МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра_____

«Допущен к защите»
И.о.заведующий кафедрой _____
_____
(Ф.И.О., ученая степень, звание)
_____ «_____» _____ **20__ г.**
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Моделирование лабораторной установки для исследование параметров оптического волокна

Специальность _____

Выполнил (а) Рысмеков Д.А. МТС-12-4
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель ст. преподаватель Ешмарова Е.Ю.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:
Бекенова Г.Ш доцент кафедры ЭОиУП
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «30» 05 2016 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
ст. преп Безимбетова А.С.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «6» июня 2016 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:
к.т.н, ст.преп. каф. ТКС Бурмелова Л.О.
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «8» июня 2016 г.
(подпись)

_____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «_____» _____ 20__ г.
(подпись)

Нормоконтролер: Демидова Т.Д. ст. пр-ль
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «9» июня 2016 г.
(подпись)

Рецензент: Нурмаханов М.И. к.ф.-м.н, профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
_____ «10» июня 2016 г.
(подпись)

Алматы 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи
Специальность РЭТ
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент Аяпенов Дархан Абдыкалыкович
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Моделирование лабораторной установки для исследования параметров оптического волокна

утверждена приказом ректора № 148 от «18» сентября 2015 г.
Срок сдачи законченной работы «25» 05 2016 г.
Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта
оптическое волокно с $n_1 = 1,47$
ширина спектра $\Delta\lambda = 20$ нм
ширина спектра $\Delta\lambda = 2$ нм
$\lambda = 0,54$ мкм $\lambda = 0,56$ $\lambda = 0,78$

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или краткое содержание дипломного проекта:
1 Теоретические основы создания лабораторного стенда
2 Моделирование стенда и экспериментальные измерения
3. Реализация практической части работы
4. Безопасность жизнедеятельности
5. Бизнес план

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Цель работы
Задачи
Распространение излучение по оптическому волокну
Методы измерения
Схема лабораторной установки
Расчёт параметров
Результаты измерения
Вывод
Модель лабораторного стенда

Рекомендуемая основная литература

Носов Ю.Р. Основы оптоэлектроники. Квант. вып. 14, М: Наука, 2010г.
Бурцев М.М, Галкин С.Л, Оробинский С.П, Пал Б.П. Волоконная оптика и приборостроение 2012г.
Бакалова А.И. Поиск бизнес-планирование 2009г.
Головань С.И. Бизнес-планирование - М: Феникс, 2009г.
С.В. Белов, В.А Девисилов, А.В Ильницкая Безопасность жизнедеятельности.
В.А Акимов Безопасность жизнедеятельности 2010г

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
спец часть	Емцарова Е.Ю	12.05.16	
БЖД	Бегимбетова А.С.	01.04-06.06.16	
Вопросы техника-	Ефремова Ю.А.	01-04-07.06.16	
Нормоконтроль	Шемидова Т.Ф	03.06.16	
Экон. часть	Бокамова Т.М	30.05.16	

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание

Дата выдачи задания «____»_____20___ г.

Заведующий кафедрой _____ _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Емцарова Е. Ю
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению
студент _____ _____
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Аңдатпа

Бұл жұмыста оптикалық талшықтың параметрлерін зерттеуге арналған, авторлық зертханалық әзірлемеліктері сипатталған. Сондай-ақ сандық апертураны зерттейтін зертханалық қондырғының үлгісі есептелген. Толқын ұзындығынан және сәулелену көзінен сандық апертураның тәуелділігін зерттеуде эксперименттер жүргізілді. Тәуелділік графигі құрастырылып, жалпы жұмысқа талдау жасалынды.

Аннотация

В данной работе описывается авторская разработка лабораторной работы, предназначенной для исследования параметров оптического волокна. А также рассчитано моделирование лабораторной установки для исследования числовой апертуры. Проведены эксперименты для изучения зависимости числовой апертуры от длины волны и типа источника излучения. Построены графики зависимости и сделан общий анализ.

Abstract

In this article authoring development of the laboratory operation intended for research of parameters of an optical fiber is described.

In my work modeling of laboratory installation for research of a numerical aperture is made. Experiments for studying of dependence of a numerical aperture on wavelength and type of a source of radiation are made. Schedules of dependence are constructed and the general analysis is made.

Содержание

Введение

1 Теоретические основы создания лабораторного стенда

1.1 Параметры оптических волокон

1.2 Состояние передового рынка

0

1.3 Теоретические основы создания продукта

1

1.4 Методы измерения числовой апертуры

6

2 Моделирование стенда и экспериментальные измерения

9

2.1 Создание модели учебного стенда, описание экспериментальной установки

9

2.2 Состав лабораторного макета и его функциональная схема **0**

3 Экспериментальное определение числовой апертуры волоконных световодов

2

3.1 Порядок выполнения работы

3

4 Реализация практической части работы

7

4.1 Результаты эксперимента

7

5 Безопасность жизнедеятельности

0

5.1 Физическая сущность лазерного излучения

0

5.2 Методы защиты от лазерного излучения **2**

5.3 Воздействие лазерного излучения на органы зрения **2**

5.4 Защита от лазерного излучения при эксплуатации лабораторной установки **4**

5.5 Требования по электробезопасности **5**

5.6 Эргономические показатели рабочего места **5**

5.7 Расчет освещенности помещения **7**

6 Бизнес план **0**

6.1 Маркетинг **1**

6.2 Расчет стоимости лабораторного стенда и экономического эффекта ее внедрения **4**

6.3 Расчет стоимости разработки лабораторного стенда **6**

6.4 Анализ технико-экономического расчета **7**

6.5 Вывод по разделу «Экономическая часть» **7**

Заключение **8**

Список литературы **9**

Приложения А

Приложения Б **0**

3

Введение

Выполнение лабораторных работ является обязательной частью обучения студента на технических специальностях. Во время занятий студенты имеют возможность закрепить теоретические знания, научиться работать с контрольно-измерительной аппаратурой, получить опыт и наглядный пример практической работы. Кроме того, при прохождении лабораторных работ студенты приобретают определенные исследовательские навыки.

Не является исключением и лабораторная работа «Исследование характеристик влияющих на распространение света в оптическом волокне» по дисциплине «Оптические системы связи». Она включает в себя, выполнение работы на экспериментальном лабораторном макете с применением реальной и модельной аппаратуры и отличается высокой универсальностью. Данный макет специально разработан с целью ознакомления студентов с реальным кабельным оборудованием, его характеристиками, приемами работы. А так же работа дает научно-исследовательское направление углубленного изучения распространения света в оптическом волокне.

В данной дипломной работе составлено техническое задание на проектирование, приведены теоретические и методологические предпосылки создания проекта, рассмотрены вопросы организационно-экономического обоснования таких работ, рассмотрены вопросы охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

1 Теоретические основы создания лабораторного стенда

Полное наименование продукта:

Лабораторный стенд «Исследование характеристик влияющих на распространение света в оптическом волокне» по дисциплине «Оптические системы связи».

Назначение и цели создания продукта:

Моделируемый лабораторный стенд предназначен для лаборатории «Волоконно-оптических систем передачи» кафедры Телекоммуникационные системы связи Алматинского Унверситета Энергетики и Связи с целью изучения студентов методов измерения и вычисления апертурного угла, а так же характеристик влияющих на распространение света в оптическом волокне.

Характеристика объекта :

Учебный лабораторный процесс производится группой студентов под контролем преподавателя, процесс включает в себя теоретическую часть, проверку преподавателем знаний студентов, допуск их к выполнению лабораторной работы, проверку преподавателем хода выполнения работы, проверку преподавателем результатов работ с выставлением оценки (зачета) за выполненные работы.

Условия эксплуатации:

Установка должна эксплуатироваться в условиях лаборатории, оснащенной измерительной аппаратурой.

Требования к электробезопасности, пожарной безопасности:

Стандартные для работы в условиях лаборатории.

Требования к эргономике и технической эстетике:

Лабораторная установка должна быть проста в исполнении и удобна для пользователя.

Требования к документированию:

Проектная документация должна содержать:

- Пояснительную записку к проекту;
- Техническое задание;
- Методику выполнения.

1.1 Параметры оптических волокон

Волоконно-оптический кабель (ВОК) — один из главных частей волоконно-оптической системы передачи. Главным составляющим волоконно-оптического кабеля (ВОК), либо в предстоящем оптического кабеля (ОК), считается оптическое волокно (ОВ).

Оптическое волокно (ОВ) — это оптический волновод ВОСП, созданный для направленной передачи оптического излучения, сделанный в виде узкой стеклянной нити цилиндрической формы с круглым поперечным сечением. ОВ состоит из сердцевины, одной либо нескольких оболочек и

одного либо нескольких защитных покрытий. Сердцевина ОВ — это центральная область ОВ, через которую передается главная часть оптической мощности сигнала. Существует два вида оптических волокон: многомодовые (ММ) и одномодовые (SM), отличающиеся диаметрами световедущей сердцевины (рисунки 1, 2).

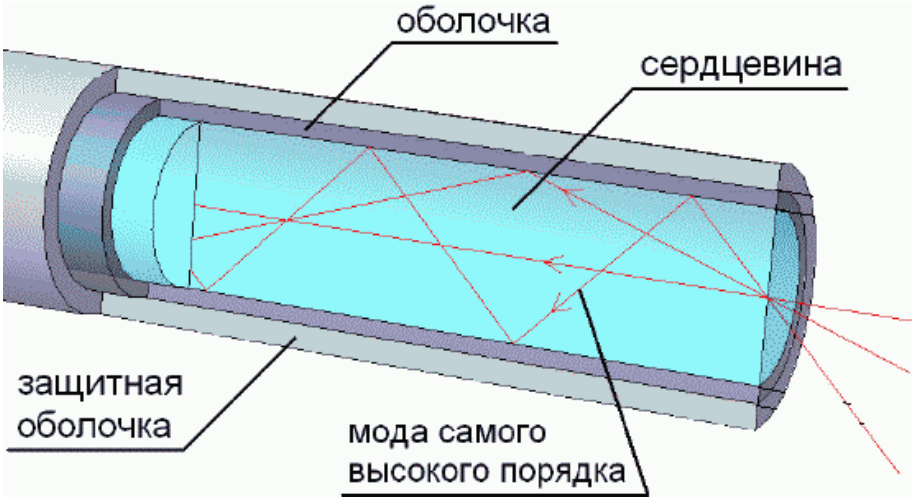


Рисунок 1 - Многомодовое оптоволокно

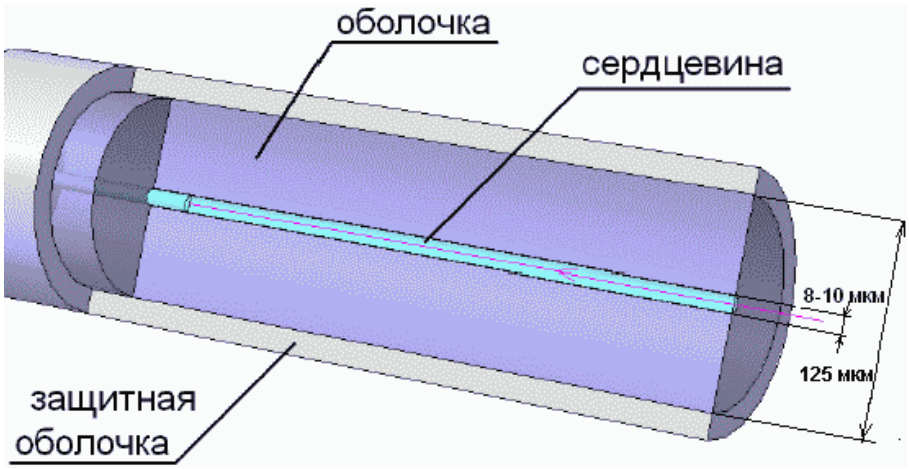


Рисунок 2 - Одномодовое оптоволокно

В одномодовом ОВ диаметр сердцевины соизмерим с длиной волны, и по нему передается лишь один вид волны (моды). В многомодовых ОВ диаметр сердцевины больше длины волны, и по нему распространяется огромное количество волн. Фактически поперечник сердцевины световода

составляет 6–8 мкм у одномодовых и 50 мкм у многомодовых световодов, диаметр оболочки 125 мкм, диаметр волокна по защитному покрытию — 250 мкм.

Сердцевина и оболочка ОВ владеют различными оптическими характеристиками (показателями преломления n_1 и n_2).

Согласно закону Снеллиуса (закон преломления) лучи света, падающие

на границу раздела двух сред, имеют углы преломления, отличные от углов падения к нормали границы данных сред. Взаимосвязь данных углов определяется выражением:

$$n_1 \sin \varphi_{1n} = n_2 \sin \varphi_{1np} \qquad (1.1)$$

где n_1 *и* n_2 — показатели преломления первой и второй сред, в соответсвии с этим.

Показатели преломления n (величина безразмерная) выражается через отношение скорости света в вакууме (c) к скорости света в материале (v).

Когда излучение видимой области спектра падает на границу раздела двух сред и переходит из оптически наиболее плотной среды n_1 на оптически наименее плотную n_2 $(n_2 < n_1)$ и угол падения увеличивается, то угол преломления приближается к 90°. Увеличивая угол падения, можно добиться такого состояния, при котором преломленный луч будет располагаться вдоль границы раздела сред, не переходя в другую среду.

1.2 Состояние передового рынка

Любой технический Университет не может существовать в отсутсвии лабораторного оборудования, в период занятий учащиеся получают возможность укрепить теоретические познания, обучиться действовать с контрольно-измерительной техникой, обрести навык и наглядный пример практической работы. Помимо всего этого, при прохождении лабораторных работ учащиеся получают конкретные научно-исследовательские навыки.

Не имея лабораторий соответствующего направления, ВУЗ не проходит аттестацию и аккредитацию. Поэтому наличие лабораторий необходимо. Хотя закупить лабораторное оборудование задачка не из обычных, на рынке не так много поставщиков этой продукции. Во вторых в случае если брать направление исследования «оптики» и ее компонентов, то тут еще не маловажный аспект это цена. Все контрольно-измерительное оборудование измеряется десятками тысяч долларов.

Согласитесь, комплектовать лабораторию для маленьких учебных заведений стает задачей иногда не посильной.

Вернемся к поставщикам их исключительно два – это Израиль и Санкт-Петербург, поэтому избирать не приходится. У любого из них есть

собственные плюсы и минусы. Поэтому создавая лабораторный стенд, хотелось устроить его доступным, обычным и наглядным.

1.3 Теоретические основы создания продукта

Принцип действия оптоволокна

Примитивный световод являет собой цилиндрический диэлектрический стержень, именуемый сердцевиной, обложенный диэлектрической оболочкой. Степень преломления вещества сердцевины $n1 = \sqrt{\varepsilon_1}$, а оболочки $n2 = \sqrt{\varepsilon_2}$, где ε_1 и ε_2 – относительная диэлектрическая проницаемость. Степень преломления оболочки традиционно одинаков, а сердцевины является функцией поперечной координаты. Данную функцию именуют профилем показателя преломления.

В случае если сердцевина световода имеет неизменное по радиусу значение показателя преломления, то эти световоды именуются световодами со ступенчатым профилем показателя преломления (рисунок 3*а*) (есть ступенька *n* на границе сердцевина-оболочка).

В слуае если показатель преломления от центра к краю меняется не ступенчато, а плавно, то эти световоды именуются *световодами с градиентным профилем показателя преломления,* либо *градиентными световодами* (рисунок 3 *б*).

Наибольшее распространение получили градиентные световоды с параболическим профилем показателя преломления:

$$n(r) = \sqrt{n1 \cdot \left[1 - 2\Delta \cdot (2r/d)^2\right]}, \qquad (1.2)$$

где $n1$ – показатель преломления в центре сердцевины (≈1,5);

r – текущий радиус;

d – диаметр сердцевины.

$$\Delta = {(n1 - n2)}/{n1} = 0{,}003 \ldots 0{,}01 \qquad (1.3)$$

– относительная разность показателей преломления.

