МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

1. Факультет \_\_\_\_\_Інформаційних технологій та електроніки

(повне найменування факультету)

1. Кафедра Електронних апаратів

(повна назва кафедри)

* 1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_бакалавр\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальность 171 «Електроніка»

(шифр і назва напряму підготовки)

на тему

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | **Дослідження методів побудови одноволоконних оптичних систем передачі інформації** | **Розробка високочастотного генератора гармонійних коливань** | |  |  | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Виконав: студент групи ЕПС-15з | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | О. В. Соболєва |
| Керівник | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | О.М. Іванов |
| Завідувач кафедри | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | В.М. Смолій |
| Рецензент | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ | В.М. Смолій |

Сєвєродонецьк – 2019

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Формат | Зона | Поз. | | Обозначение | | | | Наименование | Кол. | | Примечание | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
| А 4 |  | 1 | | ДПБ 171.9 ПЗ | | | | Пояснювальна записка | 1 | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
| А4 |  |  | | ДПБ 171.9 ГЧ | | | | Графічна частина | 17 | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | | . |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  |  |  | |  | | | |  |  | |  | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | |  | |  |  | ДПБ 171.9 ВП | | | | | | | |
|  |  | |  | |  |  |
| Изм | Лист | | № докум. | | Подпись | Дата |
| Разраб. | | | Соболєва | |  |  | Дослідження методів побудови одноволоконних оптичних систем передачі інформації | | | Лит. | | | Лист | Листов |
| Провер. | | | Іванов | |  |  |  |  |  | 2 | 76 |
| Реценз. | | | Смолій | |  |  | СНУ гр. ЕПС-15з | | | | |
| Н. контр | | |  | |  |  |
| Утв. | | | Смолій | |  |  |

**СХІДНОУКРАІНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

Інститут, факультет, відділення **інформаційних технологій та електроніки**

Кафедра **електронних апаратів\_\_\_**

Освітньо-кваліфікаційний рівень \_**бакалавр**\_\_\_\_\_\_

Спеціальность 171 «Електроніка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕА

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_2019 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

**Соболєва Олена Вікторівна**

1. **Тема проекту: Дослідження методів побудови одноволоконних оптичних систем передачі інформації.**
2. **Керівник проекту:** к.т.н. доц. О.М. Іванов

(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 8.04.2019 р. №\_\_55/15.14

1. **Строк подання студентом проекту \_\_**10 червня 2019 р.**\_**
2. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Вступ

2. Основні параметри та характеристики волоконно-оптичних ліній зв’язку

3. Технічна реалізація ВОЛЗ

4. Принципи побудови та основні особливості ВОЛЗ та МТМ

5. Основи проектування систем волоконно – оптичного зв’язку

6. Охорона праці

7. Висновки

1. **Консультанти розділів проекту**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
| Завдання видав | Завдання прийняв |
| Охорона праці | Асс. каф. ЕА. Купина О. А. |  |  |

6. Дата видачі завдання\_\_\_\_\_\_\_\_26 квітня 2019 року\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва етапів дипломного  Проекту (роботи) | Строк виконання  етапів проекту  (роботи) | | Примітка |
|  | Вступ | 30.04.19 | |  |
|  | Основні параметри та характеристики волоконно-оптичних ліній зв’язку | 01.05.19 | |  |
|  | Технічна реалізація ВОЛЗ | 15.05.19 | |  |
|  | Принципи побудови та основні особливості ВОЛЗ та МТМ | 25.05.19 | |  |
|  | Основи проектування систем волоконно – оптичного зв’язку | 01.06.19 | |  |
|  | Охорона праці | 05.06.19 |  | |
|  | Висновки | 08.06.19 |  | |
|  | Оформлення пояснювальної записки дипломного проекту. | 10.06.19 |  | |

**Студент\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** **О. В. Соболєва**

**Керівник проекту\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_** **О.М. Іванов**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **РЕФЕРАТ**  Пояснительная записка к дипломному проекту содержит:  Страниц - 76 , рисунков – 15, таблиц – 8, источников литературы – 13 .  **Объект исследования** – волоконно-оптические линии связи.  **Цель работы –**  исследование методов построения одноволоконных оптических систем передачи информации.  В данной дипломной работе проведено исследование принципов построения и функционирования волоконно-оптических линий связи. Рассмотрены основные положения технической реализации ВОЛС. Проведено исследование методов построения одноволоконных оптических систем передачи информации. Проведены расчеты для различных видов таких систем.  **ОПТОЭЛЕКТРОНИКА, ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ, ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ, ОПТИЧЕСКИЙ ПЕРЕДАТЧИК, ОПТИЧЕСКИЙ ПРИЕМНИК, ЛАЗЕРЫ.** | | | | | | | | | | |
|  |  |  |  |  | ДПБ 171.9 ВП | | | | | |
|  |  |  |  |  |
| Изм | Лист | № докум. | Подпись | Дата |
| Разраб. | | Соболєва |  |  | Дослідження методів побудови одноволоконних оптичних систем передачі інформації | Лит. | | | Лист | Листов |
| Провер. | | Іванов |  |  |  |  |  | 2 | 76 |
| Реценз. | | Смолій |  |  | СНУ гр. ЕПС-15з | | | | |

СОДЕРЖАНИЕ

Список условных сокращений…………………………………………………7

Введение…………………………………………………………………………8

1. Основні параметри і характеристики волоконно-оптичних ліній зв'язку…………………………………………………………………………..12

2. Технічна реалізація ВОЛЗ………………………………………………….21

2.1. Основні елементи і конструкція ВОЛЗ…………………………….........21

2.2. Волоконно-оптичні системи передачі…………………………………..30

3. Дослідження методів побудови одноволоконних оптичних систем передачі інформації……………………………………………………….......................37

3.1. Волоконнооптичні системи передачі на основі різних способів розгалуження оптичних сигналів.…………………………………………….37

3.2. Волоконооптичну система передачі, заснована на використанні поділу різноспрямованих сигналів за часом…………………………………..……..40

3.3. Волоконооптичну система передачі, на основі використання різних видів модуляції.…………………………………….…………………………………43

3.4. Волоконооптичну система передачі з одним джерелом випромінювання

.............................................................................................................................47

3.5. Вибір способу організації одноволоконного оптичного тракту……….49

3.6. Структурна схема оптичного передавача………………………………..50

4. Охрана труда…………..................................................................................52

