации на кабель), групповой показатель преломления волокна  $n_r$  (он обычно указывается производителем в спецификации на волокно) и длину волокна  $L_B$  (она измеряется рефлектометром).

$$n_{эфф} = (L_K \times n_r) / L_B$$

Найти величину  $n_{эфф}$  можно и несколько иным способом, используя при вычислениях рефлектометр. Для этого надо установить курсоры на начало и конец кабельного участка известной длины и подобрать такое значение показателя преломления, при котором оптическая длина волокна будет равна физической длине кабеля.

Далее с помощью функции автопоиска надо идентифицировать все строительные длины кабелей в линии и ввести в рефлектометр соответствующий им эффективный показатель преломле-

ния. В результате рефлектограмма будет представлена, как функция длины кабельной линии.

На следующем этапе проводится привязка рефлектограммы к местности. Для этого, после завершения монтажа каждой муфты, записываются метки на кабеле с указанием его длины, а также километраж железной дороги или другого протяженного объекта, вдоль которого прокладывается кабель. В большинстве случаев такую привязку удается осуществить, так как из-за больших цен на землеотвод операторы связи стремятся использовать уже готовые инфраструктуры. Поэтому кабели часто прокладывают вдоль железных дорог ("Компания Транстелеком"), линий электропередач ("Ростелеком") или в полосе отчуждения газопроводов ("Газтелеком") и нефтепроводов ("Связьтранснефть").

#### 2.4. Двухсторонний анализ рефлектограмм

Флуктуации диаметра модового пятна в волокнах приводят, как было показано ранее, к появлению систематической погрешности с величиной среднеквадратичного отклонения порядка 0.1 дБ, что заметно больше средних потерь в сростках SM волокон (~0.02 дБ). Из-за случайного характера вариаций диаметра модового пятна их разность с одинаковой вероятностью может быть как положительной, так и отрицательной. Поэтому на рефлектограммах с примерно одинаковой вероятностью наблюдаются ступеньки направленные как вниз, так и вверх. Ясно, что в этом случае по рефлектограмме, измеренной только с одной стороны линии, нельзя найти величину потерь в сростке волокон.

Как видно из (2.1.), для того, чтобы исключить систематическую ошибку, возникающую из-за разности коэффициентов обратного релеевского рассеяния, надо вычислить среднее значение потерь в сростке волокон:

$$a_{\text{ист}} = (a_{12} + a_{21}) / 2, \quad (2.2)$$

где  $a_{12}$  и  $a_{21}$  - значения потерь в сростке волокон рассчитанные по рефлектограммам, измеренным во встречных направлениях. В качестве примера рассчитаем истинное значение потерь в сростках волокон (рис.2.5) и (рис.2.6).

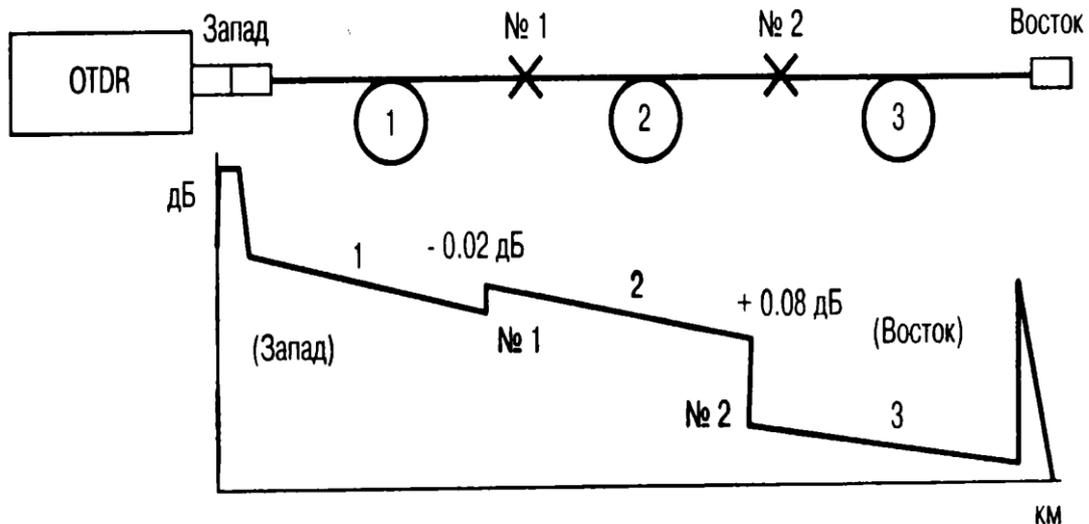


Рис. 2.5. Рефлектограмма, измеренная в направлении Запад–Восток

При измерении в направлении Запад-Восток (рис.2.5) измеренное значение потерь в сварном соединении волокон №1 имеет отрицательный знак ( $a_{№1} = -0.02\text{дБ}$ ), т.е. наблюдается «усиление» сигнала. В сварном соединении волокон №2 измеренное значение потерь имеет положительный знак ( $a_{№2} = +0.08\text{дБ}$ ), как и должно быть при потерях излучения.

Истинные значения потерь  $a_1$  в сростке волокон №1 и  $a_2$  в сростке волокон №2 можно найти, исключив с помощью (2.1.) систематические ошибки. Для этого надо провести измерения потерь в линии с другой стороны (в направлении Восток-Запад). Рефлектограмма, измеренная в направлении Восток-Запад, изображена на рис.2.6.

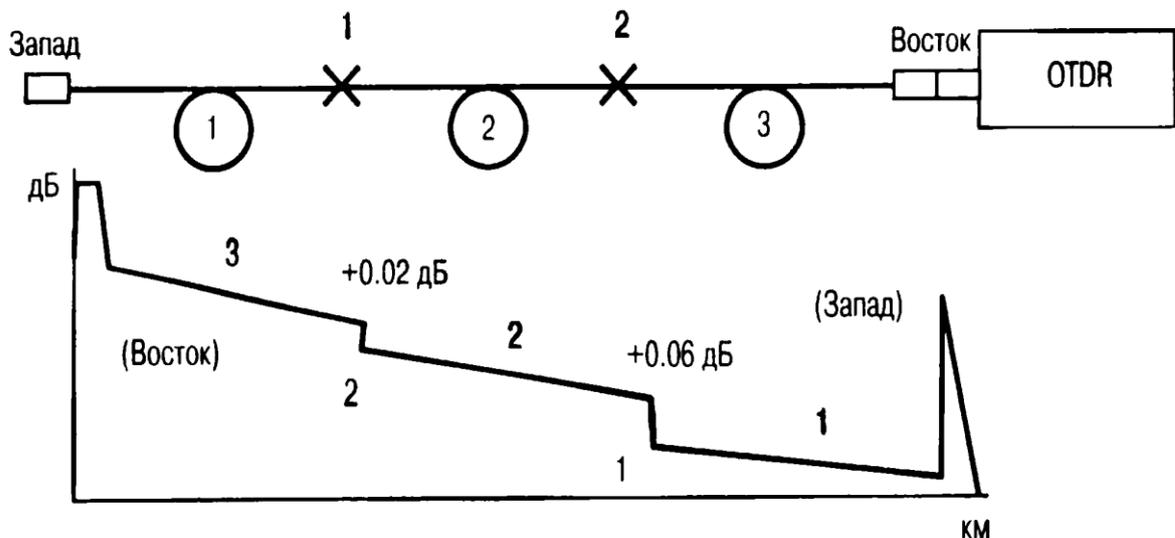


Рис. 2.6. Рефлектограмма, измеренная в направлении Восток–Запад

Значения потерь в сростках волокон, измеренные в направлении Восток-Запад, имеют положительный знак:  $a_{из,2} = + 0.02$  дБ (в сварном соединении волокон №2) и  $a_{из,1} = + 0.06$  дБ (в сварном соединении волокон №1). Результаты расчета истинного значения потерь в сростках волокон 1 и 2, а также систематической ошибки, возникающей из-за разности диаметров модовых пятен соединяемых волокон, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Результаты расчета истинного значения потерь в сростках волокон по значениям потерь измеренных с помощью рефлектограмм рис.2.5 и рис.2.6.

Номер сростка волокон	Измеренные потери, дБ (Запад-Восток)	Измеренные потери, дБ (Восток-Запад)	Истинные потери, дБ	Систематическая ошибка, дБ
№1	$a_{из,1} = - 0.02$	$a_{из,1} = + 0.06$ дБ	$a_1 = + 0.02$	$- 0.04 (З^И) + 0.04 (В^З)$
№2	$a_{из,2} = + 0.08$	$a_{из,2} = + 0.02$ дБ	$a_2 = + 0.05$	$+ 0.03 (З^И) - 0.03 (В^З)$

## 2.5. Измерения на двух длинах волн

Потери линии передачи обычно измеряют на той длине волны, на которой осуществляется передача трафика (в магистральных линиях на  $\lambda=1550$ нм, а в городских линиях на  $\lambda=1310$ нм). Но если в линии обнаружены избыточные потери, то измерения проводят на обеих этих длинах волн. Измерения на двух длинах волн позволяют выявить наличие сильных изгибов волокон - одного из основных механизмов приводящих к появлению избыточных потерь.

В этом методе используется тот факт, что потери, вносимые при изгибе SM волокна, значительно сильнее зависят от длины волны (рис. 2.7), чем потери вызванные другими механизмами, такими как релеевское рассеяние, смещение сердцевин волокон,

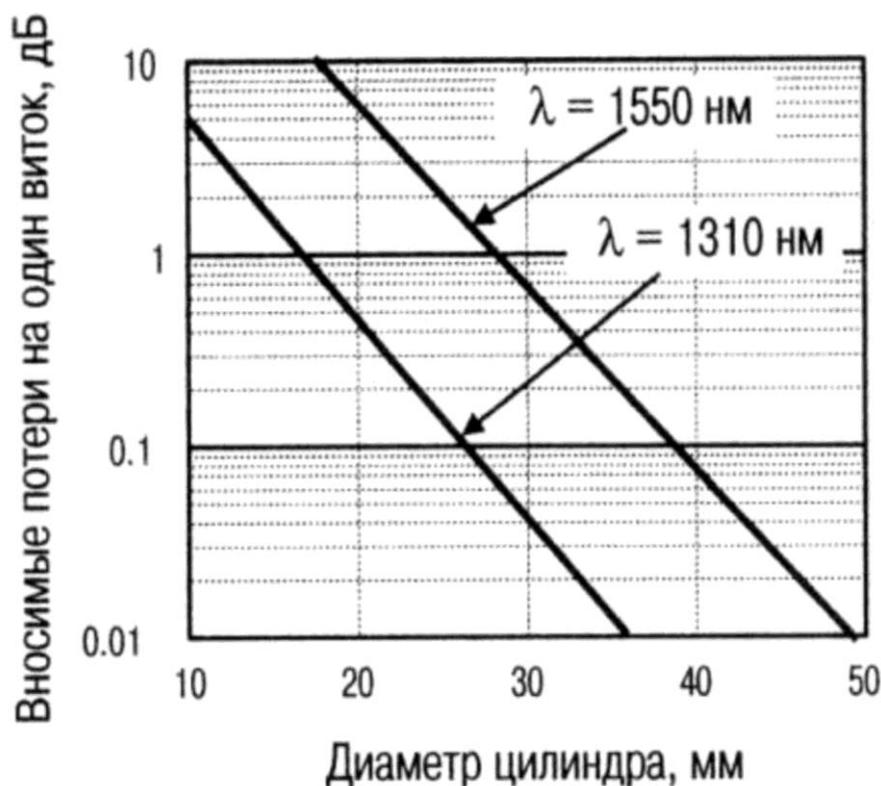


Рис.2.7 Потери, вносимые при изгибе SM волокон

флуктуации модового пятна и т.д. Так, например, если потери, вносимые при намотке волокна на оправку диаметром 30мм на  $\lambda=1310$ нм составляют всего лишь 0.03дБ, то на  $\lambda=1550$ нм они уже существенно больше (~0.6дБ).

Как видно из рис. 2.7., потери, вносимые при изгибе SM волокон, быстро уменьшаются при увеличении радиуса изгиба. Поэтому, если не допускать сильных изгибов волокна, вносимые потери будут пренебрежимо малы. Однако на практике не всегда удастся избежать появления сильных изгибов волокна. Они могут возникнуть из-за нарушений технологии при изготовлении оптических кабелей и при их инсталляции в линию передачи. Часто такие изгибы возникают при укладке сварных соединений волокон в муфты и оптических шнуров в распределительные шкафы.

Возможность появления избыточных потерь в строительных длинах оптических кабелей контролируется на всех этапах монтажа линии, начиная от входного и предмонтажного контроля этих кабелей. При этом контролируются не только погонные потери, но и ступеньки в рефлектограмме, величина которых (в соответствии со спецификациями на волокно) не должна превышать 0.10 дБ. Типичные рефлектограммы, получаемые при входном контроле оптических кабелей, изображены на рис. 2.8.

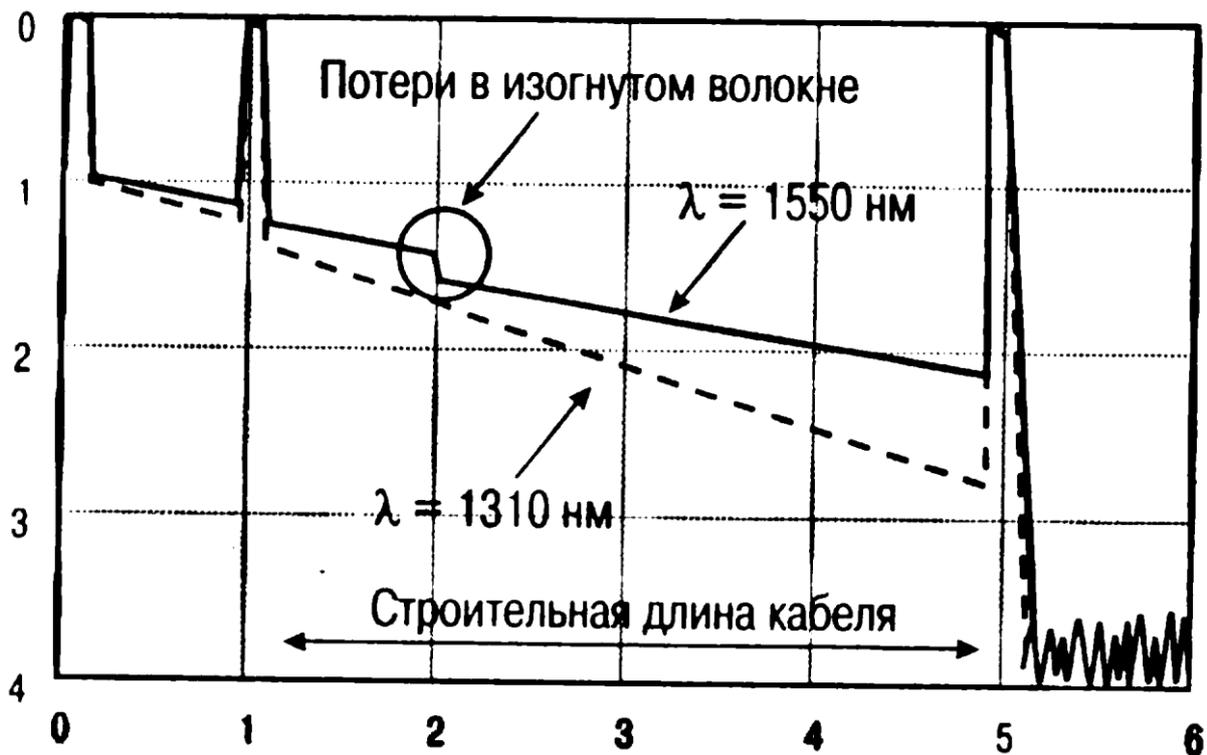


Рис.2.8. Рефлектограммы, измеренные на длинах волн 1310нм и 1550нм

На рефлектограммах видны всплески сигналов отражения от места соединения оптического разъема рефлектометра с согласующим кабелем (длиной ~1 км), от места соединения согласующего кабеля с исследуемым волокном (подключенным через адаптер) и от торца волокна. Наклон рефлектограммы, измеренной на  $\lambda=1310\text{нм}$ , больше чем на  $\lambda=1550\text{нм}$ , как и должно быть, так как минимальными погонными потерями волокно обладает на  $\lambda=1550\text{нм}$ .

Типичные значения погонных потерь в SM волокнах равны 0.34...0.35дБ/км на  $\lambda=1310\text{нм}$  и 0.20...0.23дБ/км на  $\lambda=1550\text{нм}$ . По специальному заказу кабельный завод может изготовить кабель с предельно низкими на сегодняшний день потерями: 0.19 дБ/км (на  $\lambda=1550\text{нм}$ ). Дополнительные потери, наводимые при кабрировании, обычно не превышают 0.01...0.02дБ/км.