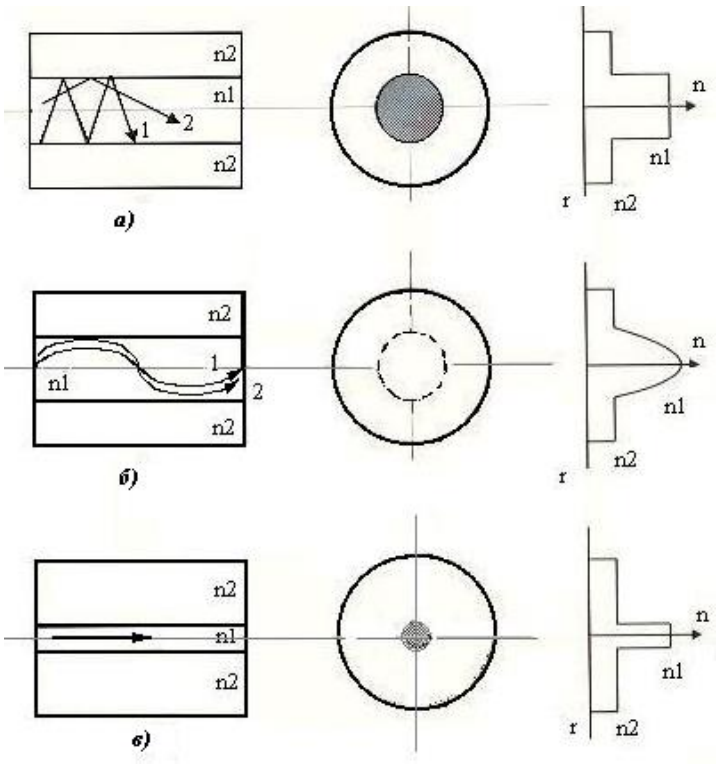


Рисунок 3 - Ход лучей в ступенчатом (*а*), градиентном (*б*) и одномодовом (*в*) оптическом волокне

Выбор соотношения между признаками преломления ориентируется в зависимости от предназначения и области применения волокна. Помимо всего этого, ступенчатые ОВ могут иметь несколько отражающих оболочек (волокно W-типа), с сердцевиной из материала с признаком преломления n1 окруженной двумя оболочками, первая из которых имеет признак преломления n2, а вторая – n3, причем n1>n2>n3.

Для передачи электромагнитной энергии по световод употребляется именитое явление полного внутреннего отражения на границе раздела двух диэлектрических сред. Лучи распространяются в оптически наиболее плотной среде, окруженной наименее плотной, поэтому необходимо n1>n2.

Зависимо от угла $\Theta_{кр}$, который образуют с осью лучи, выходящие из точечного источника в центре торца световода (рисунок 4), имеют место волны излучения, волны оболочки (вытекающие лучи) и сердцевины (направляемые лучи).

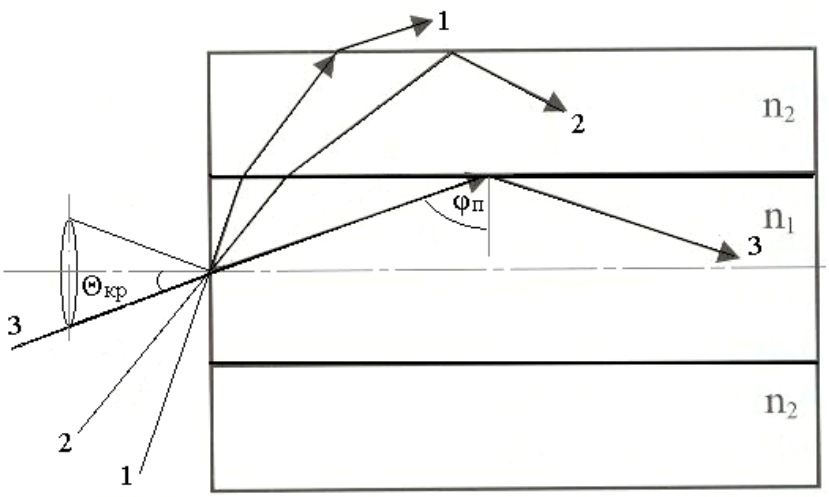


Рисунок 4 - Распространение излучения по оптическому волокну

В случае если угол падения меньше некоторого критического угла, который определяется соотношением

$$sin\,\Theta_{кр} = \sqrt{(n1)^2 - (n2)^2}\,, \qquad (1.4)$$

то луч полностью отражается на границе сердцевина – оболочка и остается внутри сердцевины (луч 3). Данный угол подходит углу полного внутреннего отражения $\varphi_п$.

Ход лучей в градиентном световоде показан на рисунке 3*б*. Как заметно из рисунка 4, лучи изгибаются в направлении градиента признака преломления (заместо преломления либо полного отражения, как в случае волокна со ступенчатым профилем). Таким образом, градиентные волокна проявляют себя аналогично средам с распределенным линзовым эффектом, в которых световой пучок в ходе распространения подвергается постоянной подфокусировке. Это дозволяет минимизировать преломления сигналов, передаваемых по оптическим световодам. Исходя из убеждений геометрической оптики в ступенчатом световоде лучи, вошедшие в сердцевину под различными углами Θ (разные частотные составляющие), проходят разные пути, например лучи 1 и 2 на рисунке 3*а*.

В градиентном световоде лучи 1 и 2 (рисунок 3*б*), вошедшие в сердцевину под различными углами, перемещаются также по разным траекториям, но луч 1, проходит в сфере с наименьшим признаком преломления *n* и, в соответствии с этим, владеет большей скоростью, а луч 2 проходит в сфере с большим *n* и владеет наименьшей скоростью распространения, поэтому к оси волокна они возвращаются одновременно. Изменяя профиль признака преломления сердцевины, возможно получать необходимые свойства градиентного волокна.

Режим полного внутреннего отражения находится в зависмости от диаграммы направленности источника излучения. Величину Θкр именуют *апертурным углом.*

Апертурой называется наибольший угол между оптической осью и светом, падающим на торец многомодового волоконного световода, при всем этом выполняются условия полного внутреннего отражения в сердцевине (луч 3 на рисунке 4). Величина апертурного угла находится в зависимости от абсолютного значения признака преломления сердцевины и разницы показателей преломления сердцевины и оболочки, другими словами апертура и максимальный угол полного внутреннего отражения имеют некую многофункциональную взаимосвязь. Таким образом, световод пропускает только лучи, заключенные в конусе с углом Θкр, подходящим $\varphi_п$ – углу полного внутреннего отражения. На физическом уровне апертура охарактеризовывает способность световода брать на себя световую энергию.

Вместе с понятием апертура принято применять и еще понятие *числовая апертура* (от англ. *Numerical Aperture*):

$$NA = n_0 \, sin\Theta_{кр} = \sqrt{n_1^{\,2} - n_2^{\,2}}\ , \qquad (1.5)$$

где n_0 – признако преломления внешней среды (равен 1, в случае если торец световода граничит с воздухом).

От значения числовой апертуры зависит эффективность ввода излучения лазера либо светодиода в световод, потери в микроизгибах, дисперсия импульсов, количество распространяющихся мод.

Как заметно из рисунка 4, между максимальным углом полного внутреннего отражения $\varphi_п$ и апертурным углом падения луча имеется связь. Чем больше угол $\varphi_п$, тем меньше апертурный угол волокна $\Theta_{кр}$.

Луч в торец световода следует вводить под углом, наименьшим апертурного угла волокна $\Theta_{кр}$. До этого времени, пока угол падения луча меньше, нежели $\Theta_{кр}$, луч станет испытывать абсолютное внутреннее отражение на границе сердцевина - оболочка и передача будет проходить эффективно.

Равенство числовых апертур является одним из необходимых условий достижения малых потерь в разъемных и неразъемных соединителях волоконных световодов.

Следует иметь в виду, что из всей совокупности световых лучей в пределах угла полного внутреннего отражения для данного световода только ограниченное число лучей с дискретными углами может образовывать направляемые волны, которые также называют *волноводными модами.* Эти лучи характеризуются тем, что после двух последовательных переотражений от границы сердцевина – оболочка волна должна быть в фазе. Если это условие не выполняется, то волны интерферируют так, что они гасят друг друга и исчезают.

Каждая волноводная мода обладает характерной для нее структурой электромагнитного поля, фазовой и групповой скоростями (имеет свою критическую частоту и длину волны).

В зависимости от условий распространения световой волны в сердцевине и числа распространяющихся мод оптические волокна делятся на две группы: *одномодовые* (*SMF – Single Mode Fiber*, (рисунок 5)) и *многомодовые* (*MMF – Multi Mode Fiber*).

Многомодовые оптические волокна бывают ступенчатыми и градиентными, а одномодовые оптические волокна могут иметь ступенчатый (стандартное ООВ), W-образный и треугольный (специальные) профили показателя преломления.

В многомодовом оптическом волокне показатели преломления сердечника и оболочки различаются всего на 1-1,5%. При этом апертура NA= (0,2 – 0,3) и угол, под которым луч может войти в световод, не превышает (12-18) градусов от оси.

В одномодовом оптическом волокне показатели преломления различаются еще меньше, апертура NA=0,122 и угол не превышает 7 градусов от оси.

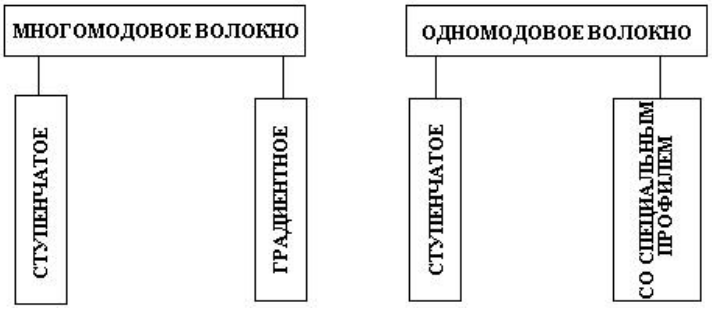


Рисунок 5 - Типы световодов

Число мод в световоде связано с числовой апертурой следующими простыми соотношениями:

для ступенчатого световода

$$N\,mod = 2 \cdot \left[\pi \cdot NA \cdot \frac{a}{\lambda} \right]^2; \qquad (1.6)$$

для градиентного световода

$$N\,mod = \left[\pi \cdot NA \cdot \frac{a}{\lambda} \right]^2, \qquad (1.7)$$

где a – радиус сердцевины волокна,

λ – длина волны.

Чем больше числовая апертура, тем легче ввести луч оптического излучения в оптоволокно, но при этом увеличивается модовая дисперсия и сужается полоса пропускания.

От величины значения NA зависит величина ввода излучения в в световод, а так же коэффициент потерь на микро и макро-изгибах, дисперсия импульсов и число распространяющихся мод.

1.4 Методы измерения числовой апертуры

Для определения числовой апертуры на практике могут быть использованы несколько различных методов таких как метод трех колец, метод ближней зоны, метод дальней зоны и метод калибрования зазора.

Метод трех колец. При освещении входного торца ОВ сходящимся пучком света, в зависимости от угла светового конуса, на выходном торце могут наблюдаться светящиеся кольца различных интенсивностей. Наибольший интерес представляет случай совпадения апертурного угла с углом конуса сходящегося света. При этом яркости торцов сердцевины и оболочки примерно одинаковы, а граница их раздела выделяется в виде яркого кольца. Граничный луч формируется из лучей, углы преломления которых, на границе сердцевины и оболочки, равны 90^0. Структурная схема установки для измерения числовой апертуры данным методом приведена на рисунке 6.

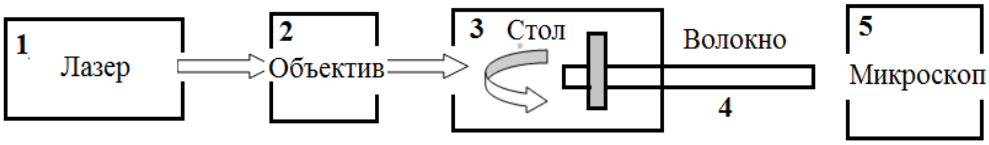


Рисунок 6 – Метод трех колец

Коллимированный лазерный луч 1 фокусируется объективом 2 на входной торец исследуемого ОВ 4, закрепленного на поворотном столике 3. Выходной торец ОВ рассматривается в микроскоп 5. При некотором угле падения наблюдается четкое кольцо на границе сердцевина-оболочка. В этой точке сердцевина становиться темной. Стол вращается в противоположном направлении до появления четкого светящегося кольца. В этом случае, половина суммы двух углов равна искомой величине числовой апертуры. Метод обладает большой разрешающей способностью. Трудоемкость и техническая сложность подготовки торцов ОВ являются недостатком. Метод применим для ОВ диаметром более 1 мм.

Метод ближней зоны основан на анализе интенсивности излучения на выходном торце. Однако большее распространение получил его усовершенствованный вариант.

Выходной конец световода помещается в иммерсионную жидкость, затем, световод освещается сходящимся неламбертовским с регулируемой апертурой источником света в апертуре $\theta_{min} \div \theta_{max}$. После чего анализируется зависимость освещенности выходного торца световода от значения радиуса. Для вычисления n(r) по измеренному значению P(r) на торце ОВ используется соотношение:

$$n(r) = n_2\left[1 + \frac{P(r) - P(0)}{P(0)} \times \cos\theta_{\min} \cos\theta_{\max}\right] \tag{1.8}$$

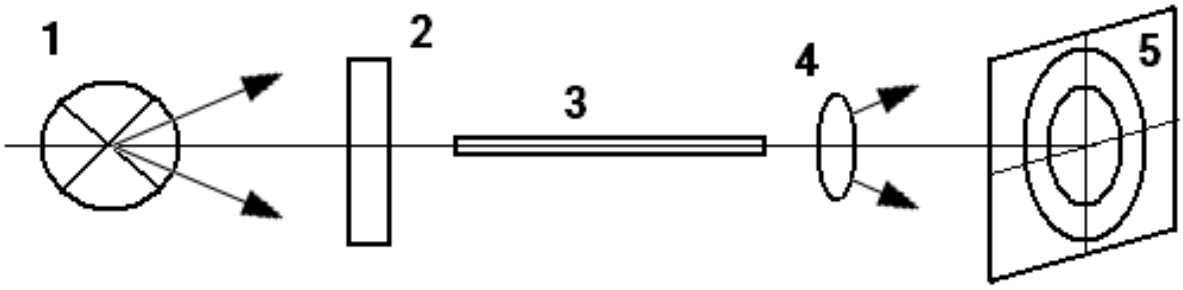
где n_2 – показатель преломления иммерсионной жидкости;

P(r) – текущее значение измеряемой мощности;

P(0) – мощность на оси световода.

Например, при сканировании распределения интенсивности вводится точная поправка на вклад оболочечных мод.

Данный метод позволяет измерить ППП и числовую апертуру, но высокая точность достигается лишь с использованием высококачественной оптики, качественной обработки торцов ОВ и фотоприемника с большим динамическим диапазоном. Структурная схема измерения показана на рисунке 7.



1 – лампочка, 2 – диффузный экран, 3 – ОВ, 4 – объектив, 5 – экран.

Рисунок 7 – Схема экспериментального стенда для измерения числовой апертуры световодов

Метод дальней зоны используется на коротком участке ОВ (длиной 2 м), возбужденного излучением при условии переполнения (диаметр пучка света больше диаметра сердцевины ОВ). Значение числовой апертуры определяется как синус половины угла, при котором интенсивность излучения в дальней зоне составляет 5% от максимального значения. Для многомодовых ОВ с параболическим ПП синус угла близок к числовой апертуре.

Метод дальней зоны проверялся путем сравнения результатов, полученных несколькими лабораториями американских и канадских фирм-изготовителей ВС и Национального бюро стандартов США [25].

Измерения проводились на нескольких образцах ОВ с почти параболическим ППП (длина ОВ с плоскими торцами перпендикулярными оси составляла 1.8 ± 0.1 м).

Излучение в световод вводилось с переполнением как по размеру пятна, так и по числовой апертуры, основанный на регистрации распределения излучения в дальней зоне дает хорошее совпадение измеренных значений числовой апертуры для граданов. Среднее отклонение измеренных значений числовой апертуры для пяти ОВ составило 2%.

Метод калиброванного зазора основан на измерении зависимости потерь на калиброванном зазоре между торцами состыкованных световодов от длины волны излучения. На рисунке 8 приведена структурная схема установки.