4.1 Лазерная безопасность…………………………………………………….52

4.2. Требования к размещению лазерных изделий………………………….57

4.2. Мероприятия по производственной санитарии.………………………...59

4.3. Требование к освещению и расчёт освещённости………………………67

Выводы………………………………………………………………………….75

Список литературы …………………………………………………………….76

**СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

ИК – инфракрасная область;

УФ – ультрафиолетовая область;

ВОЛС – волоконно – оптические линии связи;

ВОСП – волоконно – оптические системы передачи;

ВОК - волоконно-оптический кабель;

СП – система передачи;

АЧХ -амплитудно-частотная характеристика;

ФЧХ -фазо-частотная характеристика;

ФСИ – формирователь сигналов изображения;

ФВС – формирователь видеосигналов;

ФПЗС – фотоэлектрические приборы с зарядовой связью;

СИД – светодиод;

ЛГ - лазерный генератор;

ЦСП – цифровая система передчи;

ПДК – прельно допустимая концентрация.

**ВВЕДЕНИЕ**

Оптоэлектроника - это раздел электроники, связанный главным образом с изучением эффектов взаимодействия между электромагнитными волнами оптического диапазона и электронами вещества и охватывающий проблемы создания оптоэлектронных приборов, в которых эти эффекты используются для генерации, передачи, обработки, хранения и отображения информации.

Принципиальные достоинства оптоэлектроники обусловлены специфическими особенностями электромагнитных волн оптического диапазона, отличительными свойствами фотона как носителя информации и проявляются в следующих основных моментах:

1. Высокочастотность. Частота оптических колебаний на 3—5 порядков выше, чем в освоенном радиотехническом диапазоне, — это значит, что во столько же раз возрастает и пропускная спо­собность оптического канала передачи информации.
2. Острая фокусировка. Согласно дифракционной теории лоток излучения принципиально может быть сфокусирован до пятна с поперечным линейным размером около ; таков же и минимальный шаг дискретности оптических воздействий. Это значит, что максимальная плотность записи оптической информации может достигать , т. е. 109... 1010 бит/см2.
3. Направленность. Угловая расходимость луча, обусловленная фундаментальными дифракционными пределами, , где А -апертура излучателя. Вследствие малости , при практически реализуемых значениях А удается снизить  до уровня десятков и единиц угловых секунд.
4. Развязка. Использование в качестве носителя информации электрически нейтральных фотонов обусловливает бесконтактность оптической связи. Отсюда следуют идеальная электриче­ская развязка входа и выхода; однонаправленность потока информации и отсутствие обратной реакции приемника на источник; помехозащищенность оптических каналов связи; скрытность пере­дачи информации по оптическому каналу связи.
5. Визуализации. Оптоэлектроника, охватывающая видимый диапазон электромагнитного спектра, позволяет преобразовывать информацию, представленную в электрической форме, в зрительную, т. е. в форму, наиболее удобную зля восприятия.
6. Фоточувствительность. Это свойство делает возможным вос­приятие образов, т. е, преобразование поля излучения в адекватное ему электрическое информационное воздействие (обычно в видеосигнал). При этом в отличие от человеческого глаза опто-электронный прибор может «видеть» предметы в любой требуе­мой области оптического спектра.
7. Пространственная модуляция. Электронейтральность фотонов обусловливает невзаимодействие (несмешиваемость) отдельных оптических потоков. Вследствие этого, в отличие от электрического тока, поток фотонов может быть промодулирован не только во времени, но и в пространстве, что открывает огромные возможности для параллельной обработки информации — непременного условия создания сверхпроизводительных вычислительных систем.

Разнообразие физических эффектов предопределило большое количество различных приборов оптоэлектроники. Основными из них являются:

Индикаторы — электрически управляемые приборы для систем визуального отображения информации. Они находят широчайшее применение, начиная от электронных часов и микрокалькуляторов, табло и приборных щитов и кончая дисплеями в системе человек— ЭВМ. Развитие индикаторной техники подошло к созданию плос­ких экранов телевизионного типа. Физическую основу приборов индикаторного типа составляют разные виды электролюминесценции (для приборов с активным светящимся растром) и электрооптические явления (для приборов с пассивным светоотражающим растром). В промышленности наиболее широко представлены жид­кокристаллические, полупроводниковые (светодиодные), вакуум­ные люминесцентные, газоразрядные индикаторы. Эти изделия вы­полняются в виде цифровых и цифро-буквенных индикаторов, многоразрядных монодисплеев, универсальных информационных плоских экранов, отображающих цифры, буквы, символы, графики, а также подвижные двумерные картины.

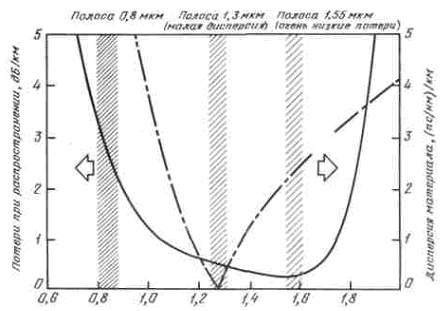
Формирователи сигналов изображений (ФСИ) или формирова­тели видеосигналов (ФВС) — приборы, предназначенные для преобразования образов (изображений) в адекватную им последовательность электрических сигналов. Основное применение эти при­боры находят в телевизионных передатчиках, а также в фототе­леграфии, при считывании информации на входе ЭВМ, в приборах контроля технологических процессов и т. п. Миниатюрные твердотельные ФСИ совместно с микропроцессорами используются при разработке систем искусственного зрения роботов, а в будущем и человека. Работа приборов базируется на физике фотоэлектрических явлений. Типичными представителями являются фоточувствительные приборы с зарядовой связью (ФПЗС) — многоэлемент­ные интегральные фотоприемники со встроенным электронным самосканированием, обеспечивающим последовательное считывание информации со всех фоточувствительных ячеек.