Если в волокне имеются достаточно сильные изгибы, то погонные потери увеличиваются, причем в первую очередь на  $\lambda=1550\text{нм}$  так, что наклон рефлектограммы на этой длине волны может получиться даже больше, чем на  $\lambda=1310\text{нм}$ . Однако чаще изгибы волокна локализованы и приводят к появлению ступеньки на рефлектограмме. Так, например, на рис. 2.8 рефлектограмма (на  $\lambda=1550\text{нм}$ ) имеет ступеньку ( $\sim 0.2$  дБ), находящуюся на расстоянии 2 км от начала. В тоже время на рефлектограмме, измеренной на  $\lambda=1310\text{нм}$ , такой ступеньки нет. Это означает, что в этом месте волокно сильно изогнуто.

Чаще всего сильные изгибы волокон возникают при укладке сростков волокон в муфты и оптических шнуров в распределительные шкафы. При этом сильно изогнутый участок волокна находится обычно близко к месту соединения волокон. В этом случае пространственного разрешения рефлектометра обычно бывает недостаточно для того, чтобы определить, из-за чего возникли избыточные потери - из-за плохого соединения волокон или их сильных изгибов.

Наличие сильно изогнутого участка волокна можно выявить, проведя измерения на двух длинах волн. Сделать это важно из чисто практических соображений. Так, например, если будет выявлено, что избыточные потери возникли из-за изгиба волокон, то не надо будет переделывать места соединений волокон, что требует определенных временных и финансовых затрат. В этом случае достаточно более аккуратно уложить волокна в муфту (или оптические шнуры в распределительном шкафу), что сделать значительно проще. В качестве иллюстрации рассмотрим, как может изменяться величина ступеньки на рефлектограмме, возникшей в месте соединения волокон, при изменении длины волны рис.2.9.

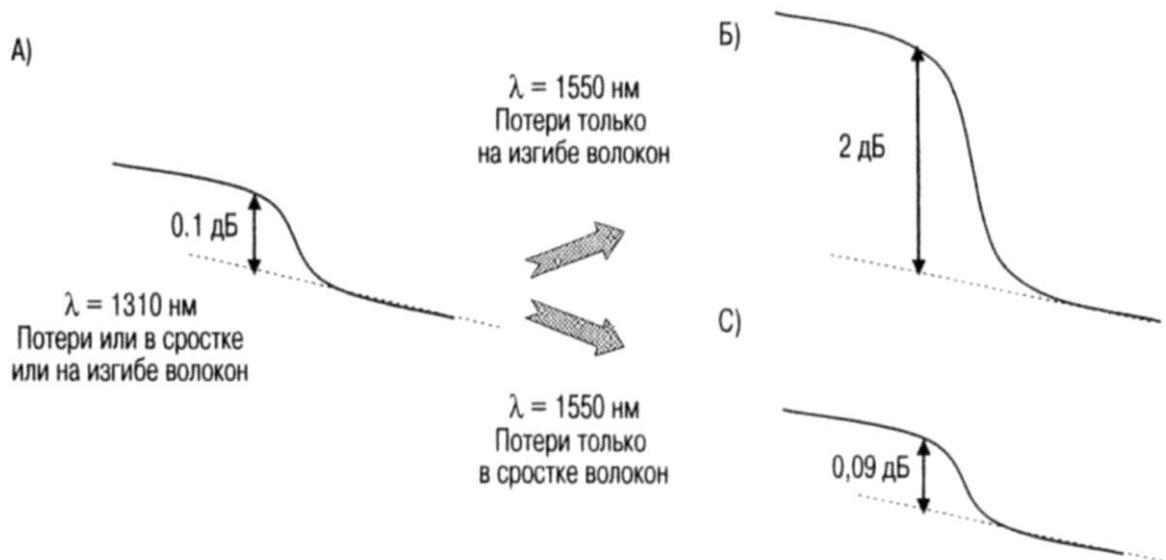


Рис.2.9. Определение наличия сильно изогнутого участка волокна вблизи места соединения волокон. Наличие изгиба характеризуется сильным увеличением потерь при увеличении длины волны

Как показано на рис.2.9, если ступенька (А) величиной в 0.1дБ на  $\lambda=1310$ нм обусловлена потерями в сростке волокон (в основном из-за смещения сердцевин волокон), то тогда на длине волны 1550нм она останется почти такой же (С). Если же ступенька (А) появилась в основном из-за потерь, вносимых при изгибе волокна, то тогда на длине волны 1550нм ступенька (Б) существенно увеличится (до 2дБ).

### **3. Цикл лабораторных работ**

3.1 Лабораторная работа №1 «Режим измерений на нескольких длинах волн».

Цель работы: -получение навыков измерений на оптическом рефлектометре.

Порядок выполнения работы

#### **Включение режима «Несколько длин волн»**

1. После включения прибора нажмите кнопку OTDR экранного меню. Прибор перейдет в режим рефлектометра.

2. Войдите в меню изменения параметров рефлектометра с помощью кнопки SETUP.

3. Нажмите кнопку Режим (Mode) экранного меню.

4. В появившемся экранном меню типов режимов измерений выберите Неск. ДлВлн (Multi WL). Появится экранное меню установок режима нескольких длин волн.

#### **Установка параметров измерения**

5. Для настройки параметров измерений нажмите кнопку Парам измер (Meas Setup) экранного меню. Откроется окно «Парам. измер. (Неск) длин волн)» (Meas Setup (Multi Wavelength)).

#### **Выбор длины волны**

6. В окне «Парам, измер. (Неск. длин волн)» (Meas Setup (Multi Wavelength)) (п. 5.) выделите курсором любую строку Длина волны 1-3 (Wavelength) с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

7. Нажмите кнопку ENTER. Появится окно выбора длины волны.

8. Выберите необходимую длину волны с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

9. Нажмите кнопку ENTER. Окно выбора длины волны закроется.

10. Повторите шаги с 6 по 9 для оставшихся длин волн.

**Режим измерений на нескольких длинах волн. Настройка параметров анализа**

#### **Включение режима «Несколько длин волн»**

1. После включения прибора нажмите кнопку OTDR экранного меню. Прибор перейдет в режим рефлектометра.

2. Войдите в меню изменения параметров рефлектометра с помощью кнопки SETUP.

3. Нажмите кнопку Режим (Mode) экранного меню.

4. В появившемся экранном меню типов режимов измерений выберите Неск. ДлВлн (Multi WL). Появится экранное меню установок режима нескольких длин волн.

#### **Установка параметров анализа**

5. Для настройки параметров анализа нажмите кнопку Парам анализа (Analysis Setup) экранного меню. Откроется окно «Параметры анализа (Неск. длин волн)» (Analysis Setup (Multi Wavelength)).

3.2. Лабораторная работа №2 «Поиск локальных неоднородностей».

Цель работы: -получение навыков измерений на оптическом рефлектометре. Поиск локальных неоднородностей. Установка параметров

Порядок выполнения работы

### **Включение режима «Помощник измерений»**

1. После включения прибора нажмите кнопку OTDR экранного меню. Прибор перейдет в режим рефлектометра.

2. Войдите в меню настройки параметров прибора с помощью кнопки SETUP.

3. Нажмите кнопку Режим (Mode) экранного меню.

4. В появившемся экранном меню выберите Помощник измерений (Measurement Wizard). Появится экранное меню установок режима помощника измерений.

### **Установка параметров определения неоднородностей**

5. Для установки параметров определения неоднородностей нажмите кнопку Парам автопоиска (Event Search Setup) экранного меню. Откроется окно «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)).

### **Выбор режима поиска неоднородностей (авто/вручную)**

6. В окне «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)) (п. 5.) выделите курсором строку Поиск неоднородностей (Event Search) с помощью поворотно-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

7. Нажмите кнопку ENTER. Откроется окно «Вывод» (Display).

8. Нажмите кнопку ENTER.

9. Установите с помощью поворотно-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз нужный режим поиска неоднородностей.

10. Подтвердите выбор нажатием кнопки ENTER.

### **Выбор метода аппроксимации**

11. В окне «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)) (п.5.) выделите курсором строку Метод ап-

прокс (Arrghox. Method) с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

12. Нажмите кнопку ENTER. Откроется окно «Метод аппрокс» (Arrghox. Method) с комментариями и рекомендациями по выбору метода аппроксимации.

13. Нажмите кнопку ENTER.

14. Установите с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз нужный метод аппроксимации.

15. Подтвердите выбранный метод аппроксимации нажатием кнопки ENTER.

#### **Порог обнаружения по потерям на неоднородности**

16. В окне «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)) (п. 5.) выделите курсором строку Потери (Splice Loss) с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

17. Нажмите кнопку ENTER. Откроется окно «Потери» (Splice Loss) с комментариями и рекомендациями по установке порога.

18. Нажмите кнопку ENTER.

19. Установите с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз пороговое значение потерь.

20. Подтвердите установленное значение нажатием кнопки ENTER.

#### **Порог обнаружения по уровню обратного отражения**

21. В окне «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)) (п. 5.) выделите курсором строку Отражение (Return Loss) с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

22. Нажмите кнопку ENTER. Откроется окно «Отражение» (Return Loss) с комментариями и рекомендациями по установке порогового значения обратных потерь при определении неоднородностей.

23. Нажмите кнопку ENTER.

24. Установите с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз пороговое значение обратных потерь при определении неоднородностей.

25. Подтвердите установленное значение нажатием кнопки ENTER.

#### **Изменение порога обнаружения конца трассы**

26. В окне «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)) (стр. 5-15) выделите курсором строку Конец волокна (End of Fiber) с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

27. Нажмите кнопку ENTER. Откроется окно «Конец волокна» (End of Fiber) с комментариями и рекомендациями по установке порога определения конца трассы.

28. Нажмите кнопку ENTER.

29. Установите с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз порог определения конца трассы.

30. Подтвердите установленное значение нажатием кнопки ENTER.

#### **Вкл/Выкл режима предупреждений о повреждениях**

31. В окне «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)) (п. 5.) выделите курсором строку Повреждения Вывод (Fault Event Display) с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

32. Нажмите кнопку ENTER. Откроется окно «Вывод» (Display) с комментариями и рекомендациями по включению предупреждений о неоднородностях.

33. Нажмите кнопку ENTER.

34. С помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз включите или выключите режим предупреждений о повреждениях.

35. Подтвердите выбранный режим нажатием кнопки ENTER.

#### **Изменение порогового значения потерь на сварном соединении для режима предупреждения о повреждениях**

36. В окне «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)) (п. 5.) выделите курсором строку Потери (Splice Loss) с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

37. Нажмите кнопку ENTER. Откроется окно «Потери» (Splice Loss).

38. Нажмите кнопку ENTER.

39. С помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз установите пороговое значение для режима предупреждения о повреждениях на сварных соединениях.

40. Подтвердите установленное значение нажатием кнопки ENTER.

**Измерение порогового значения отражения на механических соединениях для режима предупреждения о повреждениях**

41. В окне «Параметры автопоиска (Помощник)» (Event Analysis Setup (Wizard)) (стр. 5-15) выделите курсором строку Отражение (Return Loss) с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз.

42. Нажмите кнопку ENTER. Откроется окно «Отражение» (Return Loss) с комментариями и рекомендациями по установке порогового значения.

43. Нажмите кнопку ENTER.

44. С помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз установите пороговое значение для предупреждения о повреждениях на механических соединениях.

45. Подтвердите установленное значение нажатием кнопки ENTER.

### 3.3. Лабораторная работа №3 «Измерение расстояний».

Цель работы: -получение навыков измерений на оптическом рефлектometре. Измерение расстояния с помощью курсора.

Порядок выполнения работы

#### **Измерение расстояния с помощью курсора**

Расстояние от прибора до локальной неоднородности (сварное или механическое соединение, конец трассы) можно измерить, подведя курсор в нужное место на рефлектограмме.

#### **Вывод курсора на экран**

1. Поверните поворотную-нажимную кнопку. Курсор отобразится на экране прибора.

#### **Перемещение курсора**

2. С помощью поворотной-нажимной кнопки расположите курсор в позиции, до которой нужно измерить расстояние. Значение расстояния будет выведено на экран.

#### **Измерение длины участка трассы с помощью маркеров. Метод двух маркеров (Обычные маркеры)**

1. В режиме рефлектometра нажмите кнопку **Маркеры (Marker)** экранного меню.

2. Нажмите кнопку **Два маркера (2 Point Marker)** экранного меню.

3. Поверните поворотную-нажимную кнопку. Курсор отобразится на экране прибора.

#### **• Установка маркера на начало измеряемого участка трассы**

4. Переместите курсор на начало измеряемого участка трассы.

5. Нажмите кнопку **Ф** экранного меню. Маркер **Ф** будет установлен на текущее положение курсора.

#### **• Установка маркера на конец измеряемого участка**

6. Переместите курсор на конец измеряемого участка трассы.

7. Нажмите кнопку  $\Phi$  экранного меню. Маркер будет установлен на текущее положение курсора. В окне результатов измерений отобразится длина участка трассы между маркерами  $\Phi$  и  $\Phi$ .

#### **Измерения с помощью двух линейных маркеров**

1. Нажмите кнопку **Маркеры (Marker)** экранного меню,  
2. Нажмите кнопку **Два маркера (2 Point Markers)** экранного **№**:-:

#### **• Установка маркера на начало измеряемого участка трассы**

3. Нажмите кнопку **п** экранного меню.  
4. Поверните поворотную-нажимную кнопку. Линейный маркер **п** ~ . ~. на экране прибора.  
5. Переместите линейный маркер **п** с помощью поворотной-нажимной кнопки **п** - начало измеряемого участка трассы.

#### **• Установка маркера на конец измеряемого участка**

6. Нажмите кнопку **Е** экранного меню.  
7. Поверните поворотную-нажимную кнопку. Линейный маркер **Е** - на экране прибора.  
8. Переместите линейный маркер **Е** с помощью поворотной-нажимной кнопки **Е** - в конец измеряемого участка трассы. Рефлектометр рассчитает **Г**:-: > . -на этом участке и выведет в окне результатов.

#### **• Вывод курсора на экран**

9. Нажмите кнопку **Курсор (Cursor)** экранного меню «Два маркера»  
10. Поверните поворотную-нажимную кнопку. Курсор отобразится на экране прибора.

#### **Изменение начала отсчета расстояний**

Обычно, расстояния отсчитываются от входного оптического разъема AQ7270/AQ7275. Это место является точкой отсчета при определении положения курсоров и маркеров на трассе. Используя нормализующую катушку при определении расстояний нужно учитывать ее длину.

### **Изменение начала отсчета расстояний**

1. В режиме рефлектометра нажмите кнопку **Маркеры (Marker)** экранного меню.
2. Нажмите кнопку **Установка нач. коор (Distance Ref Setup)** экранного меню.
3. Поверните поворотную-нажимную кнопку. Курсор появится на экране прибора.
4. Переместите курсор к точке на рефлектограмме, которую вы хотите установить в качестве начала отсчета трассы.
5. Нажмите кнопку **Установка нач. коор (Distance Ref Setup)** экранного меню. На экране отобразится маркер **R** начала отсчета.

### **Удаление маркера начала отсчета**

6. Нажмите кнопку **Сброс нач. коор (Dist. Ref. Delete)** экранного меню. Маркер **R** начала отсчета будет удален.

### **Двухсторонний анализ трассы**

1. В режиме рефлектометра нажмите кнопку **Стр. 1/2 (Next 1/2)** экранного меню.
  2. Нажмите кнопку **Дополнит анализ (Advanced Analysis)** экранного меню.
  3. Нажмите кнопку **С 2-х стор (2-Way Trace)** экранного меню.
- Загрузка рефлектограмм**
4. Нажмите кнопку **Трасса 1 (TRACE 1)** или **Трасса 2 (TRACE 2)** экранного меню.

### **Выбор стандарта представления данных загружаемого файла**

5. Нажмите кнопку **Тип файла (File Type)** экранного меню.
6. Выберите стандарт представления данных с помощью поворотной-нажимной кнопки или кнопок **вверх/вниз** экранного меню.
7. Нажмите кнопку **ENTER**. Окно выбора стандарта представления данных закроется.

### **Выбор устройства памяти**

8. Нажмите кнопку **Устр-во (Drive)** экранного меню.
9. С помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш **вверх/вниз** выберите устройство памяти для загрузки рефлектограммы.
10. Нажмите кнопку **ENTER**.

### Загрузка рефлектограммы

11. С помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз переместите

курсор к файлу с рефлектограммой.

12. Нажмите кнопку Считать (Load) экранного меню. Рефлектограмма загрузится

и отобразится на экране прибора.

### Выбор активной рефлектограммы

13. Выберите активную рефлектограмму с помощью кнопки Текущ. трасса (Current Trace). (Трасса 1 или Трасса 2).

### Выполнение анализа трассы с двух сторон

14. Нажмите кнопку Трасса с 2-х сторон (2-Way Trace Analysis) экранного меню.

Переключение формата вывода результатов двухстороннего анализа

15. Нажмите кнопку Вывод (Screen) экранного меню. Произойдет переключение режима отображения результатов анализа.

### Смена направления вывода трассы (АВ/ВА)

16. Нажмите кнопку Вывод трассы (Display Type) экранного меню. Направление вывода неактивной рефлектограммы сменится на противоположное.