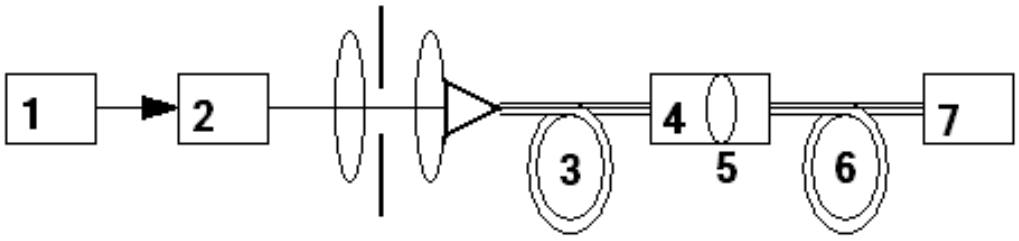
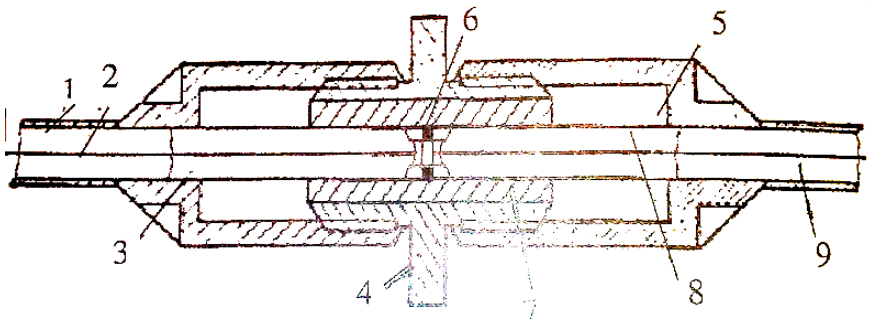


Рисунок 8 – Метод калиброванного зазора

При измерениях сначала определяется мощность оптического излучения на выходе первого световода для двух значений длины волны. Затем подсоединяется второй световод, и на его выходе производятся такие же измерения. В исследуемый ОВ одновременно вводится излучение двух лазерных диодов на длинах волн 1.3 и 1.52 мкм. В волоконном соединителе рубиновые уплотняющие втулки и патрон изготовлены с высокой точностью так, что зазор между сердцевиной ОВ и уплотнительной втулкой менее 1 мкм. Между торцами световод поперечное смещение не превышает 3 мкм.

Волоконный соединитель состоит: разделительного ОК, ОВ, уплотняющей трубки, соединительной муфты, кольцевой калиброванной прокладки, гайки, переходной соединительной муфты.



1 – разделительный ОК, 2, 9 – ОВ; 3, 8 – уплотняющие трубки;
4 – соединительная муфта; 5 – кольцевая калиброванная прокладка;
6 – гайка; 7 – переходная соединительная муфта

Рисунок 9 – Волоконный соединитель

Экспериментальная проверка показала, что параметры одномодовых световодов, измеренные этим методом, хорошо согласуются с их значениями, полученными другими методами.

Число распространяющихся мод в волокне со ступенчатым ППП равно $N = V^2/2$, а в градане - $N = \frac{g}{2(g+2)}V^2$. При этом, для одинаковых значений размеров и показателей преломления, в градиентных световодах число мод меньше, чем в ступенчатых.

Числовая апертура световодов на основе кварцевых стекол составляет величину 0.2 – 0.25. Волоконные световоды с большой апертурой (до величины 0.6) изготавливаются на основе многокомпонентных стекол (натрийборосиликатных стекол, силикатов калия, алюмосиликатов натрия) методом двойного тигля. Из многокомпонентных стекол легко изготавливаются ОВ со ступенчатым ППП, в то время как изготовление из них граданов затруднительно.

2 Моделирование стенда и экспериментальные измерения

2.1 Создание модели учебного стенда, описание экспериментальной установки

На базе данной установки могут быть выполнены следующие лабораторные работы.

1 Экспериментальное измерение числовой апертуры волоконных световодов. Исследование зависимости числовой апертуры от длины волны. Исследование влияния ширины спектра источника излучения на значение апертурного угла .

2 Экспериментальное измерение потерь, вносимых участком волоконного световода.

2.2 Состав лабораторного макета и его функциональная схема

Функциональная схема лабораторного макета приведена на рисунке 10.

ЛД

СИД

Рисунок 10 – Лабораторная установка

В его состав входят следующие элементы:
Источник оптического излучения – лазерные диоды ЛД.

Рисунок 11 – LR-018 Лазер 150 мв (красный цвет)

Красная лазерная указка - портативный генератор когерентных и монохроматических электромагнитных волн видимого диапазона в виде узконаправленного луча. Изготавливается на основе красного лазерного диода, который излучает в диапазоне 635-670 нм. Мощность луча указки составляет примерно 1-5 мВт.

Рисунок 12 – LR-018 Лазер 150 мв (зелёный цвет)

Зелёные лазерные указки это самый распространенный тип твердотельных с диодной накачкой (DPSS) лазеров. Лазерные диоды зелёного цвета не производятся, поэтому используется другая схема. Устройство намного сложнее, чем у обычных красных указок, и зелёный свет получают довольно громоздким способом.

Сначала мощным (обычно >100 мВт) инфракрасным лазерным диодом с λ=808 нм накачивается кристалл ортованадата иттрия с неодимовым легированием ($Nd:YVO_4$), где излучение преобразуется в 1064 нм. Потом, проходя через кристалл титанила-фосфата калия ($KTiOPO_4$, сокр. KTP), частота излучения сдваивается (1064 нм → 532нм) и получается видимый зелёный свет. КПД схемы около 20 %, большая часть приходится на комбинацию 808 и 1064 нм ИК. Мощность 50 мВт. На более мощных указках >50 мВт нужно устанавливать инфракрасный фильтр (IR-фильтр), чтобы убрать остатки ИК-излучения и избежать повреждения зрения.

Светодиоды красного, зеленого, синего и т.д. света.

Три отрезка волоконных световодов:

– многомодовый световод без защитной оболочки со сплошной световедущей жилой;

– многомодовый световод с защитной оболочкой;

– многомодовый световод без защитной оболочки с полой световедущей жилой.

Внимание. Волокно требует бережного обращения.

Штатив и юстировочное устройство. Оно обеспечивает:

– взаимную юстировку торца исследуемого световода и источника ЛД.

Данная регулировка позволяет изменять уровень оптической мощности, вводимой в исследуемый световод, для обеспечения удобства проведения измерений; А так же штатив позволяет менять расстояние между оптическим волокном и измерительным столиком.

Основой юстировочного устройств служит штатив, на который нанесена измерительная линейка, столик с миллиметровкой для измерения диаметра, и укреплен цилиндр с внутренним отверстием. К нему крепится съемная оправка, в которой фиксируется коннектор исследуемого волоконного световода.

3 Экспериментальное определение числовой апертуры волоконных световодов

Цель работы:

– произвести экспериментальное определение числовой апертуры многомодового световода.

Предварительные замечания.

При работе с лазерными диодами быть предельно осторожными.

Под числовой апертурой NA волоконного световода понимается синус угла φ, 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 рисунке 13 показана ход крайних лучей, выходящих из торца возбужденного световода. Угол φ, который они составляют с осью световода и определяет значение числовой апертуры NA.

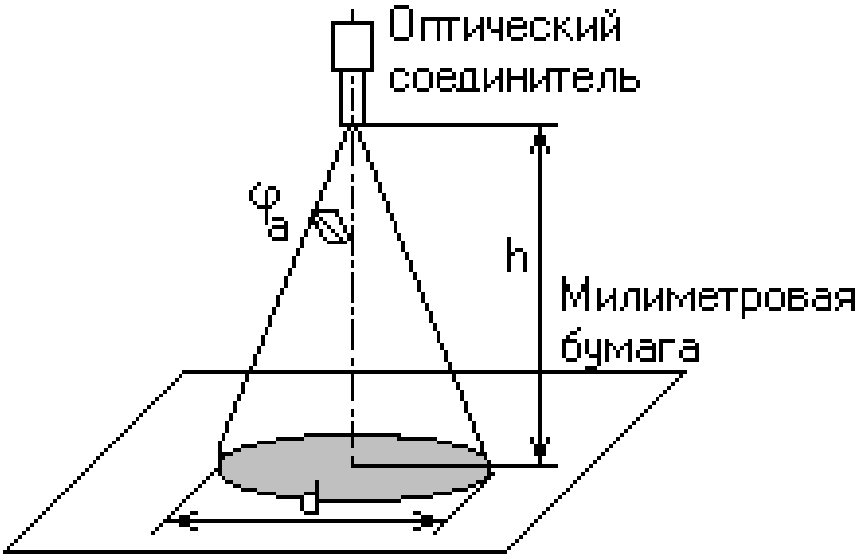


Рисунок 13 - Схема светового конуса на выходе из световода

Для измерения числовой апертуры анализируется излучение из торца возбужденного источником ЛД (СИД) световода.

На рисунке 13 показан торец световода и образующие, ограничивающие световой конус, в котором концентрируется излучение, выходящее из него.

Лучи попадают на стол с миллиметровой бумагой (рисунок 13), на поверхности которой формируется сигнал.

На рисунке 13 отмечен диаметр светового пятна *d*, соответствующий излучению из торца световода на расстоянии *h* от его торца и горизонтальный поверхности.

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

3.1 Порядок выполнения работы

Измерение числовой апертуры волокна

1 Установить лазерный диод на лабораторный штатив при помощи юстирующего устройства (красный, синий, зеленый ЛД).

2 Подключить один конец соединительного кабеля к разъёму красного светодиода, а его другой конец поместить над листом миллиметровой бумаги на таком расстоянии, чтобы было чётко видно световое пятно, как это изображено на рисунке 14.

Рисунок 14 - Измерение числовой апертуры

Для лучшего наблюдения светового пятна следует снизить освещенность в комнате.

Измерить диаметр светового пятна d и высоту расположения торца соединителя по отношению к миллиметровой бумаге h. Для удобства измерения можно нарисовать на бумаге окружность известного диаметра (2 – 3мм) и затем проводить измерение высоты h с помощью линейки, когда эта окружность будет полностью освещена светом. Не следует стараться получить хорошо сфокусированное пятно. Результаты измерения занести в таблицу.

3 По результатам измерений рассчитать апертурный угол и числовую апертуру волоконного световода.

$$\varphi_a = arctg\,\frac{d}{2h} \qquad\qquad NA = \sin\varphi_a \tag{3.1}$$

По результатам расчета можно определить количество мод в волоконном световоде для этого:

рассчитать нормированную частоту

$$V = \frac{2\pi r_a}{\lambda}\sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi r_a}{\lambda}\,\mathrm{NA}\,, \tag{3.2}$$

и определить ориентировочное количество мод распространяющихся по световоду.

Исследование зависимости числовой апертуры от длины волны.

4 Повторить измерения п. 1 и 3 для других лазерных диодов – жёлтого и зелёного. Инфракрасный светодиод в этом измерении не используется.

5 По результатам измерений построить график зависимости числовой апертуры волоконного светодиода от длины волны излучения. Для этого принять, что длина волны зелённого светодиода – 0,55мкм; жёлтого – 0,57мкм; красного – 0,66мкм. Результаты занести в таблицу 3.1 и построить график. Проанализировать полученный график.

Таблица 3.1 - Зависимость числовой апертуры от длины волны

λ, мкм	0,55	0,57	0,66
NA	-	-	-

6 Сделать вывод от чего будет зависеть диаметр светового пятна на миллиметровой бумаге.

Исследование влияния ширины спектра источника излучения на значение апертурного угла

7 Заменить на лабораторном штативе лазерный диод на светодиод.

8 Пункты с 1 по 5 проделать для светодиода.

9 Сравнить графики зависимостей числовой апертуры от длины волны для разных источников (СИД и ЛД).

Определение числовой апертуры для многомодового световода без защитной оболочки с полой световедущей жилой.

В настоящее время известны два типа волоконных световодов со структурой фотонных кристаллов. Это волоконные световоды со сплошной световедущей жилой, о которых упоминалось выше, и волоконные световоды с полой световедущей жилой. В России и те, и другие называются дырчатыми волокнами, хотя на самом деле между ними существует важное различие в механизмах, обеспечивающих волноведущие свойства световодов.

Дырчатый световод со сплошной световедущей жилой представляет собой сердцевину из кварцевого стекла в оболочке из фотонного кристалла (кварцевое стекло с воздушными полостями-каналами), имеющей более низкий средний коэффициент преломления по отношению к жиле. Поэтому волноведущие свойства таких световодов обеспечиваются одновременно двумя эффектами: полного внутреннего отражения, как в обычных световодах, и зонными свойствами фотонного кристалла. Наличие оболочки в виде фотонного кристалла существенно отличает дырчатые волокна от обычных волоконных световодов.

Дырчатые световоды с большим диаметром световедущей жилы также могут использоваться в качестве среды передачи световых потоков высокой интенсивности.

Благодаря своим уникальным дисперсионным свойствам, дырчатые световоды уже находят свое применение в качестве компенсаторов дисперсии в волоконных системах связи.

Они достаточно легко и с малыми потерями привариваются к стандартному оптическому волокну и совмещаются с другими элементами волоконно-оптических систем.

В дырчатом волокне с малыми размерами соответствующей жилы снижаются пороги всех нелинейных эффектов, что представляет большой интерес для создания эффективных рамановских лазеров и усилителей, генераторов континуума и оптических переключателей. Очень привлекательной является идея создания генератора суперконтинуума - источника белого света с очень высокой энергетической яркостью. Такие источники могут применяться в DWDM системах, а также в спектроскопии и метрологии.

Технология изготовления дырчатых волоконных световодов с полой световедущей жилой практически не отличается от технологии аналогичных световодов со сплошной световедущей жилой. Основное отличие этого волокна заключается в том, что световедущая жила представляет собой не кварцевый стержень, а воздушную полость с диаметром, превышающим диаметр d регулярных воздушных каналов в оболочке . Такая структура может направлять излучение видимого и ближнего ИК диапазонов.

В этом случае волноводный режим обеспечивается исключительно зонной структурой фотонного кристалла. Свойства дырчатых световодов с полой световедущей жилой (потери, дисперсионные и нелинейные характеристики) изучены недостаточно. Ясно лишь то, что свет в таких световодах, в отличие от стандартных, распространяется преимущественно в полой сердцевине, а не по кварцу. Казалось бы, что потери в таких световодах должны быть очень низкими, так как материальное поглощение и релеевское рассеяние в воздухе ничтожны по сравнению с кварцевым стеклом.

На лабораторном штативе заменить световод со сплошной световедущей жилой на световод с полой оболочкой повторить измерения.

В качестве источника излучения взять красный лазерный диод. Заменить световод и повторить измерения апертуры. Результаты сравнить с полученными ранее и сделать выводы.

В процессе работы можно менять среду передачи, а так же угол ввода светового луча в оптическое волокно, так как при попадании светового излучения на торец оптического волокна в нем могут распространяться три типа световых лучей, называемые *направляемыми, вытекающими* и *излучаемыми* лучами. Наличие и преобладание какого-либо типа лучей определяется углом их падения на границу раздела «сердцевина - оболочка». Те лучи, которые падают на границу раздела под углом $\theta \geq \theta_{кр}$ (лучи 1, 2 и 3), отражаются от нее и вновь возвращаются в сердцевину волокна, распространяясь в ней и не претерпевая преломления.

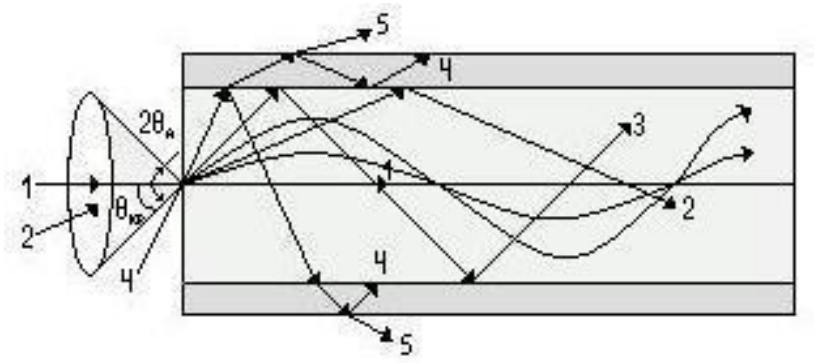


Рисунок 15 - Распространение излучения по ступенчатому и градиентному многомодовым и одномодовому ОВ

4 Реализация практической части работы

4.1 Результаты эксперимента

1 Собрать лабораторный макет в следующей последовательности:

С помощью юстировочного устройства закрепить волоконный световод на расстоянии 5 -10 сантиметров (по заданию преподавателя) от рабочей поверхности стола. К торцу волоконного световода подвести лазерный диод так, чтобы получилось четкое пятно на миллиметровой бумаге. Измерить радиус пятна и высоту от торцов ОВ до рабочей поверхности стола. Данные занести в таблицу и рассчитать апертурный угол.