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) — устройства и системы, основу которых оставляет гибкий волоконно-оптический световод (в виде кабеля), сочлененный с излучателем на одном (передающем) конце и с фотоприемником — на другом (прием­ном). Они выполняют функции линий связи и передачи данных: это сверхкороткие линии (до 1 м) для обмена информацией в вы­соковольтной аппаратуре; короткие бортовые и внутриобъектовые ВОЛС (5... 1000 м); линии средней протяженности (1...20 км), составляющие основу межмашинных интегральных сетей переда­чи данных и разветвленных внутригородских АТС; магистральные ВОЛС длиной в тысячи километров, в том числе меж- и транскон­тинентальные, а также подводные. Физическую основу ВОЛС составляют процессы распростране­ния оптических сигналов по волоконному световоду, а также свето-генерационные и фотоэлектрические явления в излучателе и при­емнике. Для технической реализации используются главным обра­зом сверхчистые кварцевые световоды, полупроводниковые гетеро-лазеры и светодиоды на соединениях А3В5, фотодиоды (лавинные и с р-i-n-структурой) на основе кремния и соединений А3В5. Темой данной работы является исследование методов построения одноволоконных оптических систем передачи информации.

1. **Основные параметры и характеристики волоконно-оптических линий связи**

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) представляют собой приборную реализацию такого вида связи, особенностью которого является передача информации с помощью оптических сигналов по волоконным световодам. Подлежащие передаче электрические сигналы (например, последовательность импульсов с выхода ЭВМ) через электронную схему возбуждения поступают на полупроводниковый излучатель и преобразуются в нем в оптичес­кие сигналы; излучение, закодированное этими сигналами, вво­дится в волоконный световод и распространяется по нему на требуемое расстояние; на приемном конце осуществляется фотоэлектрическое преобразование оптических сигналов в электрические и их усиление в электронной схеме приемника. Волоконный све­товод (основа ВОЛС) — тонкая гибкая нить, изготовленная из прозрачного материала таким образом, что ее центральная часть оптически более плотная, чем периферийные области. Вследствие этого сколлимированный луч света, направляемый на торец волокна, распространяется вдоль его оси и может пройти с малым затуханием значительное расстояние.

Внешний диаметр оболочки световода имеет стандартный размер 125 мкм (согласно международному стандарту CCITT). Волоконный световод имеет недостаточную механическую прочность и может быть легко поврежден. Поэтому после формирования центральной части волоконного световода он, как это показано на рисунке, защищается механически прочным покрытием [ 1 ].



Длина Волны, мкм

Рис. 1.1. Спектральные характеристики потерь излучения в кварцевом волоконном световоде.

Распространение света в волоконном световоде характеризуется множеством параметров, но самыми важными из них являются параметры, характеризующие потери на распространение и спектральную полосу пропускания. Потери при распространении характеризуются величиной затухания световой энергии на единичной длине световода (дБ) и зависят от длины волны излучения (рис. 1.1).

Первая система оптической связи действовала в спектральной области вблизи 0,8 мкм. Позже в более длинноволновой части спектра была обнаружена область волн, в которой можно получить крайне низкие потери и широкую полосу пропускания. Благодаря развитию технологии был изготовлен почти не содержащий примесей волоконный световод с очень низкими потерями 0,2 дБ/км на длине волны 1,55 мкм.

Волоконный световод как среда распространения сигнала в связи имеет следующие основные особенности:

1. Низкие потери. Потери на 2 порядка меньше, чем в применявшихся раньше медных линиях, что позволяет удлинить, участки между ретрансляторами.

2. Широкая полоса пропускания. Полоса пропускания свыше 1 ГГц·км обеспечивает одновременное увеличение протяженности участков между ретрансляторами и объема передаваемой информации.

3. Малая толщина и вес. Световодные линии легко прокладывать.

4. Не подвержены влиянию электромагнитной индукции. Можно прокладывать вблизи электрических кабелей и электрифицированных железнодорожных путей. Устойчивы к ударам молний.

5. Малые утечки излучения делают возможной высокую степень секретности передачи информации.

В ВОЛС используются две разновидности цилиндрических волоконных световодов: двухслойные ступенчатые световоды со скачкообразным изменением показателя преломления между сердцевиной и оболочкой и градиентные световоды, в которых показатель преломления в плоскости, перпендикулярной оси, монотонно уменьшается от центра к периферии. В двухслойном световоде излучение распространяется вдоль оси благодаря эффекту полного внутреннего отражения, при этом отдельные лучи имеют траектории, описываемые ломаными линиями, изменяющими направление на гра­нице сердцевина — оболочка [ 1 ].

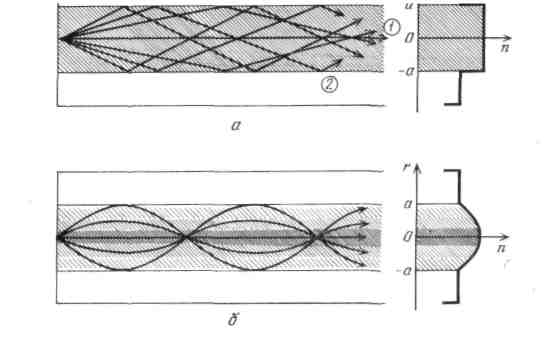


Рис. 1.2. Распространение света: а — в волоконном световоде со ступенчатым профилем показателя преломления; б — в градиентном световоде

В градиентном световоде рефракция приводит к самофокусировке отдельных лучей на осевой линии, при этом их траектории представляют собой синусоиды, а для немеридиональных лучей — винтовые линии (рис. 1.2).

Описанным механизмом светопередачи обусловлена и дисперсия волокна, заключающаяся в различии групповых скоростей составляющих оптического излучения. Этот эффект вызывается двумя причинами: во-первых, лучи с разными углами падения проходят в световоде различные расстояния и, во-вторых, свойства материала зависят от длины волны излучения, а любой реальный источник не строго монохроматииен. Иными словами, дисперсия волокна, трактуемая более широко, чем это принято в традиционной оптике, зависит не только от степени когерентнос­ти излучения, но и от геометрических характеристик волокна.

Дисперсия подобно инерционным процессам в электрических цепях и электронных приборах проявляется в завале частотной характеристики световода (зависимость интенсивности излучения на выходе от частоты модуляции) и в искажении передаваемых импульсов света (расплывание, уширение).

Качественное сравнение двух типов волокон приводит к заключению, что градиентные световоды должны иметь лучшие дисперсионные свойства. В них луч света, распространяющийся по искривленной траектории, значительную часть пути проходит в областях с уменьшенным значением n, т. е. с большей скоростью, чем, например, осевой луч. Поэтому при различии длин двух световых путей время их прохождения лучами может оказаться практически одинаковым. В световоде со ступенчатым из­менением показателя преломления эффект выравнивания времени распространения не имеет места, так как скорость распространения света по всему сечению сердечника постоянна. По су­ществу стремление ослабить дисперсионные эффекты и явилось основным стимулом развития градиентных световодов.