### Примечание

Результатом выполнения анализа трассы с 2-х сторон будет комбинированная таблица событий, в которую будут сведены все события (неоднородности, найденные при измерении трассы сначала с одной стороны, потом с другой). То есть, например, если анализ трассы А-В показал четыре локальные неоднородности, а анализ трассы В-А показал 5 локальных неоднородностей, то в итоговой таблице будет 5 найденных локальных неоднородности.

### 3.4 Лабораторная работа №4 «Двухсторонний анализ трассы»

Цель работы: -получение навыков измерений на оптическом рефлектометре. Проведение двухстороннего анализа трассы.

#### Порядок выполнения работы

1. В режиме рефлектометра нажмите кнопку Стр. 1/2 (Next 1/2) экранного меню.

2. Нажмите кнопку Дополнит анализ (Advanced Analysis) экранного меню.

3. Нажмите кнопку С 2-х стор (2-Way Trace) экранного меню.

Загрузка рефлектограмм

4. Нажмите кнопку Трасса 1 (TRACE 1) или Трасса 2 (TRACE 2) экранного меню.

Выбор стандарта представления данных загружаемого файла

5. Нажмите кнопку Тип файла (File Type) экранного меню.

6. Выберите стандарт представления данных с помощью поворотно-нажимной кнопки или кнопок вверх/вниз экранного меню.

7. Нажмите кнопку ENTER. Окно выбора стандарта представления данных закроется.

Выбор устройства памяти

8. Нажмите кнопку Устр-во (Drive) экранного меню.

9. С помощью поворотно-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз выберите устройство памяти для загрузки рефлектограммы.

10. Нажмите кнопку ENTER.

Загрузка рефлектограммы

11. С помощью поворотно-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз переместите курсор к файлу с рефлектограммой.

12. Нажмите кнопку Считать (Load) экранного меню. Рефлектограмма загрузится и отобразится на экране прибора.

Выбор активной рефлектограммы

13. Выберите активную рефлектограмму с помощью кнопки Текущ. трасса (Current Trace). (Трасса 1 или Трасса 2).

Выполнение анализа трассы с двух сторон

14. Нажмите кнопку Трасса с 2-х сторон (2-Way Trace Analysis) экранного меню.

Переключение формата вывода результатов двухстороннего анализа

15. Нажмите кнопку Вывод (Screen) экранного меню. Произойдет переключение режима отображения результатов анализа.

Смена направления вывода трассы (АВ/ВА)

16. Нажмите кнопку Вывод трассы (Display Type) экранного меню. Направление вывода неактивной рефлектограммы сменится на противоположное.

Примечание

Результатом выполнения анализа трассы с 2-х сторон будет комбинированная таблица событий, в которую будут сведены все события (неоднородности, найденные при измерении трассы сначала с одной стороны, потом с другой). То есть, например, если анализ трассы А-В показал четыре локальные неоднородности, а анализ трассы В-А показал 5 локальных неоднородностей, то в итоговой таблице будет 5 найденных локальных неоднородности.

## Лабораторная работа №5 «Измерение обратного отражения»

Цель работы: -получение навыков измерений на оптическом рефлектометре. Измерение обратного отражения.

### Порядок выполнения работы

#### Режим обычных маркеров

1. Нажмите кнопку Маркеры (Marker) экранного меню.
2. Нажмите кнопку Два маркера (2 Point Markers) экранного меню.
3. Поверните поворотно-нажимную кнопку. Курсор отобразится на экране прибора.

#### Установка маркера в начале измеряемого участка трассы

4. Переместите курсор к началу участка трассы, где проводятся измерения.

5. Нажмите кнопку 2 экранного меню. Маркер 2 будет установлен на текущем положении курсора.

#### Установка маркера в конце измеряемого участка

6. Переместите курсор к концу измеряемого участка трассы.
7. Нажмите кнопку 2 экранного меню. Маркер 2 будет установлен на текущем положении курсора. Рефлектометр автоматически распознает тип локальной неоднородности и рассчитает обратное отражение.

#### Режим линейных маркеров

1. Нажмите кнопку Маркеры (Marker) экранного меню.
2. Нажмите кнопку Два маркера (2 Point Markers) экранного меню.

#### Установка маркера в начале измеряемого участка трассы

3. Нажмите кнопку **n** экранного меню.
4. Поверните поворотно-нажимную кнопку. Линейный маркер **n** отобразится на экране прибора.

5. Переместите линейный маркер **n** с помощью поворотно-нажимной кнопки на начало измеряемого участка трассы.

#### Установка маркера в конце измеряемого участка трассы

6. Нажмите кнопку **E** экранного меню.
7. Поверните поворотно-нажимную кнопку. Линейный маркер **E** отобразится на экране прибора.

8. Переместите линейный маркер E с помощью поворотно-нажимной кнопки на конец измеряемого участка трассы. Рефлектометр автоматически распознает тип локальной неоднородности и рассчитает потери.

Вывод курсора на экран

9. Нажмите кнопку Курсор (Cursor) экранного меню.

10. Поверните поворотно-нажимную кнопку. Курсор отобразится на экране прибора.

Лабораторная работа №6 «Проведение измерений в реальном времени»

Цель работы: -получение навыков измерений на оптическом рефлектометре. Проведение измерения в реальном времени.

Порядок выполнения работы

### **Запуск режима измерений в реальном времени**

1. После включения прибора нажмите кнопку OTDR экранного меню. Прибор

перейдет в режим рефлектометра.

2. Нажмите REALTIME. Вверху экрана появится надпись «Лазер Включен». Запустится режим измерений в реальном времени. На дисплее появится меню экранных кнопок режима измерений в реальном времени.

### **Изменение параметров измерений**

#### **Выбор длины волны**

3. Нажмите кнопку Длина волны (Wavelength) экранного меню. Появится окно выбора длины волны.

4. Переместите курсор с помощью поворотно-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз к необходимой длине волны.

5. Нажмите кнопку ENTER для установки нового значения длины волны.

#### **Изменение диапазона расстояний**

6. Нажмите кнопку Диапазон расст. (Distance Range) экранного меню. Появится окно выбора диапазона расстояний.

7. Переместите курсор с помощью поворотно-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз к выбранному диапазону расстояний.

8. Нажмите кнопку ENTER для установки нового значения диапазона расстояний.

#### **Изменение длительности импульса**

9. Нажмите кнопку Длит. имп. (Pulse Width) экранного меню. Появится список длительностей импульсов.

10. Переместите курсор с помощью поворотно-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз к выбранному значению длительности импульса.

11. Нажмите кнопку ENTER для установки нового значения длительности импульса.

**Установка уровня начального ослабления**

12. Нажмите кнопку Ослабление (Attenuation) экранного меню. Появится окно выбора начального ослабления.

13. Переместите курсор с помощью поворотной-нажимной кнопки или клавиш вверх/вниз к необходимому значению начального ослабления.

14. Нажмите кнопку ENTER для установки нового значения начального ослабления.

**Контрольные вопросы**

1. Назначение и принцип действия сварочного аппарата Fuji-kura FSM-18S.
2. Основные этапы процедуры сварки ОВ.
3. Причины некачественной сварки ОВ.
4. Цель использования режима измерений на нескольких длинах волн.
5. Порядок поиска локальных неоднородностей.
6. Порядок измерения расстояний.
7. Метод двухстороннего анализа трассы.
8. Метод измерения обратного отражения.
9. Метод проведения измерения в реальном времени.

## Библиографический список

1. А. В. Листвин Рефлектометрия оптических волокон. – М.: ЛЕСАРарт, 2005.-208 с.: ил.
2. Дэвид Бейли, Эдвин Райт Волоконная оптика. Теория и практика: Учебно-справочное издание. – М.: Кудиц-Образ. – Москва, 2006. – 320с.: ил.
3. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. – М.: Академия АйТи; ДМК Пресс, 2007. – 632с.: ил.
4. Пронин М.П. Монтаж, восстановление и измерение волоконно-оптических кабелей ВОЛП ЖТ: Учебное иллюстрированное пособие. – М.: Маршрут, 2003. – 69с.: ил.
5. Родина О.В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство – М.: Горячая линия - Телеком, 2009. – 400с.: ил.

## **ШКАЛА ОЦЕНИВАНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ВЫПОЛНЕННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Оценка «отлично» выставляется студенту, если лабораторная работа выполнена правильно, в установленное преподавателем время или с опережением времени, при этом студентом выбран наиболее эффективный способ выполнения задания.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если лабораторная работа выполнена правильно, в установленное преподавателем время, типовым способом и допущено наличие несущественных недочетов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если при выполнении лабораторной работы допущены ошибки не критического характера и (или) превышено установленное преподавателем время.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если лабораторная работа не выполнена или при его выполнении допущены грубые ошибки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения лабораторных работ студент формирует следующие компетенции:

Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1)	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый уровень («удовлетворительно»)	Продвинутый уровень (хорошо)	Высокий уровень («отлично»)
1	2	3	4	5
ПК-1/ основной, завершающий.	<p>ПК-1.1. Формулирует тезисы из анализируемой научно-технической литературы.</p> <p>ПК-1.2. Разрабатывает формальные модели обработки и передачи данных в телекоммуникационных системах.</p> <p>ПК-1.3. Формулирует целе-</p>	<p><b>Знать:</b> Основные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять основные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p>	<p><b>Знать:</b> Применяемые методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками</p>	<p><b>Знать:</b> Современные эффективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять современные эффективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.</p>

	<p>вые критерии для оценивания эффективности исследуемых систем. ПК-1.4. Проводит экспериментальные</p>	<p>тем и сетей. <b>Владеть:</b> Навыками применения основных методов</p>	<p>применения</p>	<p>сетей. <b>Владеть</b> Навыками применения современных эффективных методов проведения теоретических и экспериментальных исследований защищённости</p>
<p>ПК-5/ за- вершаю- щий.</p>	<p>ПК-5.1. Разрабатывает методику оценки уровня защищённости телекоммуникационной систем. ПК-5.3. Разрабатывает систему мероприятий по оценке уровня защищённости телекоммуникационной системы.</p>	<p><b>Знать:</b> Основные методы контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем. <b>Уметь:</b> Применять основные методы контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем.. <b>Владеть:</b> Навыками применения основных методов контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем.</p>	<p><b>Знать:</b> Применяемые методы контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем.. <b>Уметь:</b> Применять методы контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем.. <b>Владеть:</b> Навыками применения методов контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем.</p>	<p><b>Знать:</b> Современные эффективные методы контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем. <b>Уметь:</b> Применять современные эффективные методы контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем. <b>Владеть</b> Навыками применения современных эффективных методов контроля защищённости информационно-телекоммуникационных систем.</p>

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(обязательное)

**Форма титульного листа отчета, обучающегося о выполненной лабораторной работе****МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Кафедра космического приборостроения и систем связи

**ОТЧЕТ**

о выполненной лабораторной работе

по дисциплине «Квантовая и оптическая электроника»

на тему «\_\_\_\_\_»

Выполнил

\_\_\_\_\_  
(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Проверил

\_\_\_\_\_  
(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Курск 20\_\_





УДК 681.7.069

Составители: А.А. Гуламов, И.Г. Бабанин

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Зав. кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

**Цикл лабораторных работ на лабораторном оптическом комплексе ЛКО-4: методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» по дисциплине «Физические основы оптических систем связи»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, И.Г. Бабанин. – Курск, 2024. – 48 с.**

Методические указания содержат сведения о технике безопасности на рабочем месте, порядке выполнения лабораторных работ, рекомендации по подготовке, оформлению и защите лабораторных работ, а также критерии оценивания защиты отчета.

Предназначены для студентов специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем»

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *20.08.24* Формат 60×84 1/16.  
Усл. печ. л. 5,5. Уч.- изд. л. 3,3. Тираж 100 экз. Заказ *483*  
Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

Инструкция по технике безопасности	- 4
1. Лабораторный оптический комплекс ЛКО-4	- 9
1.1. Назначение	- 9
1.2. Технические характеристики	- 9
1.3. Состав	- 10
1.4. Устройство и принцип работы	- 12
2. Теоретическое введение	- 18
2.1. Основные понятия и определения	- 18
2.2. Коэффициенты Френеля. Закон Брюстера	- 20
2.3. Закон Малюса	- 26
3. Описания лабораторных работ	- 28
3.1. Лабораторная работа 1	- 28
3.2. Лабораторная работа 2	- 31
3.3. Лабораторная работа 3	- 33
3.4. Лабораторная работа 4	- 36
3.5. Лабораторная работа 5	- 38
3.6. Лабораторная работа 6	- 41
3.7. Лабораторная работа 7	- 43
Шкала оценивания и критерии оценивания выполненной лабораторной работы	- 45
Заключение	- 46
Приложение А Форма титульного листа отчета обучающегося о выполняемой лабораторной работе	- 48

# ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

## *Общие положения*

Настоящая инструкция предназначена для студентов и работников, выполняющих работы на персональном компьютере и на сетевом оборудовании (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны и т.д.).

К выполнению работ допускаются лица:

- не моложе 16 лет;
- прошедшие медицинский осмотр;
- прошедшие вводный инструктаж по охране труда, а также инструктаж по охране труда на рабочем месте;
- прошедшие обучение безопасным приемам труда на рабочем месте по выполняемой работе.

Работник обязан:

- выполнять правила внутреннего трудового распорядка, установленные в положениях и инструкциях, утвержденных ректором ЮЗГУ, или его заместителями;
- выполнять требования настоящей инструкции;
- сообщать руководителю работ о неисправностях, при которых невозможно безопасное производство работ;
- не допускать присутствия на рабочем месте посторонних лиц;
- уметь оказывать первую помощь и при необходимости оказывать ее пострадавшим при несчастных случаях на производстве, по возможности сохранив обстановку на месте происшествия без изменения и сообщив о случившемся руководителю;
- выполнять требования противопожарной безопасности не разводите открытый огонь без специального на то разрешения руководителя работ;
- периодически проходить медицинский осмотр в сроки, предусмотренные для данной профессии.

Работник должен знать опасные и вредные производственные факторы, присутствующие на данном рабочем месте:

- возможность травмирования электрическим током при отсутствии или неисправности заземляющих устройств;
- вредное воздействие монитора компьютера при его неправильной установке или неисправности;

- возможность возникновения заболеваний при неправильном расположении монитора, клавиатуры, стула и стола;

- вредное воздействие паров, газов и аэрозолей, выделяющихся при работе копировальной и печатающей оргтехники в непроветриваемых помещениях.

Работник при выполнении любой работы должен обладать здоровым чувством опасности и руководствоваться здравым смыслом. При отсутствии данных качеств он к самостоятельной работе не допускается.

### ***Требования охраны труда перед началом работы***

Перед началом работы работник обязан:

- получить от руководителя работ инструктаж о безопасных методах, приемах и последовательности выполнения производственного задания;

- привести в порядок одежду, застегнуть на все пуговицы, чтобы не было свисающих концов, уложить волосы, чтобы они не закрывали лицо и глаза;

- привести рабочее место в безопасное состояние;

- запрещается носить обувь на чрезмерно высоких каблуках;

Перед включением компьютера или сетевого оборудования убедиться в исправности электрических проводов, штепсельных вилок и розеток. Вилки и розетки должны соответствовать Евро-стандарту. Отличительной особенностью этих вилок и розеток является наличие третьего провода, обеспечивающего заземление компьютера или другого прибора. При отсутствии третьего заземляющего провода заземление должно быть выполнено обычным способом с применением заземляющего проводника и контура заземления;

Убедиться, что корпус включаемого оборудования не поврежден, что на нем не находятся предметы, бумага и т.п. Вентиляционные отверстия в корпусе включаемого оборудования не должны быть закрыты занавесками, завалены бумагой, заклеены липкой лентой или перекрыты каким-либо другим способом.

## ***Требования охраны труда во время работы***

Запрещается во время работы пить какие-либо напитки, принимать пищу;

Запрещается ставить на рабочий стол любые жидкости в любой таре (упаковке или в чашках);

Помещения для эксплуатации компьютеров, сетевого оборудования должны иметь естественное и искусственное освещение, естественную вентиляцию и соответствовать требованиям действующих норм и правил. Запрещается размещать рабочие места вблизи силовых электрических кабелей и вводов трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе и отрицательно влияющие на здоровье операторов;

Окна в помещениях, где установлены компьютеры должны быть ориентированы на север и северо-восток. Оконные проемы оборудуются регулируемыми устройствами типа жалюзи или занавесками;

Площадь на одно рабочее место пользователей компьютера должна составлять не менее  $6 \text{ м}^2$  при рядном и центральном расположении, при расположении по периметру помещения –  $4 \text{ м}^2$ . При использовании компьютера без вспомогательных устройств (принтер, сканер и т.п.) с продолжительностью работы менее четырех часов в день допускается минимальная площадь на одно рабочее место  $5 \text{ м}^2$ ;

Полимерные материалы, используемые для внутренней отделки интерьера помещений с ПК, должны подвергаться санитарно-эпидемиологической экспертизе. Поверхность пола должна обладать антистатическими свойствами, быть ровной. В помещениях ежедневно проводится влажная уборка. Запрещается использование удлинителей, фильтров, тройников и т.п., не имеющих специальных заземляющих контактов;

Экран видеомонитора должен находиться от глаз оператора на расстоянии 600-700 мм, минимально допустимое расстояние 500 мм;

Продолжительность непрерывной работы с ПК должна быть не более 2 часов.