Для красного ЛД

$$\varphi_a = arctg\,\frac{d}{2h} = arctg\,\frac{7}{20} = 18{,}81^0 \qquad NA = \sin\varphi_a = 0{,}33 \tag{4.1}$$

Рассчитать нормированную частоту

$$V = \frac{2\pi r_a}{\lambda}\sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi r_a}{\lambda}\,\mathrm{NA} \tag{4.2}$$

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathbf{2 \cdot 3,14 \cdot 0,33 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}}{\mathbf{0,66 \cdot 10^{-6}}} = \mathbf{785}$$

и определить ориентировочное количество мод распространяющихся по световоду по формуле

$$N = V^2/2 \tag{4.3}$$

$$N = 785 \cdot \frac{785}{2} = 308112 \text{ волн}$$

Для зеленого ЛД

$$\varphi_a = arctg\frac{d}{2h} = arctg\frac{4}{10} = 22^0 \qquad NA = \sin\varphi_a = 0{,}4 \qquad (4.4)$$

Для желтого ЛД

$$\varphi_a = arctg\frac{d}{2h} = arctg\frac{7}{20} = 0{,}33 \qquad NA = \sin\varphi_a \qquad (4.5)$$

Таблица 4.1

λ, мкм	0,55	0,57	0,66
NA	0,5	0,4	0,33

Построим график зависимости числовой апертуры от длины волны.

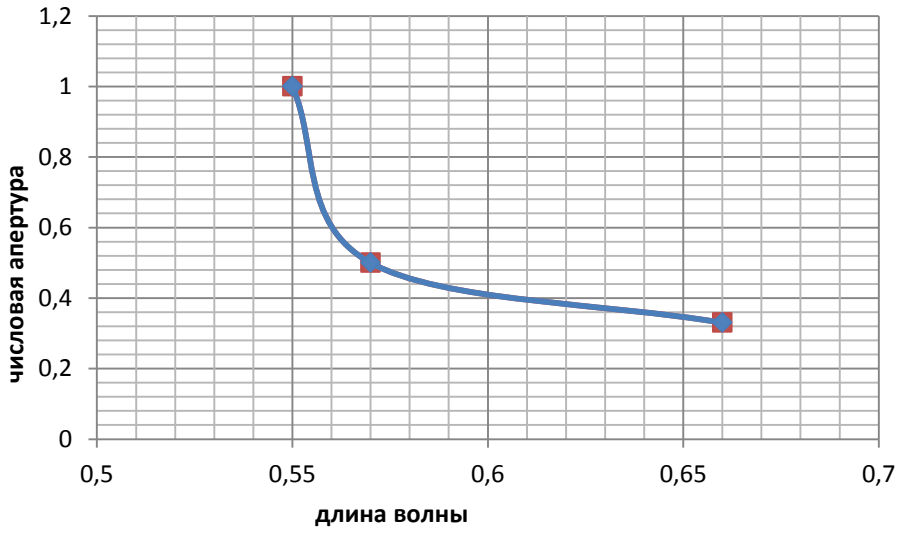


Рисунок 16 - График зависимости числовой апертуры от длины волны

С помощью юстировочного устройства закрепить волоконный световод на расстоянии 5 -10 сантиметров (по заданию преподавателя) от рабочей поверхности стола. К торцу волоконного световода подвести светодиод так, чтобы получилось четкое пятно на миллиметровой бумаге. Измерить радиус

пятна и высоту от торцов ОВ до рабочей поверхности стола. Данные занести в таблицу и рассчитать апертурный угол.

Для красного СИД

$$\varphi_a = arctg\frac{d}{2h} = arctg\frac{2}{6} = 18{,}81 \qquad NA = \sin\varphi_a = 0{,}33 \qquad (4.6)$$

Для зеленого СИД

$$\varphi_a = arctg\frac{d}{2h} = arctg\frac{2}{4} = 25 \qquad NA = \sin\varphi_a = 0{,}5$$

(4.8)

Для желтого СИД

$$\varphi_a = arctg\frac{d}{2h} = arctg\frac{2}{2} = 57^0 \qquad NA = \sin\varphi_a = 1 \qquad (4.7)$$

Таблица 4.2

λ, мкм	0,55	0,57	0,66
NA	1	0,5	0,33

Построим графики зависимости числовой апертуры от длины волны

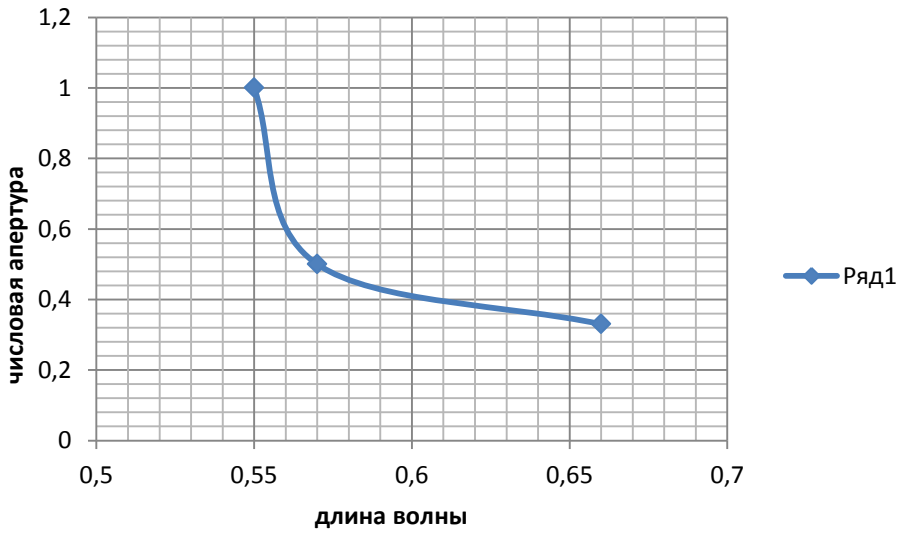


Рисунок 17 - График зависимости числовой апертуры от длины волны

Сравним графики зависимости лазерного диода и светоизлучающего диода.

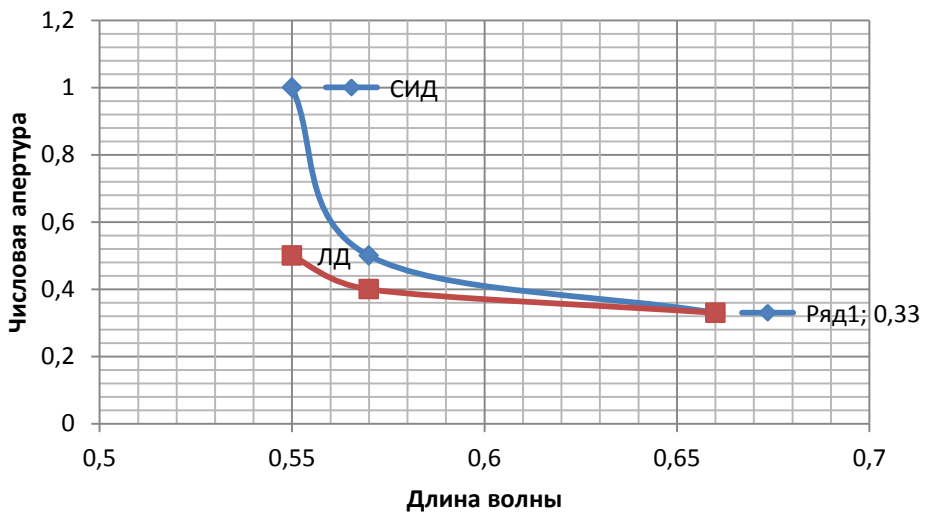


Рисунок 18 – Сравнительная характеристика ЛД и СИД

Как видим из графиков зависимостей светоизлучающего диода и лазерного диода, числовая апертура с увеличением длины волны уменьшается. Это еще раз доказывает, что используемый в связи инфра красный диапазон перспективный не только с точки зрения затухания (чем больше длина волны, тем меньше затухание в оптическом волокне), но и апертуры .

От числовой апертуры зависят многие основные параметры оптического волокна. Рассчитаем их.

1 Соотношение коэффициентов преломления:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

$$\Delta = \frac{1{,}51 - 1{,}49}{1{,}51} = 0{,}013 \qquad (4.8)$$

2 Числовая апертура исходя из показателей преломления:

$$NA = \sqrt{n_1^{\ 2} - n_2^{\ 2}}\ .$$

$$NA = \sqrt{1.49^2 - 1.48^2} = 0{,}33 \qquad (4.9)$$

3 Нормированная частота:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot NA.$$

$$V = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3.14}{0.66 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.33 = 785 \qquad (4.10)$$

Число мод, распространяющихся по световоду
Для ступенчатого световода:

$$N\,\mathrm{mod} = 2\left[\pi \cdot NA \cdot \frac{a}{\lambda}\right]^2$$

$$N\,\mathrm{mod} = 2\left[3{,}14 \cdot 0.33 \cdot \frac{0{,}25 \cdot 10^{-3}}{0.66 \cdot 10^{-6}}\right]^2 = 616225 \qquad (4.11)$$

Критическая частота, Гц, определяется по формуле

$$f_0 = \frac{2{,}405 \cdot c}{2\pi a \cdot NA},$$

где c – скорость света, м/с.

$$f_0 = \frac{2.405 \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3.14 \cdot 0.33} = 1{,}39 \cdot 10^{11}\ Гц \qquad (4.12)$$

Критическая длина волны, м:

$$\lambda_0 = \frac{2\pi a \cdot NA}{2{,}405 \cdot n_1}.$$

$$\lambda_0 = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 3.14 \cdot 0.33}{2{,}405 \cdot 1.51} = 1.42 \cdot 10^{-4}\ м \qquad (4.13)$$

Общие потери в волокне, дБ/км, определяются суммой

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_p.$$

Потери энергии на поглощение (затухание поглощения), Нп/м:

$$\alpha_n = \frac{\pi n_1 \cdot tg\delta}{\lambda},$$

$$\alpha_n = \frac{3.14 \cdot 1.51 \cdot 10^{-10}}{0.66 \cdot 10^{-6}} = 5.578 \cdot 10^{-4} \text{ Н Нп} \qquad (4.14)$$

где $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь материала световода (для кварца 10^{-10}).

Для перевода затухания поглощения из Нп/м в дБ/км полученную величину необходимо умножить на $8{,}69 \cdot 10^3$.

$$\alpha_n = 5.578 \cdot 10^{-4} \text{ Нп/м} = 5.578 \cdot 10^{-4} \cdot 8.69 \cdot 10^3 = 4.847 \text{ дБ/км} \qquad (4.15)$$

Потери на рассеяние, дБ/км, равны:

$$\alpha_p = \frac{K_p}{\lambda^4},$$

где $K_р$ – коэффициент рассеяния (для кварца 1…1,5 дБ/(км·мкм^4)),

λ – длина волны, мкм.

Выберу $K_р$=1.2 дБ/(км·мкм^4)

$$\alpha_p = \frac{1.2}{0.66^4} = 1.661 \text{дБ/км} \qquad (4.18)$$

Потери на рэлеевское рассеяние определяют нижний предел потерь, присущих ВС. Этот предел различен для различных волн и с увеличением длины волны уменьшается.

На рисунке 19 представлены частотные зависимости коэффициента затухания световода. Из рисунка видно, что потери на поглощение растут линейно с увеличением частоты, а потери на рассеяние существенно быстрее - по закону f^4.

При λ>2 мкм начинаются проявляться потери на поглощение передаваемой мощности. Это явление проявляется с ростом длин волн и углублением в инфракрасную область оптического спектра. Величина этих потерь пропорциональна показательной функции и уменьшается с ростом частоты по закону (дБ/км) ank=$Ce^{-h/\lambda}$, где C и k - постоянные коэффициенты (для кварца k =(0,7 - 0,9)*10^{-6} м, C =0,9).

На рисунке 20 приведены графики рэлеевского рассеяния 1, инфракрасного поглощения 2, коэффициента затухания 3 реальных световодов с учётом потерь на поглощение и за счёт примесей.

Релеевское рассеяние *ar* ограничивает нижний предел потерь в левой части графика, а инфракрасное поглощение в правой. На графике явно видны три окна прозрачности световода. Наименьшее затухание (*a*= 0.3 дБ/км) имеется в третьем окне прозрачности при λ =1,55 мкм. Причём с увеличением длины волны затухание снижается.

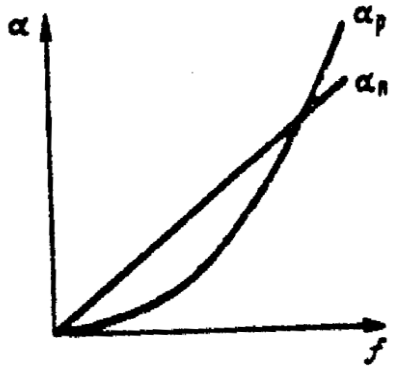


Рисунок 19 - Частотная зависимость затухания

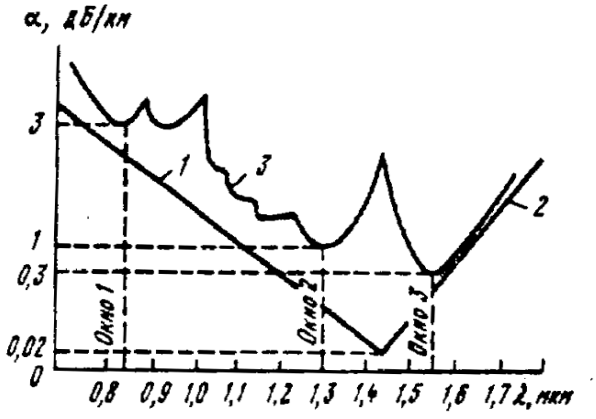


Рисунок 20 - Затухание энергии в волоконном световоде при различных длинах волн

4.1.1 Дисперсия

Основными причинами возникновения дисперсии являются, большое число мод в световоде (*межмодовая* или *модовая* дисперсия), некогерентность источников излучения (*хроматическая* дисперсия).

$$\tau = \sqrt{\tau^2{}_{\text{мод}} + \left[\tau_{\text{мат}} + \tau_{\text{в}}\right]^2},$$

Межмодовая дисперсия:

Для ступенчатого оптического волокна

$$\tau_{\text{мод}} = \frac{\Delta \cdot n_1}{c}\sqrt{l \cdot l_c}, \text{ при } l > l_c$$

где l_c – длина связи мод, для ступенчатого оптического волокна составляет 5…7 км, выберу длину связи мод l_c=6 км;

l – длина линии.

$$\tau_{\text{мод}} = \frac{0.013 \cdot 1.51}{3 \cdot 10^8}\sqrt{60 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^3} = 1.242 \cdot 10^{-6} \qquad (4.16)$$

Хроматическая (частотная) дисперсия.

Хроматическая дисперсия состоит из материальной и волноводной составляющих и имеет место при распространении как в одномодовом, так и в многомодовом волокне.

Материальная дисперсия:

$$\tau_{\text{мат}} = \Delta\lambda \cdot l \cdot M(\lambda),$$

$$\tau_{\text{ìàò}} = 1 \cdot 60 \cdot (-20) = -1200 \text{ пс} \qquad (4.17)$$

где $\Delta\lambda$ – ширина спектральной линии источника излучения (для лазера 1…3 нм, для светодиода 20…40 нм);

$M(\lambda)$ – удельная материальная дисперсия, пс/(нм·км).

Волноводная дисперсия:

$$\tau_{\text{â}} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot \frac{2n_1{}^2 \cdot \Delta \cdot l}{c} = \Delta\lambda \cdot l \cdot B(\lambda)$$

$$\tau_{\text{â}} = 1 \cdot 60 \cdot 14 = 840 \text{ пс} \qquad (4.18)$$

где B(λ) – удельная материальная дисперсия, пс/(нм·км).

Подставляем найденные значения в формулу (10) и получаем:

$$\tau = \sqrt{(1.242 \cdot 10^{-6})^2 + \left[-1200 \cdot 10^{-12} + 840 \cdot 10^{-12}\right]^2} = 1.242 \cdot 10^{-6} = 1.242 мкс$$

Удельная хроматическая дисперсия является алгебраической суммой удельных материальной и волноводной дисперсий:

$$D(\lambda) = M(\lambda) + B(\lambda).$$

$$D(\lambda) = -20 + 14 = -6 \text{ пс/(нм·км)}$$

Хроматическая дисперсия связана с удельной хроматической дисперсией соотношением:

$$\tau_{хр}(\lambda) = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda, \text{ пс/км}$$

$$\tau_{хр}(\lambda) = -6 \cdot 1 = |-6| = 6, \text{ пс/км}$$

где $D(\lambda)$ – удельная хроматическая дисперсия, пс/(нм·км);

$\Delta\lambda$ – ширина спектра излучения источника, нм.