Причинами потерь оптической мощности при рас­пространении сигнала по волокну являются различные виды поглощения, а также обусловленная рассеянием деформация угло­вого распределения лучевого потока и вытекание возникающих внеапертурных лучей из сердцевины.

Для количественной оценки потерь пропускания используется удельное затухание оптического сигнала, выраженное в дБ/км,

 (1.1)

где Рвх и Рвых — мощности каналируемого излучения на входе и выходе световода длиной L, км. Если имеются различные невзаи­модействующие механизмы потерь, то определенные по (1.1) затухания складываются, т. е.

 , (1.2)

где bi — удельное затухание, вносимое i-м механизмом потерь.

Рассмотрим наиболее существенные из этих механизмов.

1. Фундаментальные потери, присущие материалу и принципи­ально неустранимые. Выделяют два вида фундаментальных потерь. Один вид — собственное поглощение в материале световода (потери bм), которое в УФ-области связано с электронными переходами между разрешенными энергетическими уровнями атомов, а в ИК-области — с многофотонным и колебательным возбуждением молекул. «Хвосты» полос поглощения могут доходить до рабочего диапазона длин волн световода, что проявится в затухании. Экспериментально установлено, что для кварца уже при λ0,6 мкм УФ-поглощение становится меньше 1 дБ/км, а ИК-поглощение, эффективное при λ8... 12 мкм, при λ1 мкм вообще не сказывается.

Другой вид фундаментальных потерь — релеевское рассеяние на различного рода нерегулярностях, приводящее к потерям

 (1.3)

где постоянная  тем меньше, чем ниже температура «замораживания» флуктуации состава световода, охлаждаемого при изготовлении.

Для кварца при его тщательной обработке экспериментально получено  дБ/(км∙мкм-4), чтo для λ = 0,82 мкм дает bрел1,5 дБ/км, а при λ =1,55 мкм bрел0,14 дБ/км. Следует подчеркнуть, что  не универсальная константа, она зависит и от выбора материала световода, и от технологии его обработки, т. е. принципиально можно ожидать получения меньших, чем достигнуто в кварце, релеевских потерь. Наиболее характерным моментом в (1.3) является сильная зависимость bрел от λ, из чего следует, что в дальней ИК-области релеевские потери становятся пренебрежимо малыми.

2. Примесное поглощение, обусловленное наличием примесей (потери bион). В кварце такими примесями, проявляющимися как центры окраски, являются ионы металлов группы медь — хром, а именно медь, хром, магний, никель, железо. Однако при современных методах очистки роль примесей в кварце оказывается несущественной; значение их как центров окраски сохраняется лишь для многокомпонентных стекол.

3. Технологические разбросы определяющих параметров световода (потери bтехн): эллиптичность сердцевины, статистические флуктуации ее диаметра и показателя Δ по длине световода, нарушения выбранного закона распределения показателя преломления по сечению сердцевины [в частности, очень часто на оси световода наблюдается провал кривой n(r)]. Все это приводит к рассеянию и перекачке части энергии распространяющегося излучения в вытекающие моды.

4. Явления, связанные с дефектами эксплуатации, проявляющимися уже после изготовления волокна. Это потери, обусловленные микроизгибами, возникающими в местах контакта волокна с защитными оболочками и упрочняющими элементами кабеля. Практически после укладки волокна в кабель его затухание может на 20... 50% превысить исходное значение. Дополнительные механические напряжения и микроизгибы возникают также при изменении температуры окружающей среды, причем они тем значительнее, чем шире диапазон рабочих температур ΔΘраб. Характерно, что температурные эффекты обусловлены не только взаимодействием волокна с окружающими элементами, но и внутрен­ними напряжениями, а также изменением величины Δ из-за различия (пусть незначительного) физических свойств сердцевины и оболочки. Оба вида потерь — кабельные bкаб и температурные — полностью устранить не удается, однако при оптимальной конструкции волокна и кабеля они могут быть достаточно малыми.

5. Потери bR, обусловленные воздействием проникающей радиации и принципиально не устранимые. В кварцевых волокнах ионизирующее излучение приводит к разрыву связей в молекуле Si02 и появлению свободных связей, которые служат ловушками зарядов, что повышает в конечном счете затухание сигнала. Детальное описание радиационного воздействия вызывает сложности, наблюдаемые явления не всегда допускают однозначную интерпретацию, однако некоторые общие закономерности для кварцевых световодов все же могут быть сформулированы. Установлено, что при малых дозах, не превышающих 107 рад, различные виды радиации (электроны, протоны, нейтроны, альфа-, гамма- и рентгеновское излучения) оказывают на световоды практически одинаковое воздействие. При слабых воздействиях дополнительное поглощение сначала линейно зависит от дозы, а затем наблюдается насыщение. Наведенное поглощение состоит из двух компонентов: стабильного и нестабильного, исчезающего при отжиге или интенсивной засветке. Как правило, оба компонента наведенного поглощения значительно больше для легированного, чем для чистого кварца.

Важная общая закономерность радиационных дефектов проявляется в том, что они тем меньше влияют на затухание, чем больше длина волны излучения: в первом приближении при  мкм наведенные потери пропорциональны , где r= 5...7.

6. Потери bд, возникающие вследствие временных деградационных явлений. При вытягивании волокон на их поверхности образуются микротрещины, которые с течением времени могут увеличиваться и вызывать появление дополнительных потерь (а в конечном счете и полное разрушение волокна). Процесс существенно ускоряется при наличии механических деформаций и химическом действии тех или иных реагентов, главным образом влаги и кислорода, устранить влияние которых практически невозможно.

Подводя итоги, можно расписать общее выражение (1.4) следующим образом:

 (1.4)

Отметим, что пользоваться (1.4) практически невозможно: большинство его составляющих не рассчитываются и характеризуются индивидуальной спектральной зависимостью. Типичный спектр поглощения высокочистого кварцевого световода (вне кабеля) представлен на рис. 9.5, где наглядно наличие трех окон прозрачности вблизи длин волн 0,85; 1,3 и 1,55 мкм и преимущество длинноволновых окон.