## ***Требования охраны труда по окончании работы***

По окончании работы работник обязан выполнить следующее:

- привести в порядок рабочее место;
- убрать инструмент и приспособления в специально отведенные для него места хранения;
- обо всех замеченных неисправностях и отклонениях от нормального состояния сообщить руководителю работ;
- привести рабочее место в соответствие с требованиями пожарной безопасности.

## ***Действие при аварии, пожаре, травме***

В случае возникновения аварии или ситуации, в которой возможно возникновение аварии немедленно прекратить работу, предпринять меры к собственной безопасности и безопасности других рабочих, сообщить о случившемся руководителю работ.

В случае возникновения пожара немедленно прекратить работу, сообщить в пожарную часть по телефону 01, своему руководителю работ и приступить к тушению огня имеющимися средствами.

В случае получения травмы обратиться в медпункт, сохранить по возможности место травмирования в том состоянии, в котором оно было на момент травмирования, доложить своему руководителю работ лично или через товарищей по работе.

## ***Ответственность за нарушение инструкции***

Каждый работник ЮЗГУ в зависимости от тяжести последствий несет дисциплинарную, административную или уголовную ответственность за несоблюдение настоящей инструкции, а также прочих положений и инструкций, утвержденных ректором ЮЗГУ или его заместителями.

Руководители подразделений, заведующий кафедрой, начальники отделов и служб несут ответственность за действия своих подчиненных, которые привели или могли привести к авариям и травмам согласно действующему в РФ законодательству в зависи-

мости от тяжести последствий в дисциплинарном, административном или уголовном порядке.

Администрация ЮЗГУ вправе взыскать с виновных убытки, понесенные предприятием в результате ликвидации аварии, при возмещении ущерба работникам по временной или постоянной утрате трудоспособности в соответствии с действующим законодательством.

# 1 Лабораторный оптический комплекс ЛКО-4

## 1.1. Назначение

Предназначен для постановки учебных лабораторных экспериментов по курсу «Физические основы оптических систем связи».

Комплекс обеспечивает выполнение следующих экспериментов:

1. Измерение показателя преломления пластины по углу Брюстера.
2. Измерение преломляющих углов и показателя преломления призмы методами геометрической оптики и по углу Брюстера.
3. Определение толщины пластины интерферометрическим методом в отраженном свете (полосы равного наклона).
4. Интерференция и когерентность.
5. Измерение малых деформаций интерферометрическим методом и определение модуля Юнга.
6. Измерение показателя преломления пластины интерферометрическим методом в проходящем свете (интерферометр Маха-Цендера).
7. Измерение показателя преломления воздуха.

## 1.2. Технические характеристики

Источник излучения	- лазер полупроводниковый
Длина волны излучения, мкм	- 0,651
Мощность излучения, мВт	- 3 - 5
Габаритные размеры, м	- 0,46x0,30x0,25
Масса комплекса, кг	- 6

### 1.3. Состав

1. Опорная плита с экраном стационарным
2. Подставка интерферометра
3. Лазер полупроводниковый в оправе ( $\lambda_0 = 0,650$  мкм)
4. Блок питания лазера (стабилизатор тока)
5. Интерферометр Маха-Цендера ( $l=250$  мм,  $h=80$  мм)
6. Экран съемный
7. Поляризатор
8. Подставка для гирь
9. Комплект гирь
10. Пневмоблок (насос с манометром)
11. Кювета для воздуха
12. Экран-наклейка
13. Объект №4 – пластина стеклянная ( $d = 1,1$  мм)
14. Объект №6 – пластина пластмассовая ( $d = 3,9$  мм)
15. Объект №8 – призма стеклянная
16. Объект №39 – кристаллическая пластина (слюда)
17. Блок питания выносной, 12 В, 0,2 – 0,4 А

Общий вид установки показан на рис.1. Номера позиций на рисунке соответствуют номерам в перечне состава комплекса.

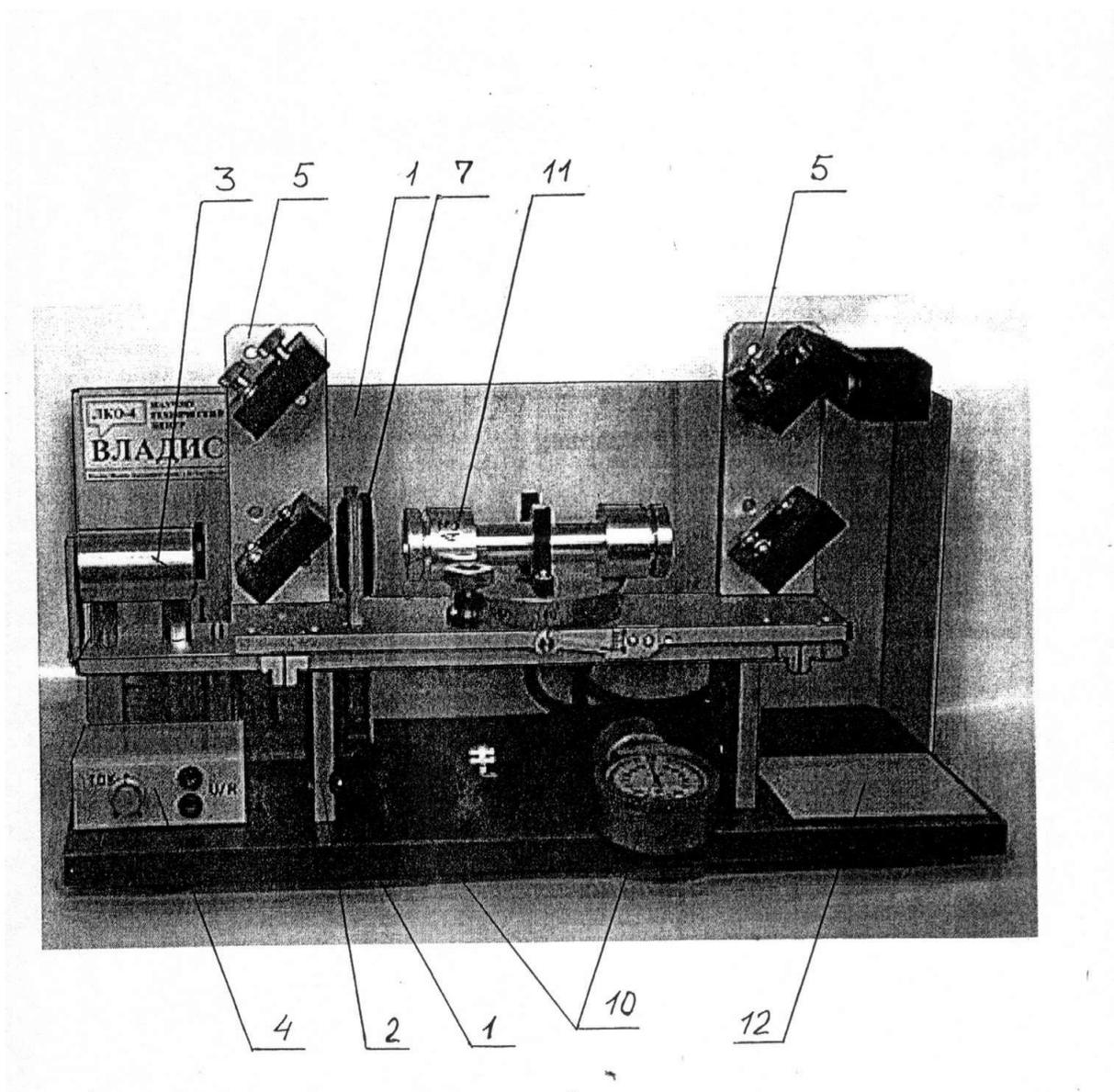


Рис.1. Лабораторный комплекс ЛКО – 4

## 1.4. Устройство и принцип работы

На рис.2 представлена оптическая база комплекса.

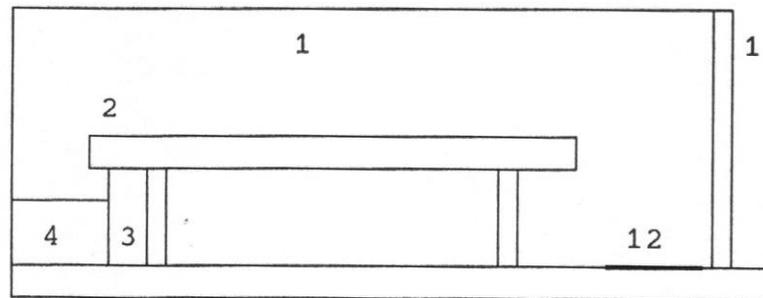


Рис.2. Оптическая база комплекса

- 1. - экран стационарный
- 2. - подставка интерферометра
- 3. - лазер
- 4. - блок питания - регулятор тока
- 12. - экран-наклейка

На рис.3 представлен интерферометр Маха-Цендера

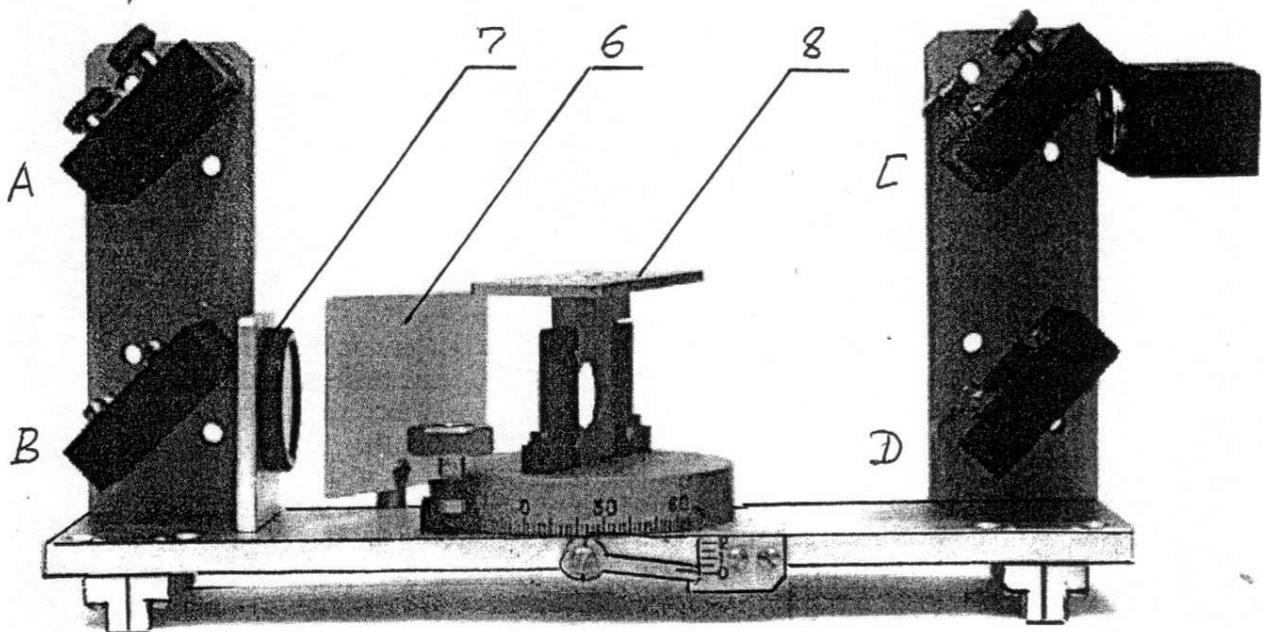


Рис.3 Интерферометр Маха-Цендера

Интерферометр Маха-Цендера предназначен для изучения когерентности лазерного излучения и для интерферометрических из-

мерений. Номера позиций на рис.3 соответствуют приведенным в перечне состава комплекса.

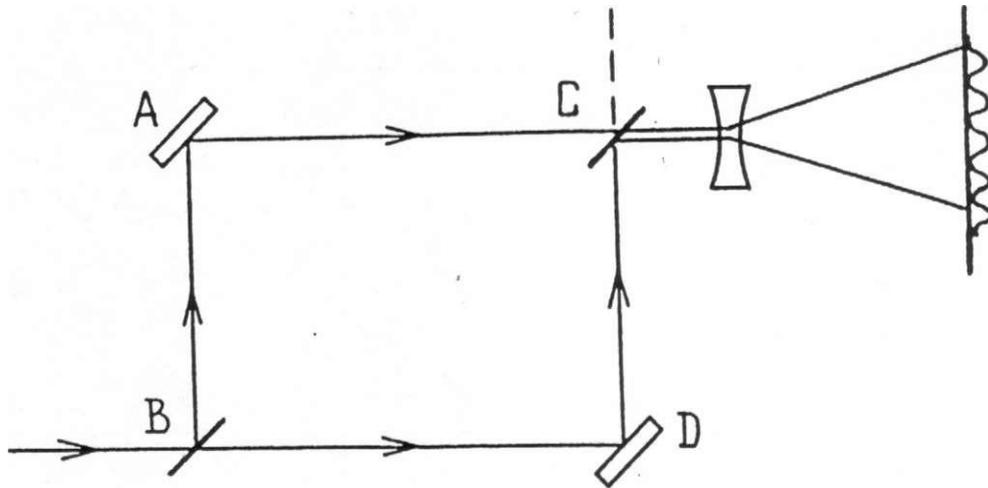


Рис.4. Схема интерферометра Маха-Цендера

Интерферометр (рис.4) состоит из четырех зеркал: полупрозрачных В и С и глухих А и D. Входящий световой пучок расщепляется полупрозрачным зеркалом В на два пучка равной интенсивности, которые после отражения сводятся вместе вторым полупрозрачным зеркалом С. На выходе имеются две плоские световые волны, распространяющихся в близких направлениях. Если зеркала установлены так, что выходящие пучки абсолютно параллельны, то может случиться, что эти две волны находятся в противофазе. Тогда результирующая интенсивность будет равна нулю. При этом вся энергия будет уноситься идущим вверх пучком (он показан пунктиром на рис.4).

Обычно выходящие пучки не абсолютно параллельны, и наблюдается интерференционная картина в виде системы из параллельных полос. Диаметр пучков мал (менее 1 мм), и наблюдать картину невооруженным глазом невозможно. Для увеличения размеров интерференционной картины на пути двух пучков помещают рассеивающую или собирающую линзу с малым фокусным расстоянием. Тогда на экране получается интерференционная картина приемлемых размеров (размер пятна на экране относится к диаметру пучка как расстояние до экрана относится к фокусному расстоянию линзы).

Устройство интерферометра показано на рис.5.

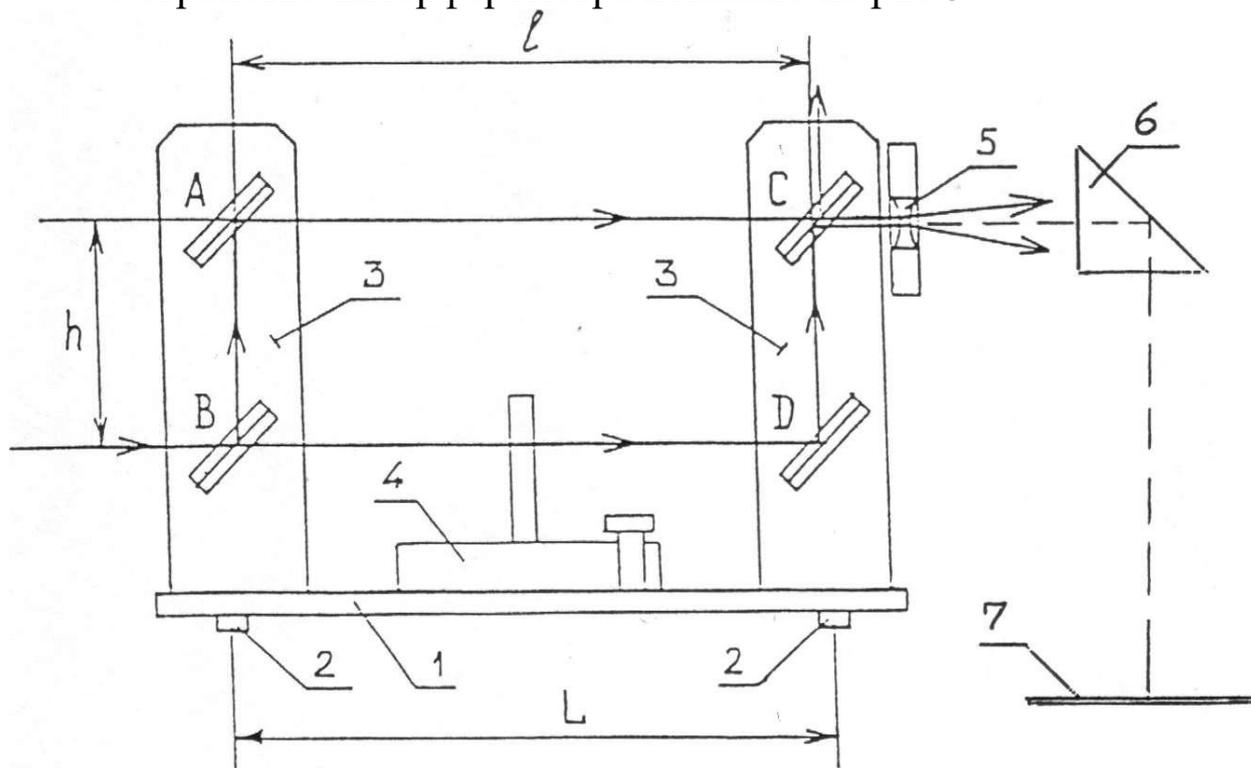


Рис.5. Устройство интерферометра Маха-Цендера

Основание 1 устанавливается на подставку на опорах 2. Расстояние между опорами  $L=250$  мм. На основании установлены кронштейны 3 для зеркал интерферометра и поворотный столик 4. Зеркала A и D - глухие, зеркала B и C - полупрозрачные. Все зеркала установлены в двухосевых держателях, обеспечивающих юстировку прибора. Расстояния между центрами зеркал:  $l=250$  мм;  $h=80$  мм. На выходе излучения из интерферометра установлена рассеивающая линза 5 на подвижном кронштейне, позволяющем вводить линзу в пучок излучения и подбирать ее положение. Призма полного отражения 6 обеспечивает наблюдение интерференционной картины на горизонтальном экране 7, наклеиваемом на плиту-основание установки.