8 Границы изменения фазовой скорости, м/с, определяются:

$$c/n_1 < \nu < c/n_2$$

$$\frac{3 \cdot 10^8}{1.51} < \nu < \frac{3 \cdot 10^8}{1.49}$$

$$1.987 \cdot 10^8 < \nu < 2.013 \cdot 10^8$$

9 Границы изменения волнового сопротивления, Ом:

$$Z_0/n_1 < Z < Z_0/n_2$$

где Z_0 =376,7 Ом – волновое сопротивление идеальной среды.

$$\frac{376.7}{1.51} < Z < \frac{376.7}{1.49}$$

$$249.47 < Z < 252.819$$

Использование гибких оптических волокон, обеспечивающих передачу мощного излучения, позволяет создать эффективные лазерные устройства с высокими функциональными возможностями. Электрические системы инициации широко используются в военной и гражданской технике,

например, при проведении подрывных работ. При проведении таких работ предъявляются высокие требования к правилам техники безопасности, запасу надежности подрыва, так как имеется высокий фактор риска при ложном срабатывании узла системы.

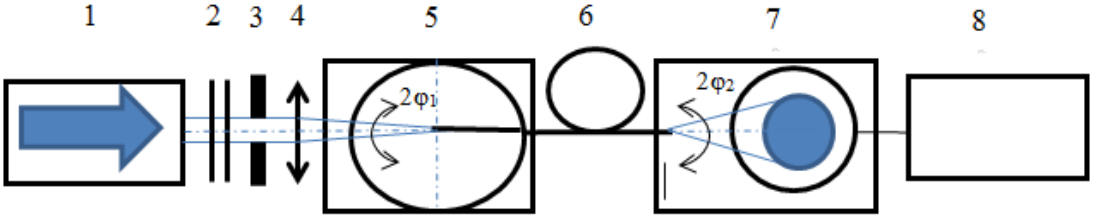
Оптическая система, как замена электрической, показывает отличные результаты, имеет пониженный фактор риска, превосходит электрическую систему по запасу надежности подрыва. Для конструирования такой системы важно знать характеристики оптоволокна, например, такие, как угловая передаточная функция, предел оптической прочности, зависимость угла ввода лазерного пучка от диаметра сердечника. Последняя из перечисленных характеристик практически не исследована и представляет интерес с точки зрения разработки лазерных оптоволоконных исполнительных устройств.

Цель настоящей работы – исследование угловых характеристик ввода лазерного пучка в кварц-кварцевые волокна различного диаметра (0,6 мм – 50 мкм). Вычисление угловой передаточной функции (УПФ) слабоизогнутых волокон. Исследование зависимости УПФ от радиуса изгиба волокна.

В данной работе исследовались кварц-кварцевые ОВ с различными диаметрами сердечника (от 50 мкм до 600 мкм), длиною L = 3 м.

Экспериментальная установка изображена схематически на рисунке 21. Луч твердотельного Nd лазера (1) с нелинейно-преобразующим кристаллом YV04 (532нм) и лазерно-диодной накачкой, пройдя систему нейтральных светофильтров (2) и диафрагму (3) с d0 = 4 мм, фокусировалась линзой (4) на входной торец волокна. Торец закреплен на лимбе (5) с цифровой шкалой для задания/измерения угла падения лазерного луча, обеспечивающем необходимый угол ввода пучка, а выходной торец закрепляется на вход регистрирующей системы.

Регистрирующая система представляет собой фотодиод (7), нагруженный на вольтметр (8) по фотогальванической схеме. Прецизионный цифровой вольтметр снабжен встроенным дельта-сигма-преобразователем аналогового сигнала в цифровой, имеет низкую скорость преобразования, но высокую точность измерения.



1 - лазер; 2 – нейтральные светофильтры; 3 – диафрагма;
4 – линза короткофокусная; 5 – гониометрический стол (лимб);
6 – оптическое волокно; 7 – регистрирующее устройство.

Рисунок 21 - Схема экспериментальной установки

Полная вводимая в ОВ мощность излучения P определяется соотношением [2]:

$$P = I_0 r^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} G(\varphi,\alpha) B(\varphi,\alpha) d\varphi d\alpha \qquad (4.19)$$

где I_0 – интенсивность на оси пучка;

r – радиус сердечника ОВ;

φ — угол ввода, отсчитываемый от оси ОВ;

α – азимутный угол;

G(φ,α) – угловая характеристика ввода;

B(φ,α) – функция углового распределения преобразованного линзой пучка с начальными параметрами d0 и 2φ0.

В лучевой (геометрической) оптике для прямого волокна с прямыми торцами [4] выражение (4.20) называется числовой апертурой волокна и обозначается буквами NA

$$NA = n\, sin\varphi = \sqrt{n_{ср}^2 - n_{об}^2} = \sqrt{(n_{ср} - n_{об})(n_{ср} + n_{об})} \approx \sqrt{2n_{ср}\Delta n}, \qquad (4.20)$$

где $n_{ср}$ – показатель преломления сердечника;

$n_{об}$ – показатель преломления оболочки;

n – показатель преломления воздуха ($n_{вх} = n_{вых} = 1$).

Расчет (4.20) показывает, что критический угол ввода $sin\varphi$ соответствует числовой апертуре 0,22 радиан. Для анализа необходимо определить угловую характеристику ввода лазерного пучка экспериментальным путем, для каждого типа ОВ, его диаметра сердечника.

Экспериментально измерялись угловые характеристики ввода (УХВ), как для положительных, так и для отрицательных углов наклона падающего излучения.

$$G(\varphi) = \frac{I_1(\varphi)}{I_0(1-\rho)}; \qquad (4.21)$$

где $I_1(\varphi,)$ – интенсивность пучка на выходе волокна;

ρ – коэффициент френелефского отражения.

Результаты экспериментального измерения УХВ для ОВ с учетом (4.21) приведены на рисунке 20.

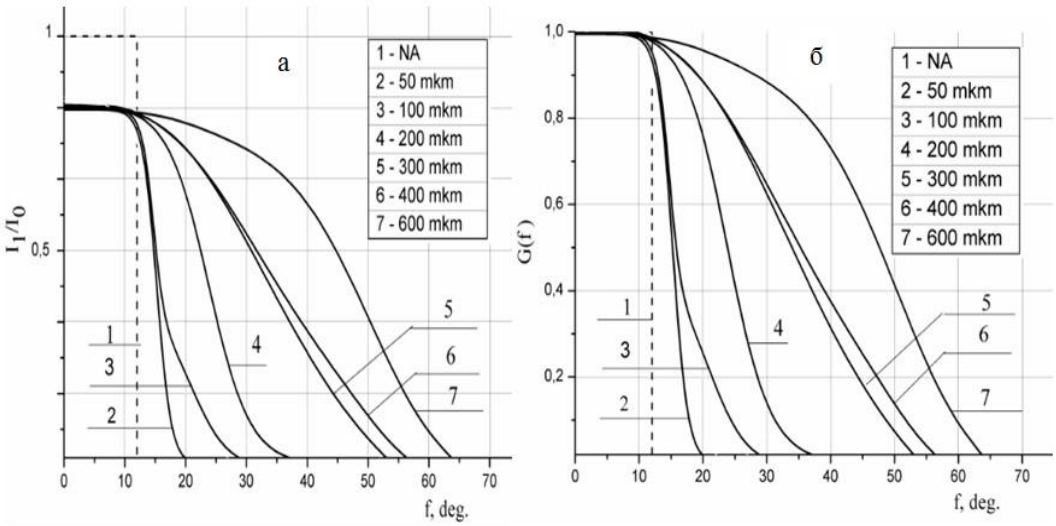
На точность измерение УХВ G(φ) влияет в основном точность юстировки в плоскости сердцевины [2]. Другие источники ошибок, такие, как нестабильность генерируемой мощности лазера, неточность измерения углов и прочие, пренебрежимо малы.

Так же было рассмотрено влияние френелевского отражения

$$\rho_{\Phi} = \frac{1}{2}\left(\frac{sin^2(\varphi-\beta)}{sin^2(\varphi+\beta)} + \frac{tan^2(\varphi-\beta)}{tan^2(\varphi+\beta)}\right) \quad (4.22)$$

где α - угол падения (падающего пучка);

β - угол преломления.



Цифрами обозначены диаметры сердечника и числовая апертура (2);
а) без расчета (9); б) с расчетом (9).

Рисунок 22 - Угловая характеристика ввода лазерного излучения в оптическое волокно

Был произведен расчет функции (4.22), где выявлена кривая, которая соответствует максимально усреднённому возможному френелевкому отражению для экспериментальной установки.

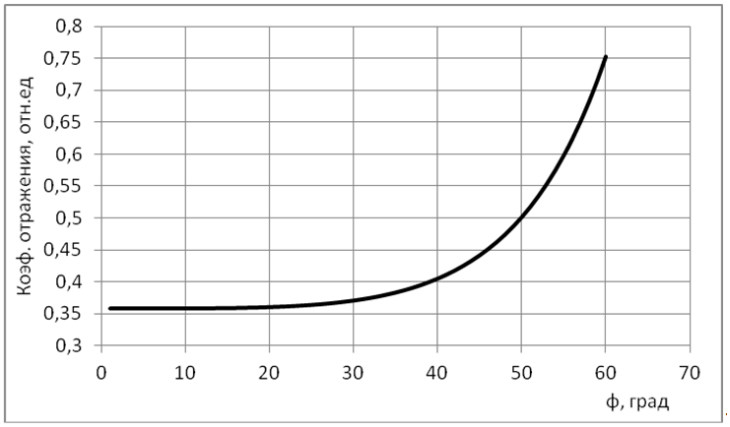


Рисунок 23 - Кривая френелевского отражения, рассчитанная по формуле (10)

По данным приведенным на рисунке 23 видно, что при увеличении φ происходит увеличение френелевского отражения, что частично объясняет потери энергии при изменении угла.

Так же были измерены размеры лазерного пучка на выходе оптического волокна на расстоянии 100 мм от выходного торца. Данная характеристика промежуточная и определяет угловую передаточную функцию (УПФ) [3].

По данным следует, что энергетическое затухание пучка на выходе совпадают с угловыми характеристиками (рисунок 22). Так как значительных отклонений размеров лазерного пучка в зависимости от диаметра сердечника ОВ не наблюдается, то УПФ М = φ2/φ1 можно определить для ОВ с самым большим энергетическим затуханием (рисунок 24).

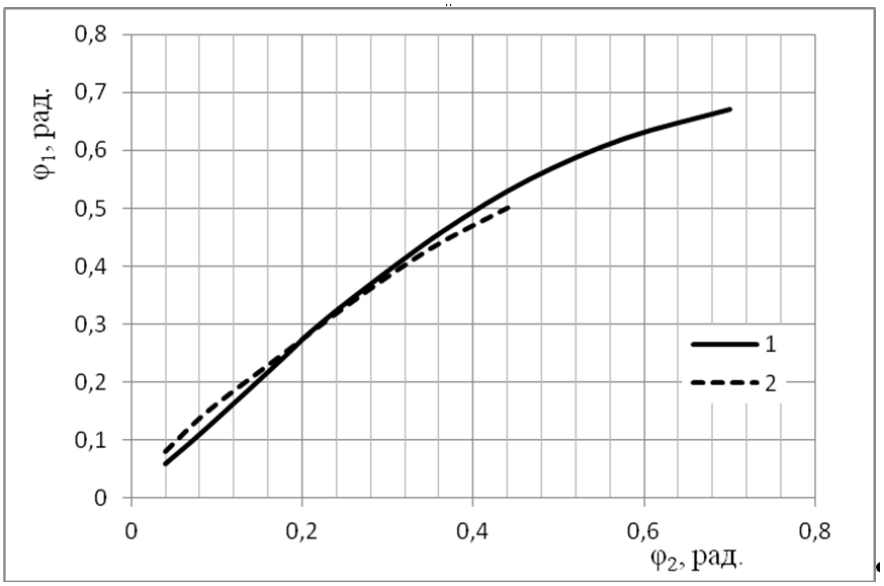


Рисунок 24 - Угловая передаточная функция кварц-кварцевого ОВ для сердечника диаметром:1 = 600 мкм; 2 = 50 мкм

Апертуру пучка лазерного излучения проходящего через изогнутое волокно определяем

$$NA = n\,sin\varphi = \sqrt{n_{ср}^2 - \left(\frac{R+1}{R-1}\right)^2 n_{об}^2} \qquad (4.23)$$

где R – радиус кривизны волокна в воздухе ($n_{вх} = n_{вых} = 1$)

Расчет зависимость УПФ от радиуса изгиба волокна (4.23) показывает что, для изогнутых ОВ значение числовой апертуры меньше, чем для прямых волокон (4.20).

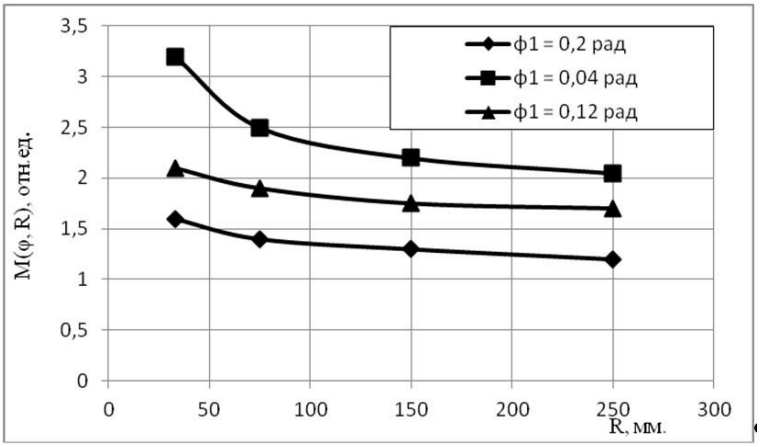


Рисунок 25 - Экспериментальная зависимость угловой передаточной функции M(φ, R) от относительного радиуса изгиба (R, мм) оптического волокна ($d_{сер}$ = 600 мкм)

В данной работе исследовалась передача непрерывного лазерного излучения через оптическое волокно. Были определены угловые характеристики ввода лазерного излучения в ОВ. По результатам работы видно, что для волокон с малым сердечником, угол ввода имеет предел (~15°) больше которого ввести энергию можно с большими потерями. Для волокон с 600 мкм сердечником ввести энергию (принимая потери не более 20%) можно с углом ввода ~ 30°.

Были проведены опыты с изогнутым волокном (рисунок 25). Установлено, что для изогнутого волокна значение числовой апертуры меньше, чем для прямых волокон.

Результаты данной работы актуальны для разработки систем согласования и передачи лазерного излучения по оптическому тракту, расчетов потерь при передаче и допустимых углов ввода, изгибов волокна.

5 Безопасность жизнедеятельности

5.1 Физическая сущность лазерного излучения

Лазер - механизм, рассчитанный с целью формирования и увеличения электромагнитной энергии зрительного спектра частот с применением движения управляемой индуктивной эмиссии. Лазер функционирует по принципу вызванного испускания, получаемого присутствие оптической накачке термически неравновесной (интенсивной) сферы, в свойстве которой предназначаются диэлектрические кристаллы, стекло, полупроводники и халцедон.

Отдельные атомы подобных использованных материалов при попадании в их фотона владеют качествами перехода с верхнего энергетического степени в низший степень с испусканием 2-ух фотонов, вызванных с данной частотой, поляризацией и течением распространения.

Примером способен быть киноварный зрительный фотонный электрогенератор, в коем активным объектом считается рубин. Мощь в импульсе является приблизительно 100 МВт присутствие силы в взволнованность приблизительно 20 кВт/см3, а жар, формируемый лазерным пучком, способен доходить 1015 К.

Существуют и прочие типы лазеров с жестким объектом, к примеру с ниодимового стекла, флюоритита кальция с примесью атомов подобных редкоземельных компонентов, равно как металл, металл и пр., либо газовые лазеры, к примеру газ – ниодимовые лазеры и др.

В ходе производства, проверки и эксплуатации лазерных продуктов на работниках имеют все шансы влиять физиологические, химический и психофизиологические небезопасные и вредоносные условия.