**2. Техническая реализация ВОЛС**

2.1. Основные элементы и конструкция ВОЛС.

Оптическое волокно обычно бывает одного из двух типов: одномодовое (рис. 2.1а), в котором распространяется только одна мода (тип распределения передаваемого электромагнитного поля), и многомодовое (рис. 2.1б) — с передачей множества (около сотни) мод. Конструктивно эти типы волокон различаются только диаметром сердечника — световедущей части, внутри которой коэффициент преломления чуть выше, чем в периферийной части — оболочке. В технике используются как многомодовые, так и одномодовые оптические волокна. Многомодовые волокна имеют большой (примерно 50 мкм) диаметр сердечника, что облегчает их соединение друг с другом. Но поскольку групповая скорость света для каждой моды различна, то при передаче узкого светового импульса происходит его расширение (увеличение дисперсии). По сравнению с многомодовыми у одномодовых волокон преимущества и недостатки меняются местами: дисперсия уменьшается, но малый (5...10 мкм) диаметр сердечника значительно затрудняет соединение волокон этого типа и введение в них светового луча лазера.

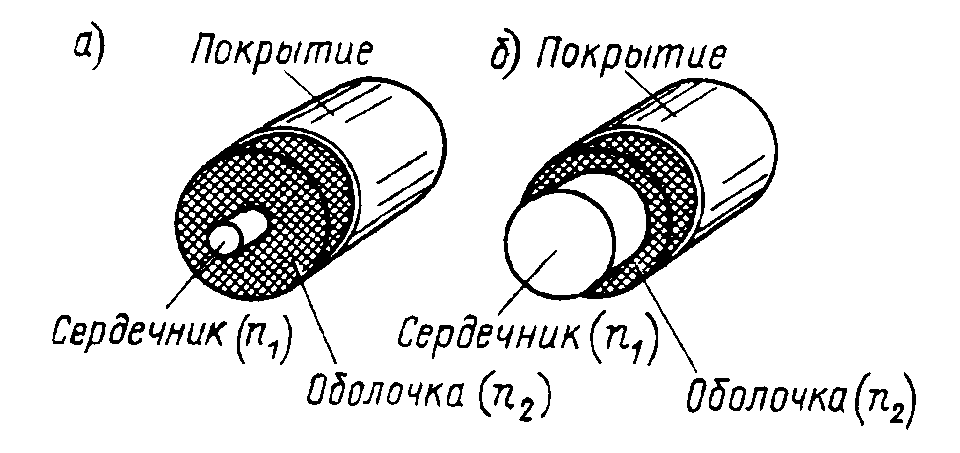


Рис.2.1 Виды оптических волокон.

Вследствие этого одномодовые оптические волокна нашли преимущественное применение в линиях связи, требующих высокой скорости передачи информации (линии верхнего ранга в иерархической структуре линий связи), а многомодовые чаще всего используются в линиях связи со сравнительно невысокой скоростью передачи информации. Имеются так называемые когерентные волоконно-оптические линии связи, где пригодны только одномодовые волокна. В многомодовом оптическом волокне когерентность принимаемых световых волн падает, поэтому его использование в когерентных линиях связи непрактично, что и предопределило применение в подобных линиях только одномодовых оптических волокон.

Напротив, хотя при использовании оптических волокон для датчиков вышеуказанные факторы тоже имеют место, но во многих случаях их роль уже иная. В частности, при использовании оптических волокон для когерентных измерений, когда из этих волокон формируется интерферометр, важным преимуществом одномодовых волокон является возможность передачи информации о фазе оптической волны, что неосуществимо с помощью многомодовых волокон. Следовательно, в данном случае необходимо только одномодовое оптическое волокно, как и в когерентных линиях связи. Тем не менее, на практике применение одномодового оптического волокна при измерении нетипично из-за небольшой его дисперсии. Короче говоря, в сенсорной оптоэлектронике, за исключением датчиков-интерферометров, используются многомодовые оптические волокна. Это обстоятельство объясняется еще и тем, что в датчиках длина используемых оптических волокон значительно меньше, чем в системах оптической связи.

Основными достоинствами оптических волокон являются:

1. широкополосность (предполагается до нескольких десятков терагерц);
2. малые потери (минимальные 0,154 дБ/км);
3. малый (около 125 мкм) диаметр;
4. малая (приблизительно 30 г/км) масса;
5. эластичность (минимальный радиус изгиба 2 MM);
6. механическая прочность (выдерживает нагрузку на разрыв примерно 7 кг);
7. отсутствие взаимной интерференции (перекрестных помех типа известных в телефонии "переходных разговоров");
8. безындукционность (практически отсутствует влияние электромагнитной индукции, а следовательно, и отрицательные явления, связанные с грозовыми разрядами, близостью к линии электропередачи, импульсами тока в силовой сети);
9. взрывобезопасность (гарантируется абсолютной неспособностью волокна быть причиной искры);
10. высокая электроизоляционная прочность (например, волокно длиной 20 см выдерживает напряжение до 10000 B);
11. высокая коррозионная стойкость, особенно к химическим растворителям, маслам, воде.

В области оптической связи наиболее важны такие достоинства волокна, как широкополосность и малые потери, причем в строительстве внутригородских сетей связи наряду с этими свойствами особое значение приобретают малый диаметр и отсутствие взаимной интерференции, а в электрически неблагоприятной окружающей среде — безындукционность. Последние же три свойства в большинстве случаев здесь не играют какой-либо заметной роли.

Из подобных кварцевых оптоволокон изготовляются волоконно-оптические кабели. Наиболее широкое распространение получили четыре основные конструкции волоконно-оптического кабеля (ВОК) (рис. 2.2): повивная, в которой волоконные модули обвиваются вокруг центрального упрочняющего элемента; кабели пучковой скрутки, в которых навивке подвергаются группы (пучки) модулей, предварительно уложенные в трубки; кабели с профильным упрочняющим элементом, в которых волоконные модули свободно укладываются в винтообразные пазы упрочняющего элемента; ленточные кабели, в которых скручиванию подвергаются ленты, содержащие несколько волокон и набранные стопой. Первые две конструкции являются классическими, заимствованными из электротехнической практики.