В комплексе интерферометра имеется съемный экран (рис.6), который устанавливается на штыре в отверстии основания интерферометра и позволяет наблюдать излучение, отраженное от пластин, установленных на столике интерферометра.

Рамка с полкой (рис.7) вставляется в кронштейны поворотного столика. Размещая на полке гири, создают контролируруемую нагрузку на опорную плиту интерферометра

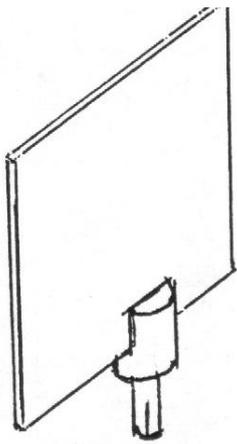


Рис.6

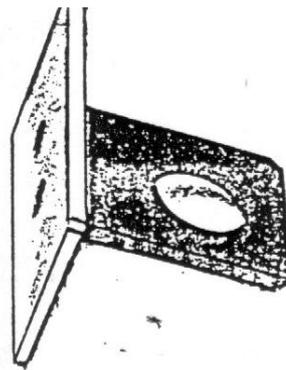
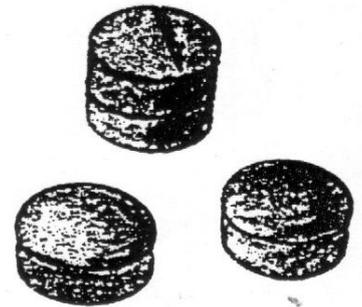


Рис.7



Настройка интерферометра осуществляется следующим образом. Интерферометр устанавливают на оптическую скамью, включают лазер, убеждаются в том, что пучки излучения проходят через окна зеркал, не задевая их оправ. Если интерференционная картина не наблюдается, ослабляют винт крепления кронштейна с линзой и призмой, поворотом кронштейна удаляют линзу из пучка излучения, затем проводят настройку зеркал интерферометра в следующей последовательности. Устанавливают экран вплотную к выходному зеркалу С интерферометра и винтами зеркала А (рис.5) совмещают пучки на экране. Отодвигают экран от интерферометра и винтами зеркала С снова совмещают пучки. Эти операции по необходимости повторяют. Затем вновь устанавливают в пучок излучения линзу 5 с призмой 6. На плите-основании установки должно появиться пятно размерами несколько сантиметров, пересеченное интерференционными полосами. Подбирают положение кронштейна так, чтобы пятно находилось примерно под серединой держателя призмы. Регулируемыми винтами зеркал уточняют настройку, добиваясь удобной ориентации полос и удобных для измерений размеров полос.

Пневмоблок в соединении с кюветой для газов (Рис.8) предназначен для изменения и измерения давления воздуха в кювете. Содержит резиновую помпу 1 с поворотным клапаном 2, а также манометр 3. При затянутом клапане нагнетают воздух в кювету, затем приоткрывают клапан и, медленно понижая давление, проводят измерения.

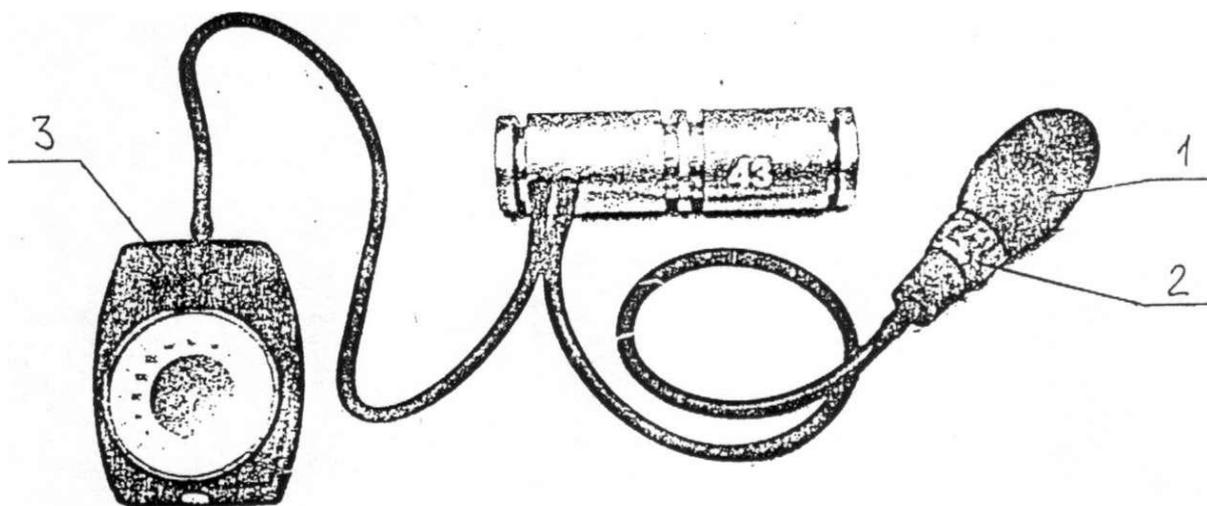


Рис.8. Пневмоблок в соединении с кюветой для газов (объект 43)

Изучаемые объекты (рис.9) смонтированы в экранах, вставляемых в кронштейны поворотного столика интерферометра.

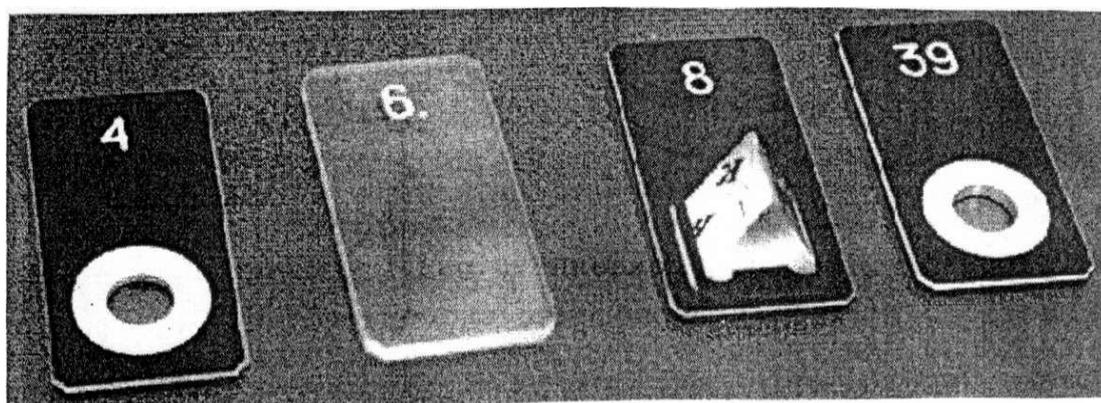


Рис. 9. Набор объектов

Стол поворотный (рис 10) предназначен для установки объектов с возможностью поворота вокруг вертикальной оси, а также для отсчета угловых координат и углов поворота. Поворот стола производится ручкой 1, отсчет угловых координат производится по основной шкале 2 (цена деления  $2^\circ$ ) и нониусу 3 (цена деления  $0,5^\circ$ ). Рычаг 4 поворачивают до совпадения его вертикальной риски с одним из делений основной шкалы и снимают отсчет по основной шкале. К полученному значению прибавляют отсчет по нониусу. Углы поворота определяются как разности угловых координат.

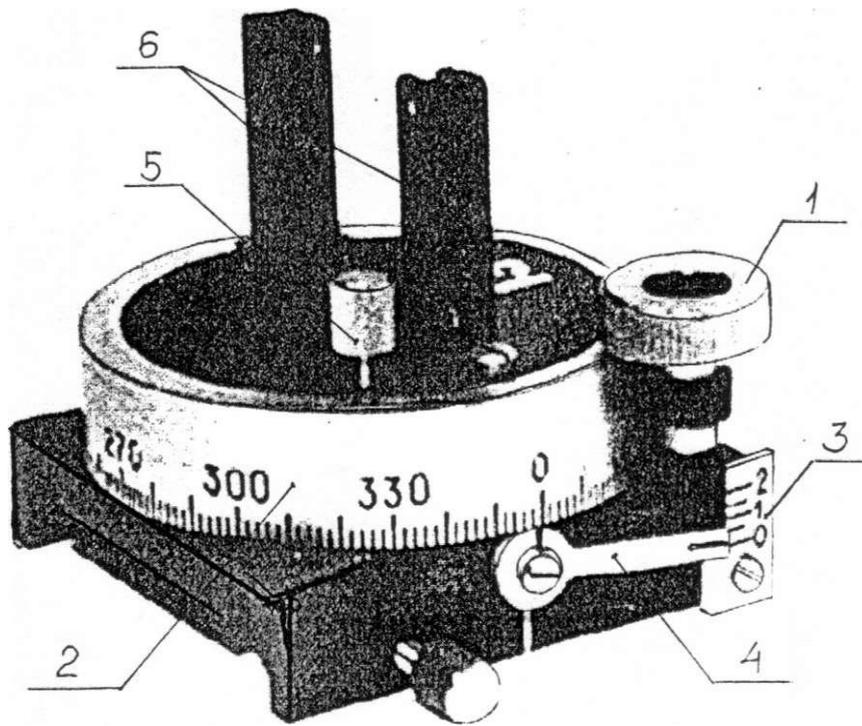


Рис. 10. Стол поворотный

В комплексе ЛКО-4 установлен регулируемый стабилизированный источник тока для лазерного излучателя (поз.4 на рис.1), к которому постоянно подключен лазерный излучатель. К разъему "ПИТ" источника тока подключают выносной блок питания.

Назначение контактов разъема блока питания лазера:

1. - свободный;
2. - общий;
3. - питание +12 В;
4. - питание лазера (регулируемый ток 20-60 мА);
5. - свободный.

Ручкой "ТОК" регулируют ток лазера в пределах 20 - 60 мА. Для измерения тока измеряют выведенное на гнезда "U/R" напряжение U на резисторе R =100 Ом, включенном последовательно с лазером.

Ток лазера  $I = U/R$

## 2. Теоретическое введение

### 2.1. Основные понятия и определения

Известно, что электромагнитные волны поперечны. Явление поляризации света типично для поперечных колебаний.

Плоская волна называется линейно поляризованной или плоско поляризованной, если электрический вектор  $\vec{E}$  все время лежит в одной плоскости, в которой расположен вектор скорости распространения волны  $\vec{v}$  (рис. 11).

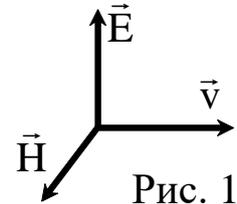


Рис. 11

Плоскость колебаний – плоскость, в которой колеблется световой вектор  $\vec{E}$  в поляризованной волне.

Обычно естественные источники излучения дают неполяризованный свет.

Естественным (неполяризованным) называется свет, в котором в каждый момент времени векторы  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$ ,  $\vec{v}$ , хотя и остаются взаимно перпендикулярными, но направления векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  беспорядочно изменяются с течением времени, таким образом, естественный свет обладает (статистически) осевой симметрией относительно направления его распространения.

Для линейно поляризованного света такой симметрии нет (асимметрия), его свойства в различных плоскостях, проходящих через направление скорости волны  $\vec{v}$ , различны.

Осевая асимметрия сохраняется и для частично поляризованного света. Это свет, в котором колебания  $\vec{E}$  одного направления преобладают над колебаниями других направлений. Его можно рассматривать как смесь естественного и плоско поляризованного света.

Рассмотрим два взаимно перпендикулярных электрических колебания, совершающихся вдоль осей X и Y и отличающихся по фазе на  $\delta$ :

$$E_x = E_{0x} \cos \omega t, \quad E_y = E_{0y} \cos (\omega t + \delta).$$

Результирующая напряженность  $\vec{E}$  является векторной суммой напряженностей  $E_x \vec{e}_x$  и  $E_y \vec{e}_y$  (см. рис. 12),  $\vec{e}_x$ ,  $\vec{e}_y$  – единичные векторы вдоль координатных

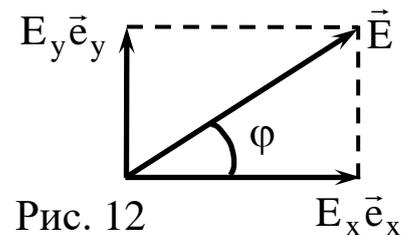


Рис. 12

осей X и Y. Угол  $\varphi$  между направлениями векторов  $\vec{E}$  и  $E_x \vec{e}_x$  определяется выражением

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{E_y}{E_x} = \frac{E_{0y} \cos(\omega t + \delta)}{E_{0x} \cos \omega t}.$$

Если разность фаз  $\delta$  претерпевает случайные хаотические изменения, то и угол  $\varphi$ , то есть направление светового вектора  $\vec{E}$ , будет испытывать скачкообразные неупорядоченные изменения. В соответствии с этим естественный свет можно представить как наложение двух некогерентных электромагнитных волн, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях и имеющих одинаковую интенсивность.

Если световые волны когерентны и  $\delta$  равно нулю или  $\pi$ , тогда

$$\operatorname{tg} \varphi = \pm \frac{E_{0y}}{E_{0x}} = \operatorname{const}.$$

Следовательно, результирующее колебание совершается в фиксированном направлении – волна оказывается плоско поляризованной.

В случае, когда  $E_{0x} = E_{0y}$  и  $\delta = \pm \pi/2$ ,

$$\operatorname{tg} \varphi = \mp \operatorname{tg}(\omega t),$$

( $\cos(\omega t \pm \pi/2) = \mp \sin \omega t$ ). Отсюда вытекает, что плоскость колебаний поворачивается вокруг направления луча с угловой скоростью, равной частоте колебания  $\omega$ . Свет в этом случае будет поляризованным по кругу.

Если  $\delta$  – произвольное постоянное значение, то это случай

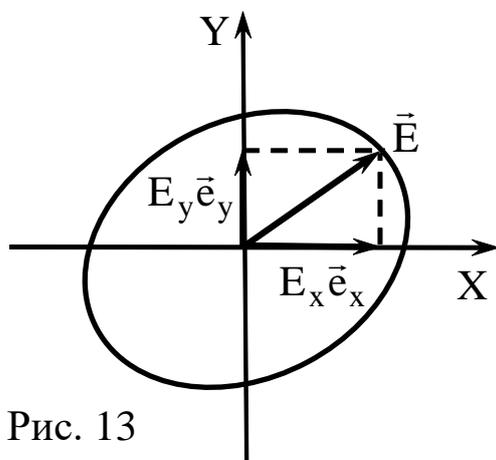


Рис. 13

сложения двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний одинаковой частоты  $\omega$ , что в результате даст движение конца светового вектора  $\vec{E}$  по эллипсу (см. рис. 13). В этом случае получим эллиптически поляризованную световую волну (в частности, может получиться движение по прямой ( $\delta = 0; \pi; \dots$ ) или по окружности ( $\delta = \pm \pi/2$ )).

Линейно поляризованный свет легко получить, пропустив свет через пластинку (например, турмалина), вырезанную параллельно

оптической (кристаллографической) оси. В таких пластинках свет сильно поглощает лучи, в которых электрический вектор  $\vec{E}$  перпендикулярен к оптической оси. Если же электрический вектор параллелен оси, то такие лучи проходят через пластинку почти без поглощения.

Для выделения линейно поляризованного света на практике используют поляроиды. Наиболее распространенным материалом для приготовления поляроидов является герпатит, представляющий собой соединение йода с хинином. Этот материал вводят в целлулоидную или желатиновую пленку. В ней ультрамикроскопические кристаллики герпатита каким-либо способом (обычно механическим) ориентируются. Пленка действует как один кристалл и поглощает световые колебания, электрический вектор которых перпендикулярен к оптической оси.