К физиологическим условиям принадлежат:

-лазерное лучеиспускание;

-высокая напряжённость в цепочках управления и ключах электропитания лазера ;

-повышенная степень ультрафиолетовой радиации с пульсирующих ламп накачки либо кварцевых газоразрядных трубок в активной области;

-повышенная насыщенность освещения с пульсирующих ламп накачки и области взаимодействия лазерного испускания с использованным материалом мишени;

-повышенный звук и дрожание в трудовом участке, образующиеся от присутствия активности лазера ;

-повышенная степень ионизирующего рентгеновского испускания с газоразрядных трубок и др. компонентов, из-за присутствия анодного усиления свыше 5 кВ;

-повышенная степень электромагнитных излучений ВЧ – и СВЧ – диапазонов в активной области;

-повышенная степень инфракрасной радиации в активной области;

-повышенный жар плоскостей оснащения;

-взрывоопасность в концепциях накачки лазеров;

-возможность разрывов и пожаров при попадании лазерного испускания в топкие использованные материалы.

К химусловиям принадлежат:

-загрязнение атмосферы активной области провиантами взаимодействия лазерного испускания с мишенью и радиолиза атмосферы;

-токсические ветры и двойки с лазерных концепций с прокачкой хладагентов и др.

Психофизиологические условия :

-монотония, гипокинезия, чувственная напряжение, общепсихологическая неудобность;

-локальные перегрузки на мускулы и грозди предплечья; напряжение анализаторных функций.

5.2 Методы защиты от лазерного излучения

К координационным предохранительным событиям принадлежат:

-организация работников зон с значением абсолютно всех требуемых предохранительных событий и учетом особенности определенных факторов применения лазерных направлений;

-обучение персонала и контролирование познаний законов технической защищенности;

-организация мед контролирования и т.д.

Технические события и ресурсы охраны разделяются в совместные и личные. Совместные содержат в себе:

-средства нормализации наружной сферы;

-автоматические концепции управления научно-техническим действием;

-использование защитных приборов, устройств, разных оградительных;

-использование телеметрических и телевизионных концепций исследования;

-применение заземления, зануления, блокировки и т.д.

5.3 Воздействие лазерного излучения на органы зрения

Основной компонент визуального агрегата лица – сетчатка глаза – разрушается только излучением явного (с 0.4 мкм) и близкого ИК-диапазонов (вплоть до 1,4 мкм), то что разъясняется спектральными чертами человеческого глаза. Присутствие данном хрусталик и офтальмологическое яблоко, действуя равно как вспомогательная фокусирующая оптика, значительно увеличивают сосредоточение энергии в сетчатке, то что, в

собственную очередность, в ряд систем снижает предельно возможный степень облученности зрачка.

Биологический результат лазерного облучения находится в зависимости равно как с типа влияния испускания в материи организма (термическое, фотохимическое), таким образом и с био и физико-химии отличительных черт самих материалов и организаций.

Наиболее рискованно лазерное лучеиспускание с протяженностью волнения:

-380 - 1400 нм — для сетчатки глаза;

-180 - 380 нм и свыше 1400 нм — для передних сред глаза;

-180 - 105 нм — для наружных покровов.

Гигиенистами выдвинуты условия, в согласовании с которыми, в базу проектирования, исследования и эксплуатации лазерной техники обязан являться возложен правило изъятия влияния на здоровье лазерного испускания, равно как непосредственного, таким образом и гладко либо диффузно отображенного.

В согласовании с СНиП 5804-91 лазерные установки согласно уровня угрозы генерируемого испускания подразделяют в 4 класса. Присутствие данного вида угрозы лазерного продукта формируется классом угрозы применяемого в лазере. Систематизацию лазеров с места зрения защищенности выполняет компания-производитель посредством сопоставления выходящих данных испускания с максимально разрешенными степенями присутствие единовременном влиянии.

Установлены последующие 4 класса лазеров:

-к первому причисляют целиком безвредные лазеры, выходящее лучеиспускание каковых никак не предполагает угрозы с целью глаза и покровов лица;

-к второму причисляют лазеры, выходящее лучеиспускание которых предполагает угроза присутствие облучении покровов либо глаза лица коллимированным пучком. В таком случае весь период диффузно отображенное лучеиспускание лазеров данного класса надежно равно как для покровов, таким образом и для глаза;

-к третьему причисляют лазерные приборы, трудящиеся в очевидной сфере диапазона и выходящее лучеиспускание каковых предполагает угроза присутствие облучении равно как глаза, таким образом и покровов;

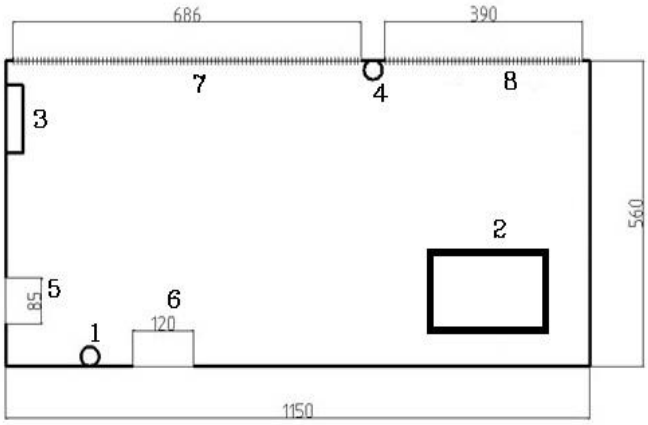
-к четвертому причисляют лазерные приборы, в том числе и диффузно отображенное лучеиспускание каковых предполагает угроза с целью глаза и шкурки в дистанции меньше 10 см.

При определении класса опасности лазерного излучения учитываются три спектральных диапазона (таблица 5.1).

Таблица 5.1 - Классы опасности лазерного излучения

Класс	Диапазон

опасности лазерного излучения	180<λ≤380 нм	380<λ≤1400 нм	1400<λ≤105 нм
	I	II	III
1	+	+	+
2	+	+	+
3	—	+	—
4	+	+	+



1-огнетушитель
2-рабочее место
3-кондиционер
4-огнетушитель
5-выход
6-выход
7-окно
8-окно

Рисунок 26 - Схема помещения

5.4 Защита от лазерного излучения при эксплуатации лабораторной установки

Интервал м/у лазерными продуктами обязано гарантировать безвредные требование работы и практичность эксплуатации, ремонтных работ и сервиса.

Советы с целью класса 3Б:

– Производственное место обязано являться создано подобным способом, для того чтобы устранять вероятность влияния в штат лазерного испускания либо для того чтобы его размер никак не превосходила ДПИ с целью 1-ый класса.

– Производственное место обслуживающего персонала, обоюдное размещение абсолютно всех компонентов (организаций управления, денег отражения данных и иное.) обязана гарантировать целесообразность работников перемещений и предельно принимать во внимание энерго-, высокоскоростные, насильственные и психофизические способности лица.

– Необходимо учитывать присутствие зон с целью размещения сменных элементов, портативной замерной техники.

5.5 Требования по электробезопасности

Лазерные продукта обязаны являться сконструированы и сделаны подобным способом, для того чтобы обеспечивать охрану персонала присутствие эксплуатации, а кроме того присутствие появлении поломок с проигрыша гальваническим током. С целью данного следует осуществить последующие требование:

- Компоненты системы, с какими соприкасается диспетчер в период деятельность лазерного прибора, рекомендовано осуществлять с диэлектрического использованного материала либо причинять в их предохранительное диэлектрическое покрывание.

- Лазерный продукт в полном, а кроме того единичные конструкции обязаны обладать специализированные клеммы либо прочие адаптации с целью подсоединения заземляющих либо зануляющих проводников.

- Все без исключения токопроводящие доли лазерного продукта обязаны являться ограждены и расположены подобным способом, для того чтобы прогонялась вероятность прикосновения к ним присутствие эксплуатации.

- Изолирование лазерного продукта обязана владеть необходимой диэлектрической крепостью, предотвращающей пробивка, а таким образом ведь необходимым гальваническим противодействием, мешающим возникновению излишних токов потери и появлению термического пробоя.

- В случае неполадки обязана являться учтена вероятность незамедлительного отключения лазерного продукта с изначального ключа питания с помощью приборов отключения питания. В случае если механизм отключения питания никак не удовлетворяет данному обстоятельству, необходимо предвидеть

устройство авантюристичной охраны.

- Лазерный продукт при потребности, обязано обладать предостерегающий символ способности проигрыша гальваническим током.

5.6 Эргономические показатели рабочего места

Эргономическими нюансами проектирования работников зон считаются:

- высоты активной плоскости, масштабы места с целью, условия к месторасположению бумаг в трудовом участке;
- интервал с глаза юзера вплоть до экрана, важного документа, клавиатуры и т.д.;
- свойства трудового кресла, условия к плоскости трудового стола;
- контролируемость трудового зоны и его компонентов.

Высота активной плоскости рекомендовано в границах 680-760 миллиметров.

Высота активной плоскости, в какую вводится клавишная панель, обязана являться 650 миллиметров.

Большая роль придается данным трудового кресла. Таким образом, рекомендована высота сиденья над степенью фалда в границах 420-550 миллиметров. Плоскость сиденья рекомендовано выполнять нежной, ведущая область округленной, а ракурс крена спинки трудового кресла - контролируемым.

Положение экрана РЕВ формируется промежутком считывания, домиком считывания, течением мнения в 20 пониже горизонтали к середине экрана, при этом дисплей перпендикулярен данной направленности.

Должна учитываться вероятность регулировки экрана:

- согласно возвышенности +3 см;
- согласно крену с 10 вплоть до 20 сравнительно вертикали;
- в левостороннем и обратном направленностях.

Зрительное удобство определяется 2 главным условиям:

- четкости в экране, клавиатуре и в бумагах;
- освещенности и размеренности яркости среди находящихся вокруг критериями и разными зонами трудового зоны.

Большая роль кроме того придается верной активной позе оператора. Присутствие некомфортной рабочей позы имеют все шансы возникнуть недомогание в мышцах, суставах и сухожилиях. Условия к рабочей позе оператора видеотерминала последующие: шея никак не обязана являться склонена наиболее нежели в 20 (среди осью "головка-шея" и осью тела), плечи обязаны являться ослаблены, локти - быть около домиком 80-100, а предплечья и пясть рук - в горизонтальном состоянии.

Причина ошибочной позы операторов определена последующими условиями: не имеется превосходной подставки с целью бумаг, клавишная панель пребывает очень возвышенно, а бумаги - очень невысоко, не понятно куда уложенные руки, мало места ногам. В целях преодоления отмеченных минусов предоставляются единые советы:

- правильнее переносная клавишная панель, нежели интегрированная;
- обязаны являться учтены специализированные адаптации с целью регулировки возвышенности стола, клавиатуры, бумаг и экрана, а кроме того

опора рук.

Характеристики применяемого трудового зоны:

- высоты активной плоскости стола 750 миллиметров;
- высоты места для ног 650 миллиметров;
- высоты сиденья надо степенью фалда 450 миллиметров;
- плоскость сиденья мягкая с округленным передним окраиной;
- учтена вероятность размещения бумаг с правой стороны и по левую сторону;
- интервал взгляда вплоть до экрана 700 миллиметров;
- интервал взгляда вплоть до клавиатуры 400 миллиметров;
- интервал взгляда вплоть до бумаг 500 миллиметров;
- допустимо урегулирование экрана согласно возвышенности, согласно склону, в левостороннем и в обратном направленностях.

5.7 Расчет освещенности помещения

Правильный свет комнат - единственный с более значимых условий, с каковых находится в зависимости результативность рабочий работы лица.

Хорошее освещение следует с целью исполнения многих проблем оператора. С целью этого, для того чтобы распланировать разумную концепцию освещения, предусматривается особенность трудового задачи, с целью какого формируется концепция освещения, темп и достоверность, с каковой данное производственное поручение обязано осуществляться, продолжительность его исполнения и разные перемены в обстоятельствах исполнения работников действий. Представление здания, в коем находится производственное место.

Помещение, в коем пребывает производственное место оператора, обладает последующие свойства:

– протяженность здания 10,78 м;
– широта здания 5,43 м;
– высоты 4 м;
– количество окошек 3;
– число работников зон 2;
– расцветка внутреннего убранства: белоснежный предел, тускло-зеленоватые стенки, настил окутан линолеумом бледно-каштанового тона.

Расчет освещения трудового зоны.

В помещении, в каком месте пребывает лабораторной оборудование применяется перемешанное свет, т.е. комбинация природного и синтетического освещения.

В свойстве природного - побочное свет посредством окошка.

Искусственное свет применяется присутствие недостающем натуральном освещении. В этом помещении применяется единое ненатуральное свет.

Расчет его исполняется согласно способу светового струи с учетом струи, отображенного с стенок и потолка.

Нормами для данных работ установлена необходимая освещенность рабочего места Ен=300лк (средняя точность работы по различению деталей размером от 1 до 10 мм).

Общий световой поток определяется по формуле:

$$F_{общ} = \frac{E_н \cdot S \cdot z_1 \cdot z_2}{V} \qquad (5.1)$$

где $E_н$ - нормированная освещенность ($E_н$ 300 *лк*);

S - площадь помещения;

z_1 - коэффициент, учитывающий старение ламп и загрязнение светильников(z_1 = 1.5);

z_2 - коэффициент неравномерности освещения помещения (z_2 = 1.1);

V - коэффициент использования светового потока; определяется в зависимости от коэффициентов отражения от стен, потолка, рабочих поверхностей, типов светильников и геометрии помещения.

Площадь помещения

$$S = A \cdot B = 10{,}78 \cdot 5{,}43 = 58{,}54 м^2$$

Выберем из таблицы 5 коэффициент использования светового потока по следующим данным:

- коэффициент отражения побеленного потолка Rп=70%;
- коэффициент отражения от стен, окрашенных в светлую краску Rст=50%;
- индекс помещения.

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{10{,}78 \cdot 5{,}43}{4 \cdot (10{,}78 + 5{,}43)} = \frac{58{,}54}{64{,}84} = 0{,}9$$

Таблица 5.2 - Коэффициент использования светового потока

Тип светильника						
Индекс помещения	ЛСПО1			ЛВ001		
	коэффициент отражения потолка r п, %					
	0	0	0	0	0	0
i	коэффициент отражения стен r с, %					
	0	0	0	0	0	0

	коэффициент использования h , %					
0,5	5	3	2	3	3	0
0,6	1	9	6	7	6	3
0,7	5	3	0	9	8	5
0,8	8	6	2	1	9	7
0,9	1	8	5	3	1	8
1,0	3	0	7	4	2	0
1,5	0	6	4	9	7	5
2	4	0	8	1	9	8
3	9	4	2	5	2	1
4	1	6	5	6	4	2
5	3	8	7	8	5	4

Сокращенные обозначения светильников (по ГОСТ 17677–82):

ЛСПО1 – светильник с люминесцентной лампой (Л), подвесной (С), для промышленных зданий (П), серии 01.

ЛВ001 – то же (Л), встраиваемый в подвесной потолок (В), для общественных зданий (О), серии 01.

Найденный коэффициент V = 0.23.

По формуле определяем общий световой поток:

$$F_{общ} = \frac{300 \cdot 58{,}54 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}5}{0{,}23} = 125988 \text{ лм} \qquad (5.2)$$

Ради формировании всеобщего искусственного освещения подберем лампы вида ЛБ40.

Люминесцентные лампы обладают несколько положительных сторон пред лампами накаливания:

- их диапазон аналогичный к природному;
- они обладают значительную экономность и период работы, нежели лампы накаливания (в 10-12 раз).

Наряду с этот существуют и минусы:

- их деятельность сопутствуется в некоторых случаях шумом;
- сквернее функционируют при невысоких температурах;
- их невозможно использовать в взрывоопасных комнатах; обладают незначительную пассивность.

Для нашего здания люминесцентные лампы подойдут. Светящийся течение одной лампы ЛБ40 является никак не меньше Fл=2810 лм. Количество N ламп, требуемых с целью формировании всеобщего освещения формируется согласно составе:

$$N = \frac{F_{общ}}{F_{л}} = \frac{125988}{2810} = 44 \qquad (5.3)$$

В свойстве светильников подбираем ЛВ001 , 4х40 Вт.

Таким способом, для того чтобы гарантировать оптический поток Fобщ=125988 лм необходимо применять 12 светильников согласно 4 лампы ЛБ40 в любом.

Электрическая мощь одной лампы ЛБ40 Wл=40 Вт.