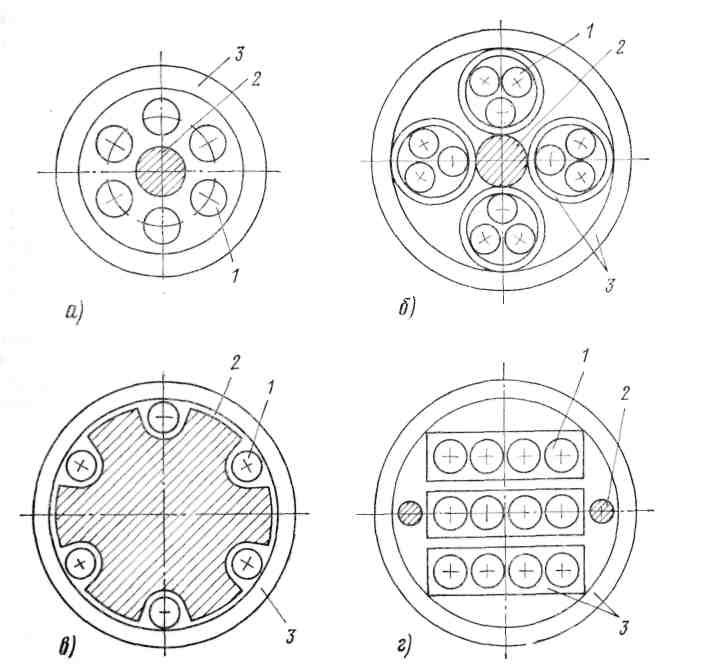


Рис. 2.2. Основные разновидности волоконно-оптических кабелей: повивная кон­струкция (а), кабели пучковой скрутки (б), с профильным упрочняющим эле­ментом (в), ленточный (г):

1 — волоконно-оптический модуль; 2 — упрочняющий элемент; 3 — защитная оболочка

Независимо от конкретной конструкции основными элементами кабеля (кроме волоконных модулей) являются: упрочняющие элементы, обыч­но полимерные, иногда металлические, служащие для придания кабелю необходимой разрывной прочности и разгрузки волокон от растяжения; наружные защитные покрытия, нередко многооболочечные, предохраняющие от проникновения влаги, паров вредных веществ и от внешних механических воздействий; армирующие элементы, повышающие сопротивляемость кабеля радиальным механическим воздействиям; изолированные металлические провода, монтируемые в кабеле наряду с оптическими волокнами и обеспечивающие электропитание ретрансляторов на линии связи; внутренние разделительные слои и ленты, скрепляющие отдельные группы элементов и уменьшающие давление различных элементов конструкции друг на друга; гидрофобный заполнитель, ослабляющий вредное воздействие влаги на оптические волокна.

Обширные исследования световодных кабелей, создание огромного числа разнообразных конструкций, многолетний опыт производства и применения этих изделий — все это не привело, однако, к выработке окончательных оптимизированных решений. Появление микроизгибов волокна в составе кабеля, терморассогласование волокна и кабельных материалов, гарантированная защита от воздействия влаги на волокно — эти проблемы по-прежнему далеки от полного разрешения.

Передающие и приемные модули. Назначение передающего модуля (рис. 2.2,а) состоит в преобразовании входной информации в виде электрических сигналов в оптические сигналы, согласованные с каналом передачи (волоконным световодом); при этом модуль должен надежно функционировать при всех возможных изменениях внешних воздействующих факторов (температуры, влажности, вибрации, колебаний напряжений питания и т. п.).

В устройстве возбуждения сигнал, поступающий через входной электрический разъем, преобразуется в мощные импульсы накач­ки, превышающие порог генерации лазера. Это устройство может осуществлять и некоторые дополнительные функции: задание постоянного смещения (предпороговая подпитка); придание импуль­су накачки специальной формы, обеспечивающей форсирование начала и обрыва генерации; изменение длительности импульса, возбуждения по сравнению с поступающим импульсом (например, для улучшения теплового режима работы лазера) и т. п.

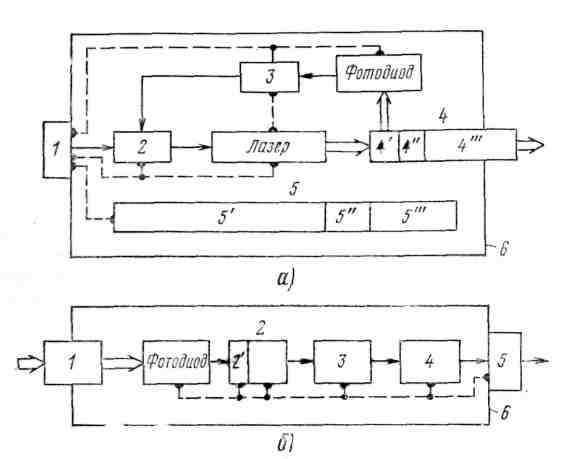


Рис. 2.3. Структурные схемы:

а — передающего модуля (1 — входной электрический соединитель; 2 — схема возбуждения; 3 — схема обратной связи; 4 — оптическое устройство (4' — светоделитель; 4" — согласующие элементы; 4'" — оптический соединитель); 5 — термоэлектрический охладитель (5' — активный элемент; 5" — схема управления; 5'" — датчик температуры); 6 — корпус); б — приемного модуля (1 — оптический соединитель; 2 — усилитель (включая предварительный усилитель 2'); 3— схема оптимальной (квазиоптимальной) обработки (фильтр); 4 — схема принятия решения; 5 — электрический соединитель; в — корпус) электрические информационные цепи; ----цепи питания;  оптические сигналы

В устройство возбуждения могут быть введены и блоки, выполняющие совершенно иные функции: аналого-цифровое преобразование сигнала, кодирование, мультиплексирование и др. В этом случае передающий модуль фактически превращается в оконечное устройство линии передачи информации; его описание выходит за рамки данного рассмотрения. Устройство возбуждения выполняется в виде интегральной монолитной или гибридной микросхемы.

«Центром» передающего модуля является излучатель — именно в нем происходит оптоэлектронное преобразование. Основные излучатели ВОЛС — полупроводниковые инжекционные моно и гетеролазеры на основе соединений GaAlAs (для диапазона длин волн 0,8 ... 0,9 мкм) и InGaAsP (1,3... 1,6 мкм). В полупроводниковых лазерах активным элементом являются кристаллы полупроводника, образующие резонатор и возбуждаемые либо инжекцией тока через р-n-переход, либо пучком электронов. Соответственно различают инжекционные лазеры и лазеры с электронным возбуждением.