Всякий прибор, служащий для получения поляризованного света, называется поляризатором. Тот же прибор, применяемый для исследования поляризованного света, называется анализатором.

Плоскость пропускания поляризатора (разрешенное направление) – плоскость, в которой поляризатор свободно пропускает колебания светового вектора  $\vec{E}$ , параллельные этой плоскости и полностью задерживает колебания, перпендикулярные к этой плоскости.

## 2.2. Коэффициенты Френеля. Закон Брюстера

Формальная теория отражения и преломления света строится на основе граничных условий, которым удовлетворяют векторы электромагнитного поля на границе раздела двух сред. Она определяет величины, характеризующие отраженную и преломленную волны, но ничего не говорит о механизме возникновения этих волн.

Исходя из следствий уравнений Максвелла, которые позволяют рассчитать изменение характеристик электромагнитного поля при переходе из первой среды 1 во вторую 2, установлено, что на границе раздела должны быть непрерывны тангенциальные составляющие векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  и нормальные составляющие векторов  $\vec{D}$  и  $\vec{B}$ :

$$\begin{aligned} E_{\tau}^1 &= E_{\tau}^2, & D_n^1 &= D_n^2, \\ H_{\tau}^1 &= H_{\tau}^2, & B_n^1 &= B_n^2. \end{aligned} \quad (1) \quad (2)$$

При падении на границу раздела двух сред плоской монохроматической волны  $\vec{E}_{\text{пад}} = \vec{E}_{\text{макс}}^{\text{пад}} e^{i(\omega t - \vec{k}_1 \vec{r})}$  частоты  $\omega$  и амплитуды  $\vec{E}_{\text{макс}}^{\text{пад}}$  из соображений симметрии отраженная  $\vec{E}_{\text{отр}}$  и прошедшая  $\vec{E}_{\text{прош}}$  волны будут также плоскими и той же частоты  $\omega$ :

$$\begin{aligned} \vec{E}_{\text{отр}} &= \vec{E}_{\text{макс}}^{\text{отр}} e^{i(\omega t - \vec{k}'_1 \vec{r})}, \\ \vec{E}_{\text{прош}} &= \vec{E}_{\text{макс}}^{\text{прош}} e^{i(\omega t - \vec{k}_2 \vec{r})}. \end{aligned}$$

Разложим электрическое поле каждой из волн на две составляющие. Одна из них лежит в плоскости падения, другая перпендикулярна к этой плоскости. Часто эти составляющие называют главными составляющими соответствующих волн. Они обозначаются значками  $\parallel$  и  $\perp$  соответственно. Примем границу раздела сред за координатную плоскость  $XY$ . За ось  $X$  возьмем линию пересечения плоскости раздела сред с плоскостью падения. Ось  $Z$  направим вниз в сторону второй среды. Тогда ось  $Y$  окажется перпендикулярной к плоскости падения и будет лежать в плоскости раздела сред. Пусть  $\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z$  – единичные векторы вдоль координатных осей, а  $\vec{e}_1, \vec{e}'_1, \vec{e}_2$  – единичные векторы, лежащие в плоскости падения и перпендикулярные соответственно к падающему, отраженному и преломленному лучам (см.рис.14). Тогда

$$\vec{e}_1 = \frac{[\vec{e}_y \vec{k}_1]}{k_1},$$

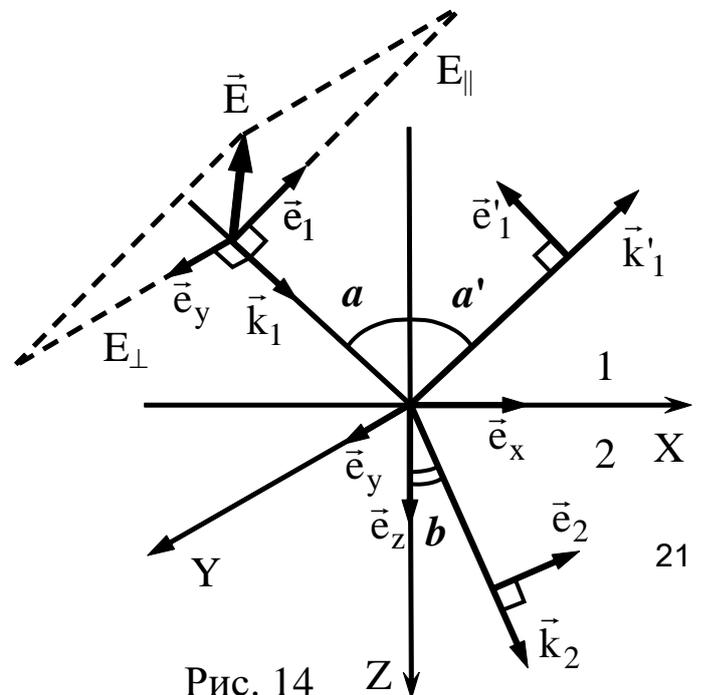


Рис. 14

$$\vec{e}'_1 = \frac{[\vec{e}_y \vec{k}'_1]}{k'_1},$$

$$\vec{e}_2 = \frac{[\vec{e}_y \vec{k}_2]}{k_2}. \quad (3)$$

Введем разложения

$$\vec{E}_{\max}^{\text{пад}} = E_{\perp}^{\text{пад}} \vec{e}_y + E_{\parallel}^{\text{пад}} \vec{e}'_1,$$

$$\vec{E}_{\max}^{\text{отр}} = E_{\perp}^{\text{отр}} \vec{e}_y + E_{\parallel}^{\text{отр}} \vec{e}'_1, \quad (4)$$

$$\vec{E}_{\max}^{\text{прош}} = E_{\perp}^{\text{прош}} \vec{e}_y + E_{\parallel}^{\text{прош}} \vec{e}_2.$$

Найдем проекции вектора  $\vec{e}'_1$  на оси X и Z с учетом формул (3)

$$e_{1x} = (\vec{e}'_1 \vec{e}_x) = \frac{1}{k_1} (\vec{e}_x [\vec{e}_y \vec{k}'_1]) = \frac{1}{k_1} ([\vec{e}_x \vec{e}_y] \vec{k}'_1) = \frac{1}{k_1} (\vec{e}_z \vec{k}'_1) = \cos \alpha,$$

$$e_{1z} = (\vec{e}'_1 \vec{e}_z) = \frac{1}{k_1} (\vec{e}_z [\vec{e}_y \vec{k}'_1]) = \frac{1}{k_1} ([\vec{e}_z \vec{e}_y] \vec{k}'_1) = \frac{1}{k_1} (-\vec{e}_x \vec{k}'_1) = -\sin \alpha. \quad (5)$$

Тогда первая из формулы (4) примет вид

$$\vec{E}_{\max}^{\text{пад}} = E_{\perp}^{\text{пад}} \vec{e}_y + E_{\parallel}^{\text{пад}} e_{1x} \vec{e}_x + E_{\parallel}^{\text{пад}} e_{1z} \vec{e}_z = E_y^{\text{пад}} \vec{e}_y + E_x^{\text{пад}} \vec{e}_x + E_z^{\text{пад}} \vec{e}_z,$$

отсюда находим проекции вектора  $\vec{E}_{\max}^{\text{пад}}$  на оси X, Y, Z:

$$E_x^{\text{пад}} = E_{\parallel}^{\text{пад}} e_{1x} = E_{\parallel}^{\text{пад}} \cos \alpha,$$

$$E_y^{\text{пад}} = E_{\perp}^{\text{пад}}, \quad (6)$$

$$E_z^{\text{пад}} = E_{\parallel}^{\text{пад}} e_{1z} = -E_{\parallel}^{\text{пад}} \sin \alpha.$$

Индукция магнитного поля в плоской монохроматической электромагнитной волне, исходя из уравнений Максвелла, определяется по формуле

$$\vec{B} = \frac{c}{v} \left[ \frac{\vec{k}}{k} \vec{E} \right], \quad (7)$$

где по определению  $n = \frac{c}{v}$  – показатель преломления среды,  $\frac{\vec{k}}{k}$  – вектор нормали к волновому фронту. Магнитные свойства среды учитывать не будем, считая, что  $\vec{H} \equiv \vec{B}$ . Принимая во внимание формулы (7), (4), (3) и (5) для напряженности магнитного поля получим:

$$\begin{aligned}
\vec{H}_{\text{пад}} &= \frac{c}{v} \left[ \frac{\vec{k}}{k} (E_{\perp}^{\text{пад}} \vec{e}_y + E_{\parallel}^{\text{пад}} \vec{e}_1) \right] = \frac{c}{v} \left( E_{\perp}^{\text{пад}} \frac{[\vec{k} \vec{e}_y]}{k} + E_{\parallel}^{\text{пад}} \frac{[\vec{k} \vec{e}_1]}{k} \right) = \\
&= n_1 (E_{\perp}^{\text{пад}} (-\vec{e}_1) + E_{\parallel}^{\text{пад}} \vec{e}_y) = n_1 (-E_{\perp}^{\text{пад}} \vec{e}_1 + E_{\parallel}^{\text{пад}} \vec{e}_y) = \\
&= n_1 (-E_{\perp}^{\text{пад}} e_{1x} \vec{e}_x + E_{\parallel}^{\text{пад}} \vec{e}_y - E_{\perp}^{\text{пад}} e_{1z} \vec{e}_z) = H_x^{\text{пад}} \vec{e}_x + H_y^{\text{пад}} \vec{e}_y + H_z^{\text{пад}} \vec{e}_z
\end{aligned}$$

Отсюда  $H_x^{\text{пад}} = -n_1 E_{\perp}^{\text{пад}} e_{1x} = -n_1 E_{\perp}^{\text{пад}} \cos \alpha$

$$H_y^{\text{пад}} = n_1 E_{\parallel}^{\text{пад}}, \quad (8)$$

$$H_z^{\text{пад}} = -n_1 E_{\perp}^{\text{пад}} e_{1z} = n_1 E_{\perp}^{\text{пад}} \sin \alpha.$$

Аналогично находим проекции для отраженной волны

$$\begin{aligned}
E_x^{\text{отр}} &= -E_{\parallel}^{\text{отр}} \cos \alpha, & H_x^{\text{отр}} &= n_1 E_{\perp}^{\text{отр}} \cos \alpha, \\
E_y^{\text{отр}} &= E_{\perp}^{\text{отр}}, & H_y^{\text{отр}} &= n_1 E_{\parallel}^{\text{отр}}, \\
E_z^{\text{отр}} &= -E_{\parallel}^{\text{отр}} \sin \alpha, & H_z^{\text{отр}} &= n_1 E_{\perp}^{\text{отр}} \sin \alpha.
\end{aligned} \quad (9)$$

Для прошедшей волны:

$$\begin{aligned}
E_x^{\text{прош}} &= E_{\parallel}^{\text{прош}} \cos \beta, & H_x^{\text{прош}} &= -n_2 E_{\perp}^{\text{прош}} \cos \beta, \\
E_y^{\text{прош}} &= E_{\perp}^{\text{прош}}, & H_y^{\text{прош}} &= n_2 E_{\parallel}^{\text{прош}}, \\
E_z^{\text{прош}} &= -E_{\parallel}^{\text{прош}} \sin \beta, & H_z^{\text{прош}} &= n_2 E_{\perp}^{\text{прош}} \sin \beta.
\end{aligned} \quad (10)$$

Проекции соответствующих векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  на оси X и Y есть тангенциальные составляющие по отношению к границе раздела сред, тогда, используя их непрерывность на границе (1), получим четыре независимых граничных условия:

$$\begin{aligned}
E_x^{\text{пад}} + E_x^{\text{отр}} &= E_x^{\text{прош}}, & H_x^{\text{пад}} + H_x^{\text{отр}} &= H_x^{\text{прош}} \\
E_y^{\text{пад}} + E_y^{\text{отр}} &= E_y^{\text{прош}}, & H_y^{\text{пад}} + H_y^{\text{отр}} &= H_y^{\text{прош}}
\end{aligned} \quad (11)$$

Подставляя в них найденные выше значения, получим

$$\begin{aligned}
\cos \alpha (E_{\parallel}^{\text{пад}} - E_{\parallel}^{\text{отр}}) &= \cos \beta E_{\parallel}^{\text{прош}}, \\
n_1 \cos \alpha (E_{\perp}^{\text{пад}} - E_{\perp}^{\text{отр}}) &= n_2 \cos \beta E_{\perp}^{\text{прош}}, \\
E_{\perp}^{\text{пад}} + E_{\perp}^{\text{отр}} &= E_{\perp}^{\text{прош}}, & n_1 (E_{\parallel}^{\text{пад}} + E_{\parallel}^{\text{отр}}) &= n_2 E_{\parallel}^{\text{прош}}.
\end{aligned} \quad (12)$$

Для коэффициентов отражения  $r_{\parallel} \equiv \frac{E_{\parallel}^{\text{отр}}}{E_{\parallel}^{\text{пад}}}$ ,  $r_{\perp} \equiv \frac{E_{\perp}^{\text{отр}}}{E_{\perp}^{\text{пад}}}$  и прелом-

ления  $d_{\parallel} \equiv \frac{E_{\parallel}^{\text{прош}}}{E_{\parallel}^{\text{пад}}}$ ,  $d_{\perp} \equiv \frac{E_{\perp}^{\text{прош}}}{E_{\perp}^{\text{пад}}}$  получим выражения:

$$\begin{aligned} r_{\perp} &\equiv \frac{E_{\perp}^{\text{отр}}}{E_{\perp}^{\text{пад}}} = \frac{n_1 \cos \alpha - n_2 \cos \beta}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta}, & d_{\perp} &\equiv \frac{E_{\perp}^{\text{прош}}}{E_{\perp}^{\text{пад}}} = \frac{2n_1 \cos \alpha}{n_1 \cos \alpha + n_2 \cos \beta}, \\ r_{\parallel} &\equiv \frac{E_{\parallel}^{\text{отр}}}{E_{\parallel}^{\text{пад}}} = \frac{n_2 \cos \alpha - n_1 \cos \beta}{n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta}, & d_{\parallel} &\equiv \frac{E_{\parallel}^{\text{прош}}}{E_{\parallel}^{\text{пад}}} = \frac{2n_1 \cos \alpha}{n_2 \cos \alpha + n_1 \cos \beta}. \end{aligned} \quad (13)$$

Используя отношение - закон преломления света ( $\alpha$  и  $\beta$  углы падения преломления соответственно):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} \quad (14)$$

формулы (13) можно привести к виду

$$\begin{aligned} r_{\perp} &\equiv \frac{E_{\perp}^{\text{отр}}}{E_{\perp}^{\text{пад}}} = -\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}, & d_{\perp} &\equiv \frac{E_{\perp}^{\text{прош}}}{E_{\perp}^{\text{пад}}} = \frac{2 \cos \alpha \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \\ r_{\parallel} &\equiv \frac{E_{\parallel}^{\text{отр}}}{E_{\parallel}^{\text{пад}}} = \frac{\text{tg}(\alpha - \beta)}{\text{tg}(\alpha + \beta)}, & d_{\parallel} &\equiv \frac{E_{\parallel}^{\text{прош}}}{E_{\parallel}^{\text{пад}}} = \frac{2 \cos \alpha \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta) \cos(\alpha - \beta)}. \end{aligned} \quad (15)$$

Эти соотношения (15) носят название формул расчета коэффициентов Френеля.

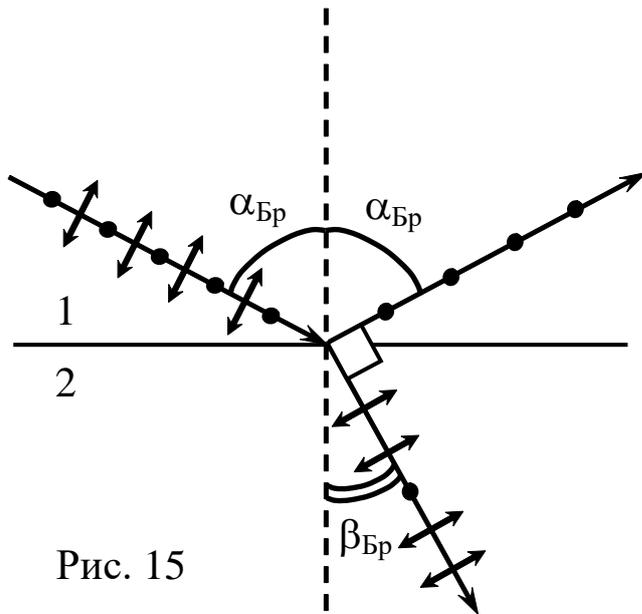


Рис. 15

Как видно из (13) и (15), отношение  $r_{\perp} \equiv \frac{E_{\perp}^{\text{отр}}}{E_{\perp}^{\text{пад}}}$  никогда не обращается в нуль, за исключением тривиального случая  $n_1 = n_2$ . Напротив, для отношения  $r_{\parallel} \equiv \frac{E_{\parallel}^{\text{отр}}}{E_{\parallel}^{\text{пад}}}$  при  $\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}$  знаменатель  $\text{tg}(\alpha + \beta)$  обращается в бесконечность, то есть  $r_{\parallel} = 0$  и со-

ставляющая  $E_{\parallel}^{\text{отр}}$  в отраженной волне отсутствует. Таким образом, если электрический вектор падающей волны лежит в плоскости падения, то при некотором угле падения  $\alpha = \alpha_{\text{Бр}}$  отраженный свет исчезает. Это закон Брюстера (1781–1868), открытый экспериментально в 1815 году. Соответствующий угол падения  $\alpha_{\text{Бр}}$  называется углом Брюстера.