Мощность целой осветительной системы:

$$W_{общ} = W_{л} \cdot N = 40 \cdot 48 = 1920 \text{ Вт} \qquad (5.4)$$

Все единые условия к освещение комнат органов применимы кроме того к освещение работников зон у экранов дисплейных приборов.

Однако существует значительный несколько отличительных черт деятельность у экранов, какие следует принимать во внимание.

Кроме кропотливого лимитирования отображения данное связывается, в первую очередь в целом, с верным подбором степени освещенности и трудностей снижения скачков яркости присутствие перемене поля зрения. Список источников освещение, подобные равно как светильники и окна, которые предоставляют отображение с плоскости экрана, существенно усугубляют чёткость символов.

Наиболее значимым считается соответствие яркостей присутствие обычных критериях деятельность, т.е. свет в трудовом участке приблизительно 300 лк, и посредственная насыщенность наполнения видеоэкрана.

Отражение равно как в экране, таким образом и в трудовом столе и клавиатуре влечет из-за собою нарушения физического характера, какие имеют все шансы сказать в существенном усилии, в особенности при длительной службе.

Отражение, в том числе отображения с второстепенных ключей освещение, обязано быть сведено к минимальному количеству.

6 Бизнес план

Актуальность дипломной работы в том, что существует необходимость качественной подготовки специалистов, владеющих практическими навыками в работе с измерительной аппаратурой.

Лабораторный стенд удовлетворяет требованиям нормативных документов в отношении лазерной безопасности, электробезопасности,

эргономических показателей рабочего места.

Критерии оценки эффективности лабораторного стенда «Измерение параметров волоконно-оптического тракта»:

– схема стенда отличается простотой, сравнительно низкой стоимостью реализации, но вместе с тем гибкостью, возможностью подключения другой измерительной аппаратуры, кроме оптического рефлектометра и тестера, а текже пассивных компонентов (оптического аттенюатора, оптического разветвителя, оптического коммутатора и др.);

– возможность использования в учебном процессе с целью обеспечения высокого уровня

подготовки специалистов:

- при проведении лабораторного практикума;

- при проведении учебных занятий;

– возможность использования в инновационной деятельности;

– возможность использования в научной работе.

Цель проекта: Расчет стоимости проектированного стенда для исследования параметров оптического волокна.

Поскольку проектное решение является лабораторным комплексом, предназначенным для обучения студентов, и разработка его конструкции, монтаж производились лично мной, то экономические расчеты показателей эффективности будут лежать в плоскости сравнения с возможно реальными затратами университета.

Созданный лабораторный комплекс, поможет обучающимся на практике познакомиться с основными методами измерения параметров волоконно-оптического тракта.

Предложенная конструкция стенда делает его удобным в эксплуатации и обслуживании, обеспечивает гибкость для дальнейшего развития измерительного комплекса.

Разработанная модель лабораторного стенда, предназначена для изучения студентами раздела курса «Оптические системы связи».

6.1 Маркетинг

Цена лабораторного стенда. Цена разработанной программы в рыночной экономике рассчитывается на основе принципов рыночного ценообразования. Для этого производится аналитические расчеты и оценки.

Цены устанавливаются в зависимости от их назначения и разработки: уникальные, по заказу, специализированные и универсальные рыночные.

Определяющими факторами для формирования рыночной цены являются:

-потребность (спрос) программных продуктах определенного типа;

-количество потенциальных покупателей и их финансовые возможности;

-наличие конкурентов;

-качество;

-удобство в пользовании;

-реклама.

Необходим анализ реальных ситуаций, возникающих на рынке программных средств. Первоначальные затраты на разработку программы являются постоянными затратами, возмещение которых, как правило в существующих экономико-математических моделях не учитывается. Как правило, продавцы пытаются получить максимальную выручку от продажи. В этом случае поиск рыночной цены можно записать виде оптимальной модели, формула (6.1).

$$В_р = Ц\ К_с > макс, \qquad (6.1)$$

где $В_р$ – выручка, тг.;

Ц – искомая цена, тг.;

$К_с$ – количество копий, которые будут проданы по цене "Ц".

Цена – это денежное выражение стоимости. Она включает в себя полную себестоимость, установленный размер прибыли, НДС, определяется по формуле (6.2)

$$Цена = С\backslash Спол + прибыль + НДС, \qquad (6.2)$$

где Цена – денежное выражение стоимости лабораторного стенда;

$С\backslash С_{пол}$ – стоимость разработки лабораторного стенда(Ср).

Прибыль – зависит от спроса и предложения определяется в % от стоимости разработки лабораторного стенда ($С_р$); 5%.

НДС – налог на добавленную стоимость, определяется в % от суммы стоимости разработки лабораторного стенда и прибыли. 12% от суммы стоимости.

$$Цена = 71058 + 26400 + 14211{,}6 + 8526{,}9 = 273379{,}5\ тг.$$

Прибыль может составить 20 % от полной себестоимости.

По данным расчетов построим структурную диаграмму: цены изделия, рисунок 27. Например:

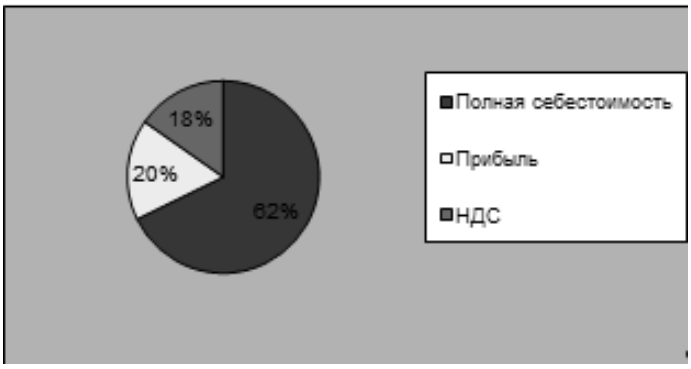


Рисунок 27 – Диаграмма цены изделия

Несмотря на то, что прибыль является важнейшим экономическим показателем работы предприятия, она не характеризует эффективность его работы. Для определения эффективности работы предприятия необходимо сопоставить результаты (в данном случае прибыль) с затратами или ресурсами, которые обеспечили эти результаты.

Одним из важнейших показателей эффективности работы предприятия является рентабельность. *Рентабельность* – это относительная величина, выраженная в процентах и характеризующая эффективность применения в производстве (авансированных) ресурсов общественного труда или текущих издержек производства.

Предприятие, осуществляющее хозяйственную деятельность, заинтересовано не только в получении максимальной прибыли, но и эффективности использования вложенных в производство средств, исчисляемых размером прибыли, полученной предприятием за определенный период времени (месяц, квартал, год), на одну денежную единицу производственных фондов, капитала, оборота (реализованной продукции) инвестиций, текущих издержек производства. При анализе хозяйственной деятельности предприятия и разработке планов развития производства различают показатели рентабельности капитала и продукции, инвестиций и оборота, рентабельность производства и др.

Цены устанавливаются в зависимости от их назначения и разработки: уникальные, по заказу, специализированные и универсальные рыночные.

Определяющими факторами для формирования рыночной цены являются:

- потребность (спрос) программных продуктах определенного типа;
- количество потенциальных покупателей и их финансовые возможности;
- наличие конкурентов;
- качество;
- удобство в пользовании;
- реклама.

Таблица 6.1 – Расчет затрат на лабораторный стенд [7,8]

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, тг.	Итого, тг.
Лабораторный штатив комбинированный	10	10000	100000
LR-018 Лазер 150 мв (зеленый цвет)	10	7000	70000
LR-018 Лазер 150 мв (красный цвет)	10	7000	70000
Итого	-	-	240000

Исходными данными для расчета являются:

- заработная плата техника (инженера) – программиста ($ЗП_{ср.мес.}$) – 200000тг.;
- стоимость компьютера ($С_{комп.}$) – 100000 тг.;
- нормативный срок службы оборудования ($Т_{н.}$) - 5 лет;
- сумма потребляемой мощности ($М_{п.}$) - 0,5 кВт;
- стоимость 1 кВт ($Ц_{э}$) – 25 тг.

Таблица 6.2 - Этапы разработки лабораторного стенда

Этапы разработки	Время, час
Постановка задачи	4
Разработка схемы	6
Создание схемы	12
Итого:	22
В том числе время установки:	16

6.2 Расчет стоимости лабораторного стенда и экономического эффекта ее внедрения

Целью данной части проекта является расчет полной стоимости лабораторного стенда и экономической эффективности от внедрения установки.

Стоимость одного часа машинного времени рассчитывается по формуле

$$С_{мч}=С_{экс}/Т_{эф}\cdot К_{исп}, \qquad (6.3)$$

где $С_{экс}$ – годовые эксплуатационные расходы, тг.;

$Т_{эф}$ - годовой эффективный фонд времени, час;

$К_{исп}$ – коэффициент использования стенда и времени разработчика, коэффициент использования стенда принимаем 0,9.

$С_{мч}$=8675008,7/2223*0,9=4335,9 тг.

Годовой эффективный фонд времени рассчитывается по формуле (6.4)

$$Т_{эфф}=(t_{рд}\cdot N_{см}\cdot Д_{рд})–(t_{пт}\cdot N_{см}\cdot Д_{рд}), \quad (6.4)$$

где $t_{рд}$ – продолжительность рабочего дня, час;

$N_{см}$ – количество смен;

$Д_{рд}$ – количество рабочих дней;

$t_{пт}$ – регламентированные потери рабочего времени.

В университете продолжительность смены 10 часов, работа идет в 1 смену, в 2015 году 247 рабочих дней, за рабочим предусмотрен регламентированный перерыв 1 час.

$$Т_{эфф}=(10\cdot1\cdot247)–(1\cdot1\cdot247)=2223час$$

Эксплуатационные расходы также являются неотъемлемой частью затрат на разработку программы, рассчитываются по формуле (6.5)

$$С_{эксп}=ЗП_{ср.год}+А_{год}+С_{н.р.}+С_{э} \quad (6.5)$$

где $ЗП_{ср.год.}$ – среднегодовая заработная плата разработчика, он же занимается обслуживанием, рассчитывается по формуле (6.6);

$А_{год.}$ – годовые амортизационные отчисления, тг. рассчитывается по формуле (5);

$С_{н.р.}$ – накладные расходы, тг.;

$С_{э}$ – стоимость потребляемой электроэнергии за год, тг.

$$ЗП_{ср.год.}=ЗП_{ср.мес.}\cdot Ч\cdot12, \quad (6.6)$$

где $ЗП_{ср.мес.}$ – среднемесячная заработная плата, тг.;

Ч - численность рабочих, чел.

$$ЗП_{ср.год.}=200000\cdot1\cdot12=24000000тг.$$

$$А_{год.}=С_{комп}\cdot Н_{а}\%/100\%, \quad (6.7)$$

где $С_{комп}$ – стоимость компьютера, тг.;

$Н_{а}$ – норма амортизации, %, рассчитывается по формуле (6.8);

$$Н_а=100/Т_{н,} \quad (6.8)$$

где Тн – нормативный срок службы оборудования, лет.

$Н_а$=100/5=20 %,

$А_{год}$.=100000 · 20%/100%=10000тг

$С_{эксп}$=24000000+10000+6240000+25008,7=8675008,7тг.

Накладные расходы (Сн.р.) в условиях университета равняются 40 % от заработной платы техника – программиста, рассчитываются по формуле (6.9). Сюда включаются затраты на содержание помещения, оборудования, управленческие затраты.

$$С_{н.р.}=ЗП_{сред.год.} \cdot 260\%/100\%, \quad (6.9)$$

$$С_{н.р.}=24000000 \cdot 260\%/100\%=6240000тг.$$

$$С_э=М_п \cdot Т_{эфф} \cdot Ц_э \cdot К_{исп}, \quad (6.10)$$

где $С_э$ - стоимость потребляемой электроэнергии за год, тг.;

$М_п$ – сумма потребляемой мощности, кВт;

$Т_{эфф}$ – годовой фонд рабочего времени, час;

$Ц_э$ – стоимость 1 кВт, тг.;

$К_{исп}$ – коэффициент использования мощности, принимается 0,9.

$$С_э=0,5 \cdot 2223 \cdot 25 \cdot 0,9=25008,7тг.$$

6.3 Расчет стоимости разработки лабораторного стенда

Стоимость разработки программы рассчитывается по формуле (6.11)

$$С_р=ЗП_{р.чел} \cdot n_1+С_{м\ час} \cdot n_{2,} \quad 6.12)$$

где $С_р$ – стоимость разработки программы;

$ЗП_{р.чел}$ – средняя часовая заработная плата разработчика техника (инженера) программиста с отчислениями на социальные нужды;

$С_{м\ час}$ – стоимость машинного часа;

n_1 и n_2 – соответственное количество чел.-часов разработчика и машинных часов.

$$ЗП_{р.чел}=ФЗП_{год}/Т_{эфф}, \quad (6.13)$$

где $Т_{эфф}$ – годовой эффективный фонд времени, час.

$ФЗП_{год}$ – годовой фонд заработной платы, рассчитывается по формуле (11).

$$ФЗП_{год}=ЗП_{ср.год}.+\text{социальный налог}, \quad (6.14)$$

где $ЗП_{ср.год}$ - среднегодовая заработная плата разработчика, тг.

Социальный налог составляет 11% от $ФЗП_{год}$

$$ФЗП_{год}=24000000+2640000=26640000тг.$$

$$ЗП_{р.чел}=26640000/2223=11983,8тг.$$

$$Сн=0,11(ФЗП_{год}-0,1\cdot ФЗП_{год}),$$

$$Сн=0,11\cdot (26640000-0,1\cdot 26640000)=2637360 \text{ тг.}$$

Таким образом, стоимость разработки стенда рассчитывается по формуле

$$C_р=ЗП_{р.чел}\cdot n_1+C_{м\ час}\cdot n_2,$$

$$C_р=280,7\cdot 6+4335,9\cdot 16=71058,6 \text{ тг},$$

где $C_р$ – стоимость разработки программы;

$ЗП_{р.чел}$ – средняя часовая заработная плата разработчика техника (инженера) программиста с отчислениями на социальные нужды;

$C_{м\ час}$ – стоимость машинного часа;

n_1 и n_2 – соответственное количество чел.-часов разработчика и машинных часов.

6.4 Анализ технико-экономического расчета

Материально-техническое обеспечение учебного процесса - необходимое условие качества образования. Ввод в эксплуатацию разработанного лабораторного стенда *повышает* такой из показателей определения уровня обеспеченности ресурсами, как *стоимость учебно-лабораторной базы.*

Критерии оценки эффективности лабораторного стенда «Измерение параметров волоконно-оптического тракта»:

– возможность использования в учебном процессе с целью обеспечения высокого уровня подготовки специалистов:

- при проведении лабораторного практикума;
- при проведении учебных занятий;
– возможность использования в инновационной деятельности;
– возможность использования в научной работе.

6.5 Вывод по разделу «Экономическая часть»

Актуальность дипломной работы в том, что существует необходимость качественной подготовки специалистов, владеющих практическими навыками в работе с измерительной аппаратурой.

Лабораторный стенд удовлетворяет требованиям нормативных документов в отношении лазерной безопасности, электробезопасности, эргономических показателей рабочего места.

Критерии оценки эффективности лабораторного стенда «Измерение параметров волоконно-оптического тракта»:

– схема стенда отличается простотой, сравнительно низкой стоимостью реализации, но вместе с тем гибкостью, возможностью подключения другой измерительной аппаратуры, кроме оптического рефлектометра и тестера, а текже пассивных компонентов (оптического аттенюатора, оптического разветвителя, оптического коммутатора и др.);

– возможность использования в учебном процессе с целью обеспечения высокого уровня

подготовки специалистов:

- при проведении лабораторного практикума;
- при проведении учебных занятий;
– возможность использования в инновационной деятельности;
– возможность использования в научной работе.

Заключение

В данной дипломной работе я составил техническое задание на проектирование, привел теоретические и методологические предпосылки создания проекта, рассмотрел вопросы организационно-экономического обоснования таких работ, рассмотрел вопросы охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

Работа дает возможность студенту наглядно ознакомиться с методами измерения характеристик оптического волокна, а также возможность дальнейшей модернизации лабораторного макета, с целью его усовершенствования. А так же экономит финансовую сторону университета.

Лабораторный стенд удовлетворяет требованиям нормативных документов в отношении лазерной безопасности, электробезопасности, эргономических показателей рабочего места.

Список литературы

1 Носов Ю.Р. Дебют оптоэлектроники.- Б-ка "Квант", вып.84, М.: Наука, 2010.