Излучение лазера поступает на выходное оптическое устройство, включающее элементы согласования (селективные фильтры или смесители мод; элементы, преобразующие диаграмму направленности излучения к оптимальному для ввода в волокно виду) и оптический соединитель. Часть светового потока лазера с помощью светоделителя (или путем использования внеапертурного излучения) направляется на фотоприемник обратной связи, который через микроэлектронное устройство управления так воздействует на устройство возбуждения и на лазер, чтобы осуществлялась компенсация температурных, деградационных и других изменений мощности на выходе модуля. Для ослабления температурных эффектов в модуль вводится термоэлектрический охладитель, включающий измеритель и схему автоматической регулировки температуры.

Важнейшей частью модуля является корпус, выполняемый обычно в виде плоской прямоугольной металлической коробочки с электрическим и оптическим соединителями на противоположных торцах. В тех случаях, когда предполагается монтаж модуля непосредственно на печатную плату, электрический соединитель заме­няется системой выводов. Для коротких ВОЛС с невысокими скоростями передачи информации удобно вместо лазера использовать светодиоды: это повышает надежность и долговечность передающего модуля, снижает его стоимость, резко упрощает структурную схему. В этом случае термоэлектрические охладители не нужны, исключается также цепь фоточувствительной обратной связи.

Передающие модули на основе полупроводниковых инжекционных излучателей (лазеров и светодиодов) характеризуются всеми достоинствами, присущими этим приборам: малыми габаритными размерами, долговечностью и надежностью, экономичностью, малыми питающими напряжениями, простотой модуляции.

Приемный модуль (рис. 2.3,б) предназначен для обратного преобразования оптического сигнала, поступающего из канала передачи (световода), в электрический и его восстановление до исходного вида; через оптический согласующий элемент (обычно оптический соединитель, а иногда и фокусирующая линза) излучение поступает на чувствительную площадку фотоприемника, в качестве которого практически повсеместно используются фотодиоды: лавинные и с ρ-i-n-структурой [6].

Назначение последующих каскадов структурной схемы (рис. 2.3, б) состоит в обеспечении оптимального (или квазиоптимального) приема, т. е. в реализации такого алгоритма, который позволяет получить наилучшие характеристики (порог чувствительности, полоса частот и др.) при неизбежном действии шумов и искажениях. Конкретное исполнение этих каскадов зависит от типа используемого фотоприемника и вида поступающих информационных сигналов (их амплитуды, частоты следования, кода и др.).

Кроме передающих и приемных модулей в линиях дальней связи необходимы также ретрансляторы, в данном случае активные устройства с оптическими входом и выходом, в которых осуществляется регенерация (восстановление) оптических сигналов по мере их затухания при прохождении по световоду. Практически ретранслятор представляет собой объединение приемного и передающего модулей, т.е. оптоэлектронное устройство с двойным преобразованием энергии вида свет - электричество - свет.

2.2. Волоконно-оптические системы передачи.

В современных сетях связи используются аналоговые и цифровые системы передачи (СП) с тенденцией постепенного перехода к применению только цифровых систем. Однако предстоит длительный период сосуществования на сетях связи аналоговых и цифровых систем, когда большое число соединений будет устанавливаться с использованием обоих технологий. Для обеспечения в этих условиях заданных характеристик каналов и трактов, гарантирующих высокое качество передачи информации, принципы проектирования цифровых и аналоговых систем передачи должны быть совместимы.

Высокая стоимость линий связи обуславливает разработку систем и методов, позволяющих одновременно передавать по одной линии связи большое число независимых сообщений, т.е. использовать линию многократно. Такие системы связи называют многоканальными. Связь, осуществляемую с помощью этих систем, принято называть многоканальной. Практически все современные системы связи за редким исключением являются многоканальными. Волоконно-оптическими (ВОСП) называют системы передачи, использующие в качестве среды распространения сигнала оптическое волокно.

Первоначально развитие ВОСП шло в направлении создания оптоэлектронных элементов (источников и приемников оптического излучения) и оборудования данными элементами каналообразующего оборудования ЦСП ПЦИ. Развитие ЦСП и оптоэлектроники для применения в ЦСП шло, фактически, независимо. В качестве примера систем, построенных по такому принципу, можно привести ВОСП отечественного производства "Соната-2", "Сопка-2" и ИКМ-120-4/5 со скоростью передачи 8 Мбит/с; "Сопка-3", ИКМ-480-5 со скоростью передачи 34 Мбит/с; "Сопка-4М", "Сопка-5" со скоростью передачи 140 Мбит/с. Основным преимуществом ВОСП по сравнению с ЦСП, работающими по металлическому кабелю, явилось значительное увеличение длины участка регенерации (до нескольких десятков км).

Современные волоконно-оптические системы передачи обладают большими скоростными возможностями и широкополосностью, стабильностью и надежностью, высокой степенью достоверности передачи информации. Чтобы отвечать этим качествам, все их элементы должны функционировать в строгих технических рамках.

Для волоконно-оптической системы передачи, как и для любой кабельной системы (на коаксиальных или симметричных кабелях), существуют общие параметры, измерять которые необходимо при строительстве, пуско-наладочных работах, сертификационных и пусковых испытаниях, а также в процессе эксплуатации при проведении профилактических работ. Вместе с тем ВОСП присущи существенные особенности, обусловленные тем, что носителем информации является поток фотонов.