Для его вычисления заметим, что при  $\alpha_{\text{Бр}} + \beta_{\text{Бр}} = \pi/2$  направления прошедшего и отраженного лучей взаимно перпендикулярны (см. рис. 15). Следовательно,  $\sin \beta_{\text{Бр}} = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_{\text{Бр}}\right) = \cos \alpha_{\text{Бр}}$ .

Из соотношения (14) следует:

$$\frac{\sin \alpha_{\text{Бр}}}{\sin \beta_{\text{Бр}}} = \frac{\sin \alpha_{\text{Бр}}}{\cos \alpha_{\text{Бр}}} = \text{tg} \alpha_{\text{Бр}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где  $n_{21}$  – относительный показатель преломления, то есть

$$\text{tg} \alpha_{\text{Бр}} = n_{21}. \quad (16)$$

Если неполяризованный свет падает под углом Брюстера, то составляющая с электрическим вектором  $E_{\parallel}^{\text{отр}}$  отражаться не будет. Отраженный свет окажется линейно поляризованным и при этом перпендикулярно к плоскости падения.

### 2.3. Закон Малюса

Пусть два поляризатора поставлены друг за другом, так что их плоскости пропускания образуют между собой некоторый угол (см. рис. 16). Второй поляризатор может вращаться вокруг оси, параллельной его плоскости пропускания, и служит анализатором. Первый поляризатор пропустит свет, электрический вектор  $\vec{E}_0$  которого параллелен его плоскости пропускания  $OA_1$ . Обозначим через

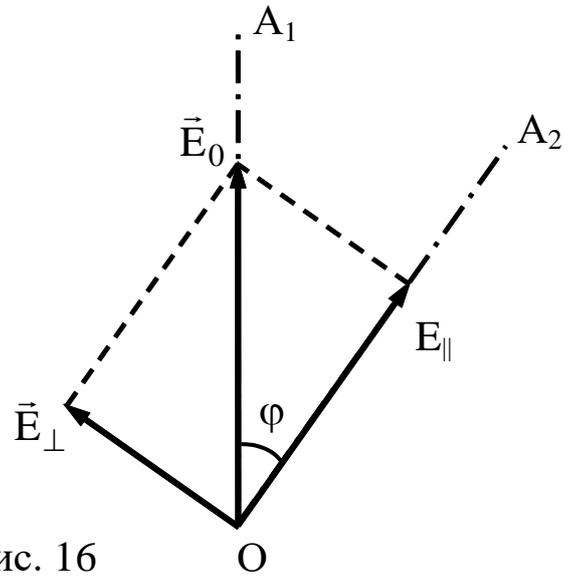


Рис. 16

$I_0$  интенсивность этого света ( $I_0 \sim E_0^2$ ). Разложим  $\vec{E}_0$  на вектор  $\vec{E}_{\parallel}$ , параллельный плоскости  $OA_2$  второго поляризатора, и вектор  $\vec{E}_{\perp}$ , перпендикулярный к ней ( $\vec{E}_0 = \vec{E}_{\parallel} + \vec{E}_{\perp}$ ). Составляющая  $\vec{E}_{\perp}$  будет задержана вторым поляризатором. Через оба поляризатора пройдет свет с электрическим вектором  $\vec{E} = \vec{E}_{\parallel}$ , длина которого  $E = E_{\parallel} = E_0 \cos \varphi$ . Интенсивность света ( $I \sim E^2$ ), прошедшего через оба поляризатора, будет

$$I = I_0 \cos^2 \varphi, \quad (17)$$

где  $\varphi$  – двугранный угол между плоскостями пропускания поляризаторов.

Такое соотношение (17) справедливо для любого поляризатора и анализатора. Оно называется законом Малюса (1775 – 1812).

Максимальная интенсивность в (17), равная  $I_0$ , получается при  $\varphi = 0$  (плоскости пропускания поляризаторов параллельны).

При  $\varphi = \pi/2$  интенсивность равна нулю – скрещенные поляризаторы света не пропускают.

Если на пути естественного света поставить два поляризатора, плоскости пропускания которых образуют угол  $\varphi$ , то из первого поляризатора выйдет плоскополяризованный свет, интенсивность которого  $I_0$  составит половину интенсивности естественного света

$I_{\text{ест}}$ . Согласно закону Малюса из второго поляризатора выйдет свет интенсивности  $I_0 \cos^2 \varphi$ . Таким образом, интенсивность света, прошедшего через два поляризатора, равна

$$I = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} \cos^2 \varphi.$$

### 3. Описания лабораторных работ

#### 3.1. Лабораторная работа 1

Тема. Измерение показателя преломления пластины по углу Брюстера.

Цель: измерение угла Брюстера, определение показателя преломления материалов.

##### 3.1.1. Поляризация излучения источника света

Включите лазер. Вращая поляризатор, следите за интенсивностью прошедшего через него излучения. На оправе поляризатора нанесены две белые метки, показывающие ориентацию плоскости поляризатора, т.е. плоскости колебаний вектора напряженности электрического поля в волне, прошедшей через поляризатор. Используя метки, определите наличие поляризации и плоскость колебаний в излучении лазера. При использовании лазера с поляризованным излучением изготовитель устанавливает плоскость колебаний под углом  $45^\circ$  к горизонту.

##### 3.1.2. Угол Брюстера

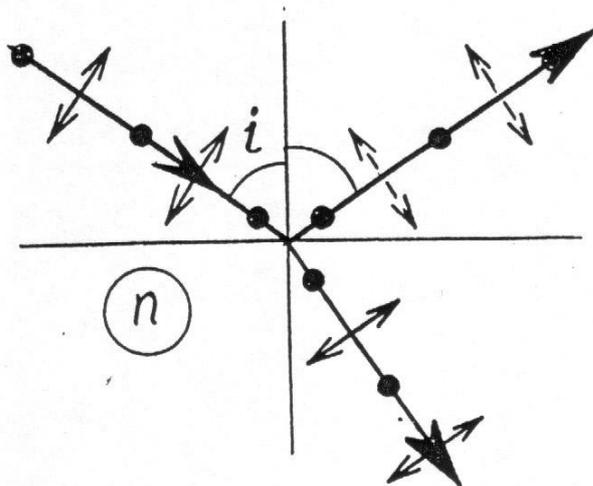


Рис.17

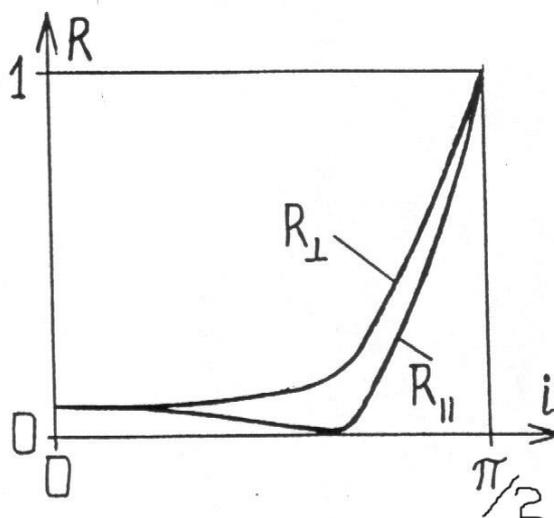


Рис.18

При наклонном падении света на поверхность диэлектрика коэффициент отражения  $R$  волн с поляризацией в плоскости падения отличается от коэффициента отражения  $R$  волн с поляризацией, перпендикулярной плоскости падения. На рис.17 условно обозначены: стрелками - колебания вектора  $E$  в плоскости

падения, точками - перпендикулярно плоскости падения. На рис.18 приведены графики зависимостей коэффициентов отражения от угла падения. Существует угол падения, называемый углом Брюстера  $i_{\text{Бр}}$ , при котором  $R = 0$ , т.е. волна с поляризацией в плоскости падения вообще не отражается. Это случается, когда отраженный и преломленный лучи ортогональны. Рассматривая отраженную волну как результат излучения дипольных моментов диэлектрика, колеблющихся под действием электрического поля прошедшей (преломленной) волны и учитывая, что в направлении своих колебаний диполи не излучают, мы можем объяснить отсутствие отраженной волны, показанной на рис.17 пунктиром. Теперь законы геометрической оптики дают

$$\operatorname{tg} i_{\text{Бр}} = n,$$

где  $n$  - показатель преломления диэлектрика.

### 3.1.3. Измерение угла Брюстера

Разместите в пучке излучения стеклянную пластинку (объект 4), установленную на поворотном столе. Поворачивая стол, наблюдайте за поведением интенсивности отраженного от пластинки пучка. Если не наблюдается выраженного минимума коэффициента отражения, создайте с помощью поляризатора такую поляризацию излучения, чтобы в падающем на пластинку излучении вектор  $E$  колебался в плоскости падения (в нашем случае это горизонтальная плоскость). Зафиксируйте положение стола, отвечающее минимуму отражения, подстройте поляризацию падающего света и еще раз уточните положение минимума. Снимите соответствующий отсчет  $\varphi_1$  по шкале столика. Определите положение  $\varphi_0$  нормали к пластинке (пустите отраженный луч навстречу падающему). Найдите угол Брюстера  $\varphi_{\text{Бр}} = \varphi_1 - \varphi_0$ . Определите показатель преломления пластины.

Определите указанным способом показатели преломления материалов, из которых сделаны оптические элементы других объектов. Измерения с одним образцом проводите не менее 3-х раз. Определите погрешность полученных данных. При проведении эксперимента заполните таблицу.

Объект	$\varphi_0, ^\circ$	$\varphi_1, ^\circ$	$\varphi_{\text{Бр}}, ^\circ$	$n = \text{tg } \varphi_{\text{Бр}}$
№: 4 Пластина стеклянная				
№: 6 Пластина пластмассовая				
№: 8 Призма стеклянная				
№:39 Слюда (минимум нерезкий)				

### Контрольные вопросы

1. Изложите устройство и принцип действия интерферометра Маха-Цендера.

2. Какой свет называют естественным? Поляризованным? Что такое поляризатор?

3. Как происходит поляризация света на границе двух диэлектриков? Что такое угол Брюстера?

4. Изложите законы геометрической оптики.

5. Что такое абсолютный показатель преломления? Относительный показатель преломления?

### Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. : Учеб. пособие для вузов /И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2002.-336 с.: ил.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
3. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2006. – 336 л.

## 3.2. Лабораторная работа 2

Тема. Измерение преломляющих углов и показателя преломления призмы методами геометрической оптики и по углу Брюстера.

Цель: измерение преломляющих углов, определение показателя преломления.

При прохождении светового пучка через призму (рис.19) существует угол падения, при котором отклонение пучка от начального направления минимально. При этом лучи падающего и прошедшего пучков симметричны относительно преломляющих граней призмы. Угол минимального отклонения  $\alpha$  связан с преломляющим углом призмы соотношением

$$\sin[(\alpha+\theta)/2] = n \sin(\theta/2), \quad (18)$$

при этом угол падения определяется законом преломления:

$$\sin i_1 = n \sin \theta/2. \quad (19)$$

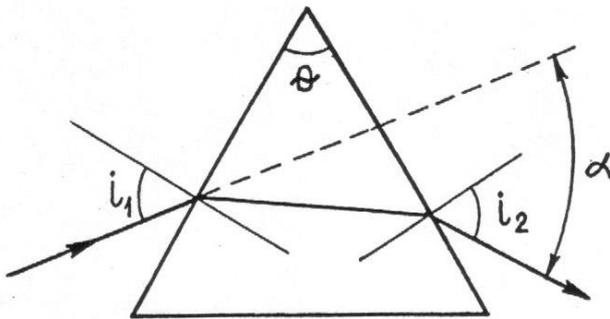


Рис. 19

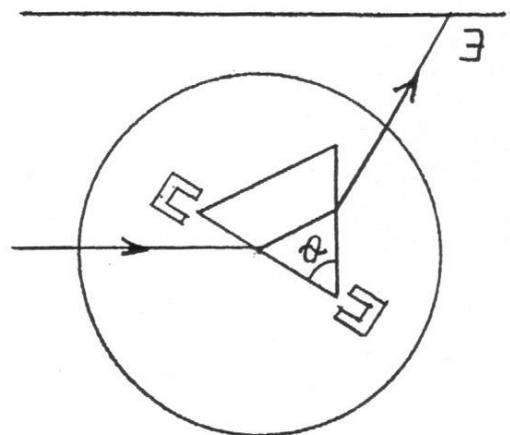


Рис. 20

### 3.2.1. Порядок наблюдения

Установите в поворотном столике призму (объект 8) как показано на рис.20 (вид сверху). Поворачивая стол, наблюдайте на экране установки движение пучков, отраженных от граней призмы, и преломленных в ней.

### 3.2.2. Измерение преломляющих углов

Поворачивая стол, направьте отраженный от грани луч навстречу падающему, совместив следы соответствующих пучков

на стекле поляризатора. При этом фиксируется положение нормали к грани призмы. Снимите соответствующий отсчет  $\varphi_{01}$  по шкале стола. Снимите такие отсчеты для остальных граней призмы. Определите по этим данным преломляющие углы призмы (метод расчета придумайте сами).

### 3.2.3. Определение показателя преломления

Определив положение нормали к одной из граней призмы, поворачивайте стол до тех пор, пока не получите минимальное отклонение преломленного луча. Снимите соответствующую угловую координату  $\varphi_1$  стола и определите угол падения  $i_1 = \varphi_1 - \varphi_{01}$ . Из (19) найдите показатель преломления. Сравните показатели преломления различных сортов стекла.

Измерения с одним образцом проводите не менее 3-х раз. Определите погрешность полученных данных.

Проведите измерение показателя преломления по углу Брюстера по методике, описанной в лабораторной работе 1. Сравните полученные результаты.

### Контрольные вопросы

1. Как происходит преломление света в призме?
2. Как определить величину преломляющего угла призмы?
3. Как рассчитать значение показателя преломления призмы?
4. Как изменяется величина показателя преломления призмы в зависимости от длины волны света?
5. Дайте определение нормальной и аномальной дисперсии света.

### Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. : Учеб. пособие для втузов /И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2002.-336 с.: ил.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
3. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2006. – 336 л.

### 3.3. Лабораторная работа 3

Тема. Определение толщины пластины интерферометрическим методом в отраженном свете (полосы равного наклона).

Цель: определение показателей преломления.

#### 3.3.1. Отражение плоской волны от пластины

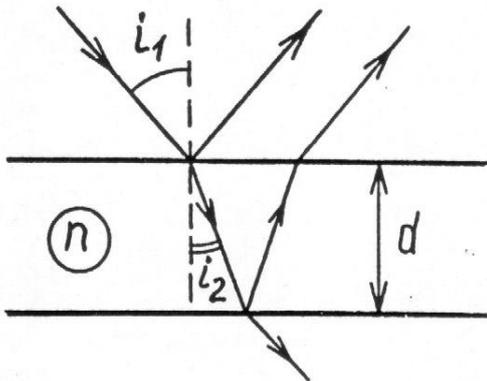


Рис. 21

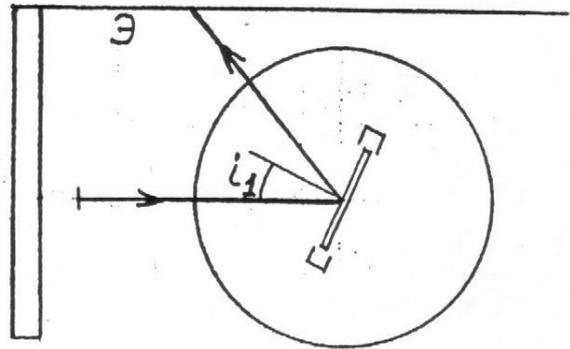


Рис. 22

При падении плоской волны на пластину происходит отражение от двух ее поверхностей, причем волны, отраженные от верхней и нижней граней, имеют разность хода (рис.21)

$$\Delta = 2dnc\cos i_2 = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} \quad (20)$$

где  $i_1$  - угол падения волны на пластину,  $n$  - показатель преломления. При сложении отраженных волн наблюдается интерференция, при этом интенсивность результирующей отраженной волны зависит от угла падения.

При малых  $i_1$  (практически при  $i < \pi/6$ )

$$\Delta \approx 2dn \left( 1 - \frac{\sin^2 i_1}{2n^2} \right) = 2dn - \frac{d}{n} \sin^2 i_1,$$

и порядок интерференции  $m$  линейно зависит от  $\sin^2 i_1$ :

$$m = \frac{\Delta}{\lambda} = \text{const} - \frac{d}{n\lambda_0} \sin^2 i_1 \quad (21)$$

Построив график зависимости номера  $m$  интерференционной полосы от  $(\sin i)^2$  (причем нумерацию можно начать с любой по-

лосы), можно найти  $d/(n\lambda_0)$  как угловой коэффициент графика  $k=\Delta m/\Delta(\sin^2 i_1)$ .