2 Окоси Т., Окамото К., Оцу М., Нисихара Х., Кюма К., Хататэ К. Волоконно-оптические датчики.- Пер. с япон. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр.отд., 2012.

3 Бутусов М.М., Галкин С.Л., Оробинский С.П., Пал Б.П. Волоконная оптика и приборостроение.- Л.: Машиностроение. Ленингр.отд., 2012.

4 Бутусов М.М., Верник С.М. Волоконно-оптические системы передачи. Учебник для вузов.- М.: Радио и связь, 2010.

5 Гонда С., Сэко Д. Оптоэлектроника в вопросах и ответах.- Л.: Энергоатомиздат, 2009.

6 Гроднев И.И., Курбатов Н.Д. Линии связи. - М.: Связь, 2011. — 440 с.

7 http://almaty.satu.kz/p826215-shtativ-laboratornyj-kombinirovannyj;all.html?no_redirect=1

8 http://almaty.satu.kz/p11812518-zelenaya-lazernaya-ukazka.html

Приложения А

Расчет апертурного угла для красного, зеленого и красного ЛД

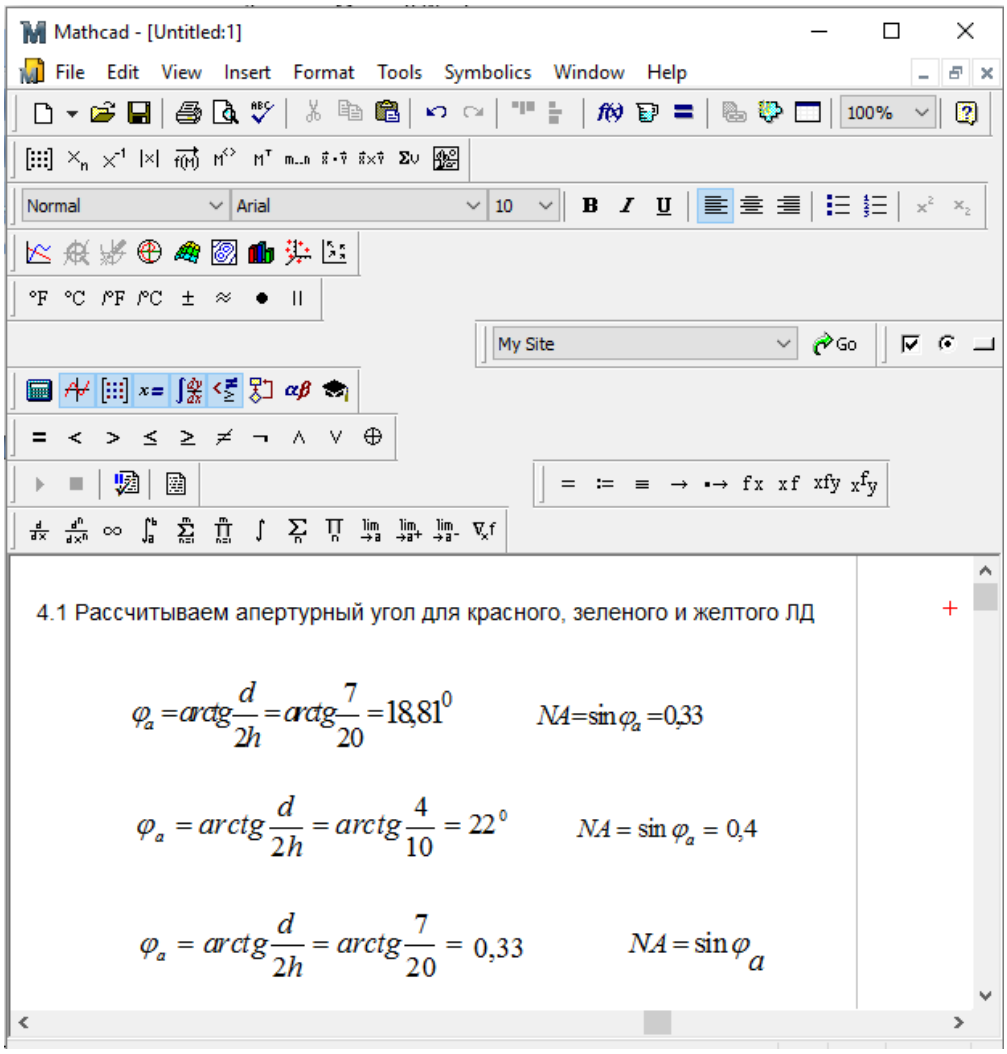


Рисунок 1 А - Расчет апертурного угла для красного, зеленого и красного ЛД

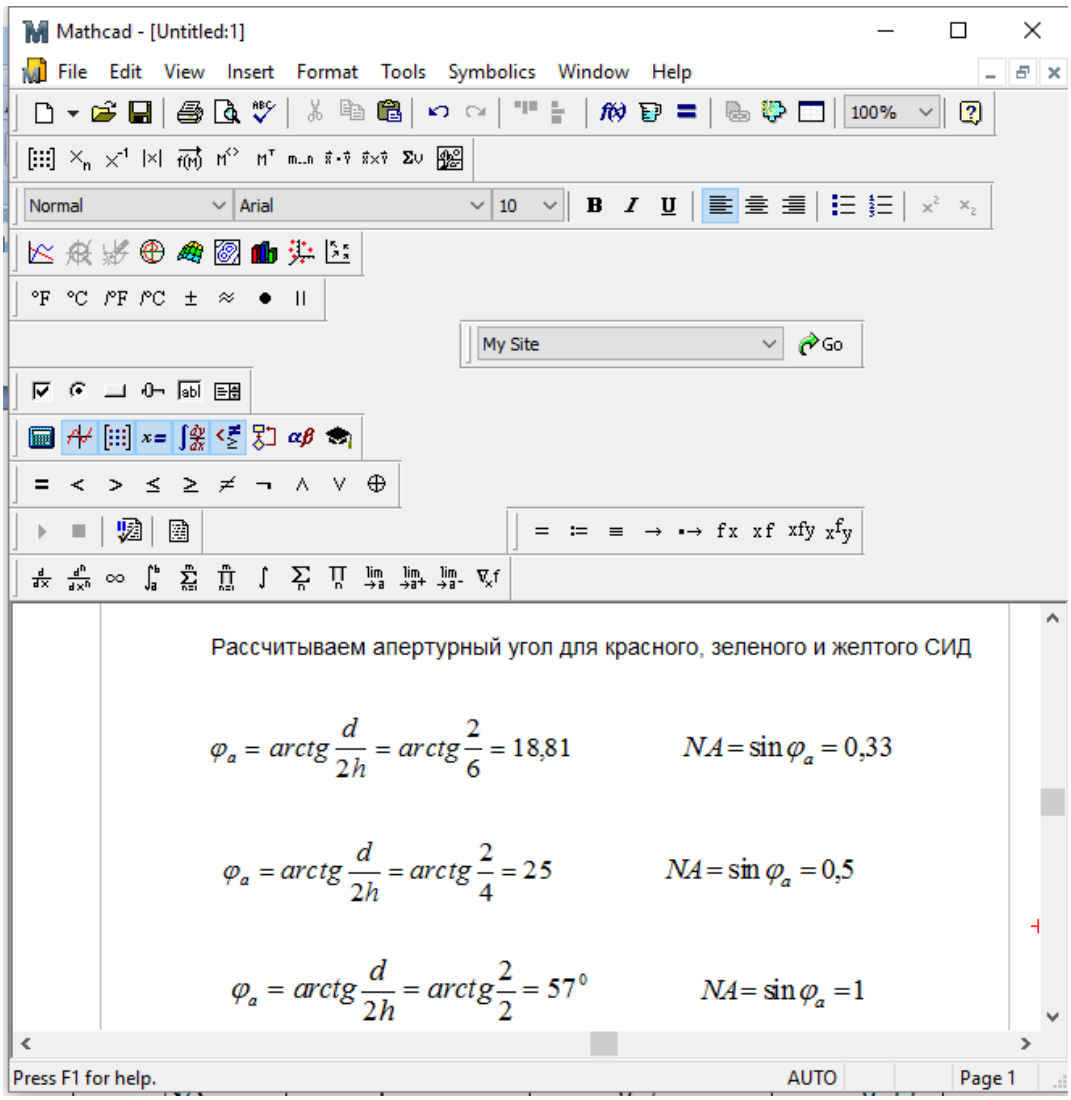


Рисунок 2 А - Расчет апертурного угла для красного, зеленого и желтого СИД

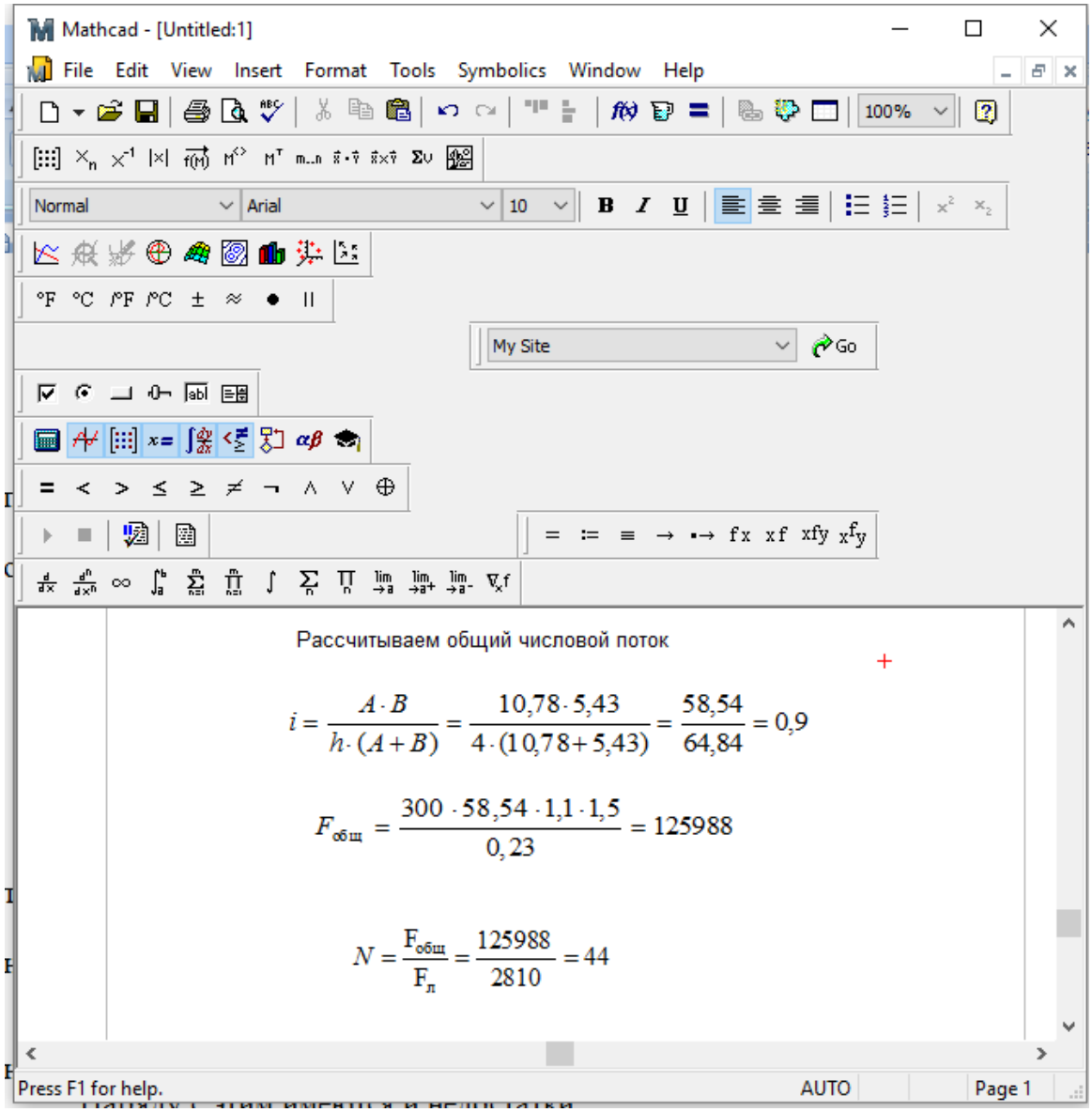


Рисунок 3 А - Рассчитываем общий числовой поток

Приложения Б

Построил график зависимости числовой апертуры от длины волны на программе Microsoft Office Excel

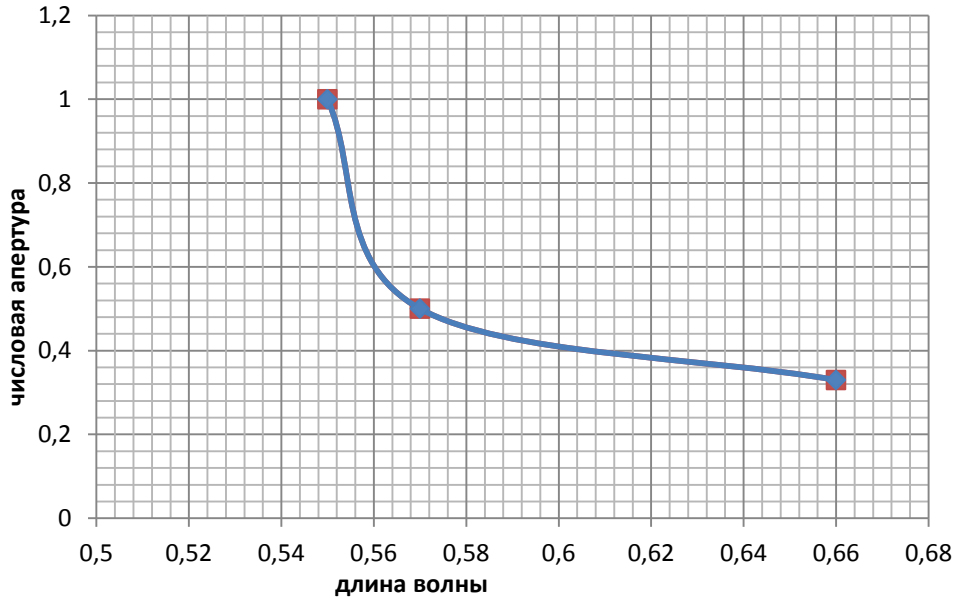


Рисунок 1 Б - Построил график зависимости числовой апертуры от длины волны на программе Microsoft Office Excel

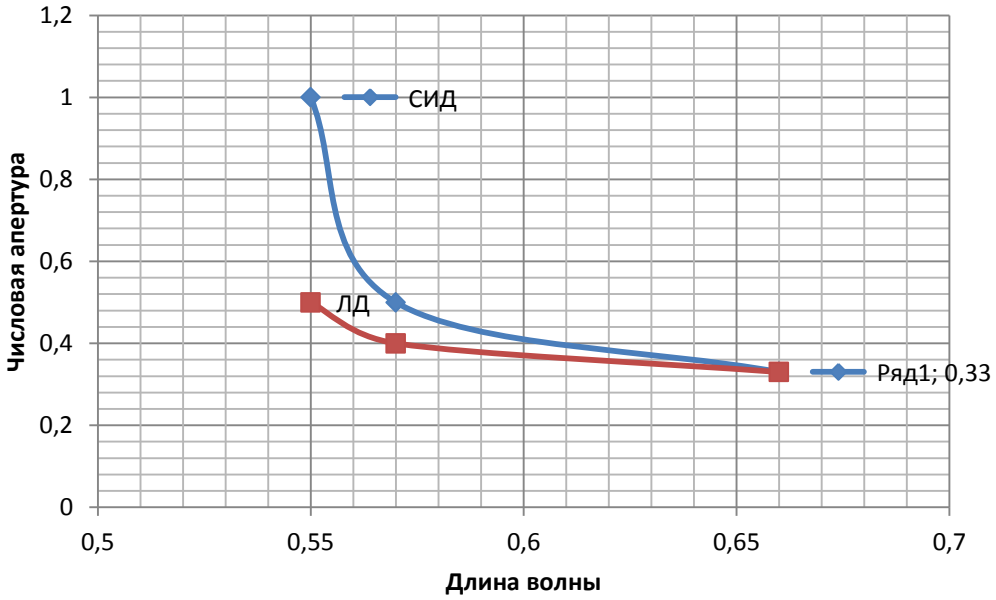


Рисунок 2 Б - Сравнительная характеристика ЛД и СИД на программе Microsoft Office Excel