### 3.3.2. Порядок проведения эксперимента

Установите в поворотном столике тонкую стеклянную пластину (объект 4) и осветите ее пучком излучения лазера (рис.22). Поворачивая стол, наблюдайте на съемном экране, а затем на стационарном экране отраженный от пластины пучок. Пронаблюдайте колебания интенсивности пучка при повороте пластины (в интерференционных минимумах пучок как бы пересекается темными полосами). Начиная отсчет с темной полосы, ближайшей к падающему пучку (пусть ее номер  $N=0$ ), определите угловые координаты стола через несколько полос (например, для  $N= 0, 5, 10$  и  $20$  полос при наблюдении на съемном экране с малыми значениями  $i$ , и  $N = 0, 20, 40, \dots, 100$  при наблюдении на стационарном экране). Определите положение нормали к пластине (т.е. координату стола, при которой отраженный от пластины пучок направлен навстречу падающему). Определите углы падения. Постройте нужный график. Определите показатель преломления пластины (толщина пластины  $d$  и длина волны  $\lambda_0$  приведены в описании комплекса). График постройте с помощью компьютера. При проведении эксперимента заполните таблицу.

N	0	5	10	20	30	50	70
$i_1$							
$\sin^2 i_1$							

Проделайте аналогичный опыт с объектом 39 (пластина слюды). Интерференционные полосы могут оказаться более четкими, если подобрать ориентацию поляризатора. По известному показателю преломления слюды ( $n = 1,59$ ) определите толщину пластины.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое интерференция?
2. Определите величину разности хода?
3. Условия наблюдения интерференционных максимумов и ми-

нимумов?

4. Полосы равного наклона?

5. Поясните суть интерферометрического метода в отраженном свете?

### Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. : Учеб. пособие для втузов /И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2002.-336 с.: ил.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
3. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2006. – 336 л.

### 3.4. Лабораторная работа 4

Тема. Интерференция и когерентность

Цель: наблюдение явления интерференции, оценка длины когерентности

#### 3.4.1. Наблюдение явления интерференции

Перекрывая поочередно верхний и нижний пучки света, распространяющиеся внутри интерферометра, наблюдаем собственно явление интерференции: в следе каждого отдельного пучка на экране интенсивность меняется плавно, а при наложении пучков область их перекрытия изрезана полосами, т.е. интенсивности излучения не складываются.

#### 3.4.2. Когерентность лазерного излучения

Пространственная когерентность. Винтами зеркала А сместите следы пучков света на экране так, чтобы они не перекрывались. Возвращая пучки обратно, обратите внимание на то, что интерференционная картина возникает сразу же, как только пучки "зацепятся" друг за друга, т.е. при наложении любых двух частей исходного пучка. Это означает, что излучение когерентно по всему сечению пучка. Таково излучение при одномодовом режиме излучения лазера.

Временная когерентность определяет возможность наблюдения высоких порядков интерференции. Поместите на столике интерферометра толстую пластину (объект б). Определите вносимую разность хода  $\Delta = d(n - 1)$  и порядки наблюдаемых полос интерференции. Оцените длину когерентности излучения  $l_{\text{ког}} = \lambda m_{\text{макс}} = \Delta_{\text{макс}}$  и степень монохроматичности  $\lambda / \Delta\lambda \sim m_{\text{макс}}$ .

#### Контрольные вопросы

1. Принцип работы интерферометра Маха-Цендера?
2. При каких условиях наблюдается интерференционная картина?
3. Что такое пространственная когерентность?
4. Что такое временная когерентность?
5. Что такое длина когерентности и степень монохроматичности?

## Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. : Учеб. пособие для вузов /И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2002.-336 с.: ил.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
3. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2006. – 336 л.

### 3.5. Лабораторная работа 5

Тема. Измерение малых деформаций

Цель: Определение модуля Юнга.

#### 3.5.1. Малые деформации

Если к середине опорной пластины интерферометра приложить вертикальную силу  $F$  (рис.23), то пластина прогнется, причем угол  $\theta$ , на который повернутся его концы, определяется силой  $F$ , расстоянием  $L$  между опорами, шириной  $b$  и толщиной  $a$  пластины, а также модулем Юнга  $E$  материала пластины:

$$\theta = \frac{3 FL^2}{4 Eba^3} \quad (22)$$

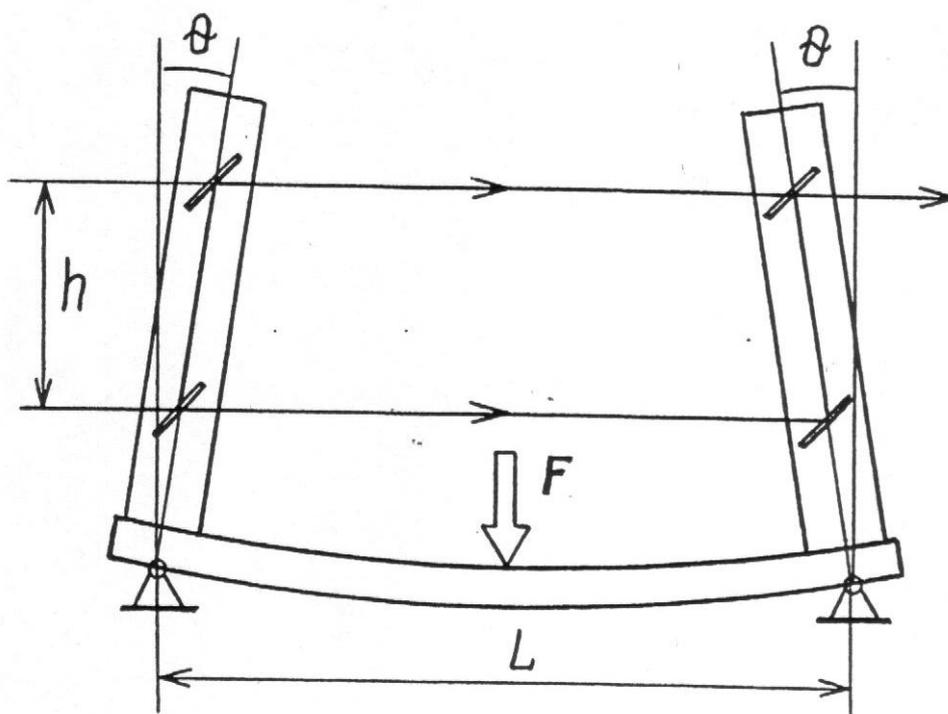


Рис. 23

Кронштейны с зеркалами повернутся на тот же угол, при этом расстояние между верхними зеркалами станет меньше расстояния между нижними на величину

$$\Delta = 2h\theta,$$

что приведет к смещению интерференционной картины на

$$m = \frac{\Delta}{\lambda} = \frac{3}{2} \frac{FL^2h}{Eba^3\lambda} \quad (23)$$

полос. Измерив  $m$ , можно определить деформацию пластины и модуль Юнга ее материала.

В установке  $h = 80$  мм,  $L = 250$  мм, материал пластины и ее поперечные размеры указаны в описании комплекса.

### 3.5.2. Порядок проведения эксперимента

Настройте интерферометр. Получите на экране 4-6 полос.

Установите в кронштейне поворотного столика рамку с полкой для гирь (рис.7). Убедитесь, что при легком нажатии на полку интерференционная картина смещается. Наклейте на основание установки свежий экран-наклейку и проведите на нем линию, перпендикулярную полосам. Вы получите координатную ось, по которой будете отмечать смещение полос. Отметьте положение крайних хорошо различимых полос. Расстояние между отметками, деленное на число полос, дает ширину полосы. Выберите одну из полос для регистрации смещения интерференционной картины и отметьте ее начальное положение. Аккуратно положите на полку гирю (50г) и отметьте новое положение полосы. Увеличивая нагрузку до 300г ступенями по 50г, отмечайте соответствующие положения полосы. Для каждой нагрузки определите смещение в единицах  $m$  (порядок интерференции), разделив смещение полосы на ширину полосы. Постройте график зависимости  $m(F)$ . Определите  $\theta$  при максимальной нагрузке. Найдите модуль Юнга  $E$ .

Порядок измерения лучше проводить следующим образом: сначала на полке размещают все гири, затем снимают их по одной. При этом легче предохранить интерференционную картину от случайных смещений при прикосновениях к интерферометру.

$F = mg, \Gamma$	300	250	200	150	100	50	0
$\delta x, \text{мм}$							
$m = \delta x / \Delta x$							

Определите  $\Delta F / \Delta m$  и  $E = (\Delta F / \Delta m) \frac{3}{2} \frac{L^2 h}{ba^3 \lambda}$

## Контрольные вопросы

1. Что такое интерференция?
2. Определите величину разности хода?
3. Условия наблюдения интерференционных максимумов и минимумов?
4. Что такое ширина интерференционной полосы?
5. Что такое модуль Юнга?

## Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. : Учеб. пособие для вузов /И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2002.-336 с.: ил.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
3. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2006. – 336 л.

### 3.6. Лабораторная работа 6

Тема. Измерение показателя преломления пластины интерферометрическим методом в проходящем свете.

Цель: определить показатель преломления.

#### 3.6.1. Интерферометрический метод

Установим на пути одного из пучков интерферометра стеклянную пластинку толщиной  $d$  (объект 4). Если пластинка перпендикулярна пучку, она вносит разность хода

$$\Delta_1 = d(n-1),$$

где  $n$  - показатель преломления. При угле падения  $i$  разность хода

$$\Delta_2 = d(\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \cos i) \quad (24)$$

Таким образом, при повороте пластины на угол  $i$  от положения, перпендикулярного пучку, возникает дополнительная разность хода .

$$\Delta = \Delta_2 - \Delta_1 = d(1 - \cos i - n + \sqrt{n^2 - \sin^2 i}), \quad (25)$$

и интерференционная картина смещается на  $m = \Delta/\lambda_0$  полос. При малых  $i$  (практически при  $i < 30^\circ$ ) выражение (25) можно упростить

$$\Delta = 2d \sin^2\left(\frac{i}{2}\right) \left(1 - \frac{\cos^2\left(\frac{i}{2}\right)}{n}\right) = m\lambda_0 \quad (26)$$

Измерив смещение картины в единицах ширины полосы, найдем показатель преломления:

$$n = \frac{\cos^2\left(\frac{i}{2}\right)}{1 - \frac{m\lambda_0}{2d \sin^2\left(\frac{i}{2}\right)}} \quad (27)$$

#### 3.6.2. Порядок проведения эксперимента

Настройте интерферометр. Вставьте в кронштейн поворотного столика пластинку (объект 4). Установите пластинку перпендикулярно к пучку (отраженный пучок должен пойти навстречу падающему) и зарегистрируйте соответствующую угловую координату.

нату стола, определив тем самым начало отсчета углов падения волн на поверхность пластины.

Отметьте на экране положение какой-либо полосы. Осторожно поворачивая стол, зафиксируйте углы, соответствующие смещению картины на 5, 10, 15, 20... полос. Определите показатель преломления пластины. Толщина пластины указана в описании комплекса. ( $d = 1,1$  мм) Определите погрешность полученных данных. При проведении эксперимента заполните таблицу.

m	0	5	10	15	20	25	
$\varphi$ , град							
$i$ , град							

#### Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип работы интерферометра Маха-Цендера?
2. Что такое интерференция?
3. Поясните суть интерферометрического метода в проходящем свете?
4. Условия наблюдения интерференционных максимумов и минимумов?

#### Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. : Учеб. пособие для втузов /И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2002.-336 с.: ил.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
3. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2006. – 336 л.

### 3.7. Лабораторная работа 7

Тема. Показатель преломления воздуха

Цель: определить зависимости показателя преломления от давления.

#### 3.7.1. Оптическая рефрактометрия

Поместим в один из пучков излучения в интерферометре кювету длиной  $l$  с газом. При изменении показателя преломления газа на  $\Delta n$  возникает дополнительная разность хода  $\Delta = l\Delta n$ , что приведет к смещению интерференционной картины на  $\Delta n = l \Delta n / \lambda_0$  полос. В качестве газа используем воздух, давление которого изменяем с помощью пневмоблока.

#### 3.7.2. Порядок проведения эксперимента

В кронштейнах поворотного столика интерферометра установите кювету (объект 43), соединенную с пневмоблоком. Создайте в кювете избыточное давление 250-300 мм ртутного столба. Аккуратно приоткрывая кран помпы пневмоблока, снижайте давление и следите за смещением интерференционной картины. Через каждые 5 полос закрывайте кран и фиксируйте давление. В результате Вы получите зависимость числа полос  $\Delta N$  смещения картины от избыточного давления  $\Delta p$ . Постройте график этой зависимости, убедитесь в его линейности. Определите угловой коэффициент  $\Delta N / \Delta p$  и найдите соответствующий коэффициент в зависимости показателя преломления от давления:

$$\frac{\Delta n}{\Delta p} = \frac{\lambda}{l} \frac{\Delta N}{\Delta p} \quad (28)$$

Показатель преломления воздуха в комнате:

$$n = 1 + p_0 \Delta n / \Delta p = 1 + (\lambda_0 p_0 / l) (\Delta N / \Delta p), \quad (29)$$

где  $p_0$  - атмосферное давление, определяемое по барометру. Удобно измерять  $p_0$  и  $\Delta p$  в одних и тех же (любых) единицах.

Атмосферное давление  $p_0 = 760$  мм.рт.ст.

Длина кюветы  $l = 120$  мм

Длина волны  $\lambda_0 = 0,651$  мкм

Давление в кювете  $p = p_0 + p_1$ , где  $p_1$  - избыточное давление, определяемое манометром. При проведении эксперимента заполните таблицу.

Смещение N	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Избыточное давление $p_1$ , мм.рт.ст.										

### Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип работы интерферометра Маха-Цендера?
2. Как работает оптический рефрактометр?
3. Условия наблюдения интерференционных максимумов и минимумов?
4. Как зависит показатель преломления воздуха от давления?

### Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн. : Учеб. пособие для вузов /И.В. Савельев. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2002.-336 с.: ил.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М. Физматлит. – 2006. – 848с.
3. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. Доп. И перераб. - СПб.: СпецЛит, 2002. 327 с.
4. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для вузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003.-640 с.
5. Стафеев С.К., Боярский К.К., Башнина Г.Л. Основы оптики: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2006. – 336 л.
6. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. Техносфера, 2006
7. Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика: Пер. с англ.- М.: Мир, 1996.- 323 с.

## **ШКАЛА ОЦЕНИВАНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ВЫПОЛНЕННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

Оценка «отлично» выставляется студенту, если лабораторная работа выполнена правильно, в установленное преподавателем время или с опережением времени, при этом студентом выбран наиболее эффективный способ выполнения задания.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если лабораторная работа выполнена правильно, в установленное преподавателем время, типовым способом и допущено наличие несущественных недочетов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если при выполнении лабораторной работы допущены ошибки не критического характера и (или) превышено установленное преподавателем время.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если лабораторная работа не выполнена или при его выполнении допущены грубые ошибки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения лабораторных работ студент формирует следующие компетенции:

Код компетенции/ этап	Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)	Критерии и шкала оценивания компетенций		
		Пороговый (удовлетворительный)	Продвинутый (хорошо)	Высокий (отлично)
1	2	3	4	5
ПК-1/ основной, завершающий.	<p>ПК-1.1. Формулирует тезисы из анализируемой научнотехнической литературы.</p> <p>ПК-1.2. Разрабатывает формальные модели обработки и передачи данных в телекоммуникационных системах.</p> <p>ПК-1.3. Формулирует целевые критерии для оценивания эффективности исследуемых систем.</p> <p>ПК-1.4. Проводит экспериментальные и теоретические исследования защищенности телекоммуникационных систем</p>	<p><b>Знать:</b> Основные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищенности телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять основные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищенности телекоммуникационных систем и сетей..</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения основных методов проведения теоретических и экспериментальных исследований за-</p>	<p><b>Знать:</b> Применяемые методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищенности телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищенности телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения методов проведения теоретических и экспериментальных исследований защищенности телекоммуникаци-</p>	<p><b>Знать:</b> Современные эффективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищенности телекоммуникационных систем и сетей.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять современные эффективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований защищенности телекоммуникационных систем и сетей</p> <p><b>Владеть</b> Навыками применения современных эффективных методов проведения теоретических и эксперименталь-</p>

	и сетей	защищённости телекоммуникационных систем и сетей.	онных систем и сетей.	ных исследований защищённости телекоммуникационных систем и сетей.
--	---------	---	-----------------------	--

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

## Форма титульного листа отчета, обучающегося о выполненной лабораторной работе

### МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Кафедра космического приборостроения и систем связи

#### ОТЧЕТ

о выполненной лабораторной работе

по дисциплине «Физические основы оптических систем связи»

на тему «\_\_\_\_\_»

Выполнил

\_\_\_\_\_

(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Проверил

\_\_\_\_\_

(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Курс 20\_\_