Волоконно-оптические технологии (ВОТ) и их особенности. Среди особенностей ВОТ выделяются следующие:

* Сверхвысокая пропускная способность, обусловленная работой в оптическом диапазоне радиоволн. По одному ОВ можно передавать информацию со скоростью порядка 10\*\*12-13 бит/с, что эквивалентно 15 млн. одновременных телефонных разговоров цифрового качества. На сегодняшний день полоса пропускания оптоволокна превышает все потребности существующих сетевых приложений.
* Малое затухание сигнала, значения которого составляют 0.2-0.25 дб/км на длине волны 1.55 мкм. В зависимости от скорости передачи это позволяет создавать линии с регенерационными участками более 100 км.
* Невосприимчивость к электромагнитным помехам и высокая степень защищенности от прослушивания.
* Малый вес и габариты кабелей (малый диаметр оптического волокна, малая удельная масса кварца, отсутствие экранов), легкость и компактность источников и приемников
* ОВ, применяемые в связи на длинные и средние дистанции, в основном состоят из материала широко распространенного в природе, а потому более дешевого, чем медь.
* ОВ обладают гальванической развязкой и большим сроком службы (25 лет и более при качественном изготовлении и прокладке кабелей)

Однако любое оптическое волокно обладает и рядом недостатков, такими как хрупкость, высокие требования при монтаже коннекторов. Важнейшими характеристиками ОВ являются затухание и дисперсия. Затухание в оптическом волокне связано с собственными потерями волокна и так называемыми кабельными потерями, обусловленными деформациями в процессе изготовления. Составляющими собственных потерь ОВ являются: потери на поглощение в стекле и на примесях; потери рассеяния на микронеоднородностях материала и тепловых флуктуациях показателя преломления; рэлеевские потери;

Оптическое волокно бывает следующих типов:

* Многомодовое градиентное (GI – Gradient Index);
* Одномодовое ОВ (SM – single mode 1.31 мкм);
* Одномодовое со смещенной дисперсией (DS – Dispersion Shifted 1.55 мкм). К этому же семейству принадлежат одномодовые ОВ со сглаженной дисперсией (DF – Dispersion Flatted 1.3 и 1.55 мкм) и одномодовые со смещенной, но не нулевой дисперсией (NZDS – None Zero Dispersion Shifted);
* “Активные” ОВ (ED – Еrbium Doped). Волокна этого типа используются в оптических усилителях;
* Пластиковые ОВ (POF); Основными факторами, влияющими на надежность и долговечность ОВ являются влага, механические деформации, водород, остаточные деформации.

Типы соединений

* Разъемные:

Механические соединители.

Действие механических соединителей основано на юстировке ОВ по общей V-образной канавке выполняемой часто из мягкого эластичного материала. Реальные конструкции содержат иммерсионную жидкость для улучшения согласования. Указанные выше устройства являются условно разъемными и рекомендуются к применению на объектах, при аварийно-восстановительных работах, а также для измерения неоконцованых линий.

В разъемных соединениях используется принцип перехода от задачи юстировки тонких сердцевин к более простой задаче юстировки наконечников (ferrule) имеющих “макро размеры” (обычно 2.499 мм в диаметре).   
Соединение состоит из двух собственно разъемов или коннекторов сидящих на стыкуемых ОВ и проходной розетки. Основной частью оптических разъемов является прецизионный наконечник, выполняемый обычно из циркониевой керамики. По оси наконечника располагается капилляр под зачищенное ОВ (125 мкм). Наконечники юстируются при помощи разрезных керамических или бронзовых втулок составляющих основу проходной розетки (рис. 2.4).

 Рис. 2.4. Конструктивная схема оптического соединителя волоконного световода

Основными типами применяемых сегодня коннекторов являются SC, ST и FC, ST (straight tip connector или stick and twist) – разработан компанией АТ&Т в середине 80х и используется в основном в локальных сетях и на ММ ОВ. Отличается фиксацией типа BNC и простотой конструкции.   
SC (stick and click) – разъем широко применяется в США и имеет пластиковый корпус прямоугольного сечения с фиксацией push-pull (защелка). Отличается большой плотностью соединений и простотой фиксации.

FC – изобретен NTT , и отличается резьбовой фиксацией с помощью накидной гайки и высокой степенью надежности. Часто можно встретить аббревиатуру PC следующую за типом разъема. Сокращение означает physical или positive contact и относится к наконечникам со слабо выпуклым (R=25 мм) торцом. Когда два таких разъема давят друг на друга в розетке, обеспечивается лучший контакт и меньшее отражение.

* Неразъемные:

Сварные . Сварка представляет собой наиболее надежное соединение с точки зрения температурной, временной и механической стабильности затухания. Характеризуется очень низким обратным отражением (лучше –60 дб в широком температурном диапазоне). Соединение производится электрической дугой с помощью сварочных аппаратов, которые относительно недавно стали компактными, высокопроизводительными (длительность процесса 20-30 секунд) и высокоточными (с точки зрения механики). Составляющие процесса сварки: оплавление предварительно сколотых ОВ, предотвращающее возможное появление пузырей, юстировка и собственно разряд. Контроль процесса и юстировка могут осуществляться либо визуально, с помощью микроскопа (обычно в ручных сварках) либо с помощью боковой подсветки и непосредственного непрерывного наблюдения сердцевины (автоматы и полуавтоматы). В современных автоматических сварочных аппаратах фокусировка, обработка изображения с камеры, оценка качества торца, управление моторами подвижек и зеркал – все находится под контролем микропроцессора.

На рис. 2.5. структурная схема односторонней волоконно­оптической линии связи. Передатчик состоит из преобразователя напряжения в ток, источника света и оптического стыка (оптический соедини­тель — разъем). Средой передачи является волоконный световод, представляю­щий собой очень чистое стекло или пластмассовую трубку. В зависимости от расстояния между передатчиком и приемником, может возникнуть необходи­мость установки на линии одного или нескольких регенераторов. С функцио­нальной точки зрения регенератор усиливает свет. Однако в действительности сигнал не просто усиливается, а восстанавливается. Приемник содержит опти­ческий интерфейс (оптический соединитель), фотоприемник и преобразователь тока в напряжение [5].

В передатчике источник света может модулироваться цифровым или ана­логовым сигналом. Преобразователь напряжения в ток служит электрическим стыком между входными цепями и источником света. Источник света предста­вляет собой светоизлучающий диод или инжекционный лазерный диод. Коли­чество света, излучаемое светоизлучающим или лазерным диодом, прямо про­порционально величине управляющего тока. ток, используе­мый для управления источником света. Интенсивность источника света прямо пропорциональна величине входного напряжения. По существу, интенсивность света управляется входным сигналом.

Приемный модуль предназначен для обратного преобразования оптического сигнала, поступающего из канала передачи (световода), в электрический и его восстановление до исходного вида; через оптический согласующий элемент (обычно оптический соединитель, а иногда и фокусирующая линза) излучение поступает на чувствительную площадку фотоприемника, в качестве которого практически повсеместно используются

фотодиоды: лавинные и с ρ-i-n-структурой. Аналоговые или цифровые стыки представляют собой электрические интер­фейсы, согласующие входные сопротивления и уровни сигналов между источни­ком и приемником.

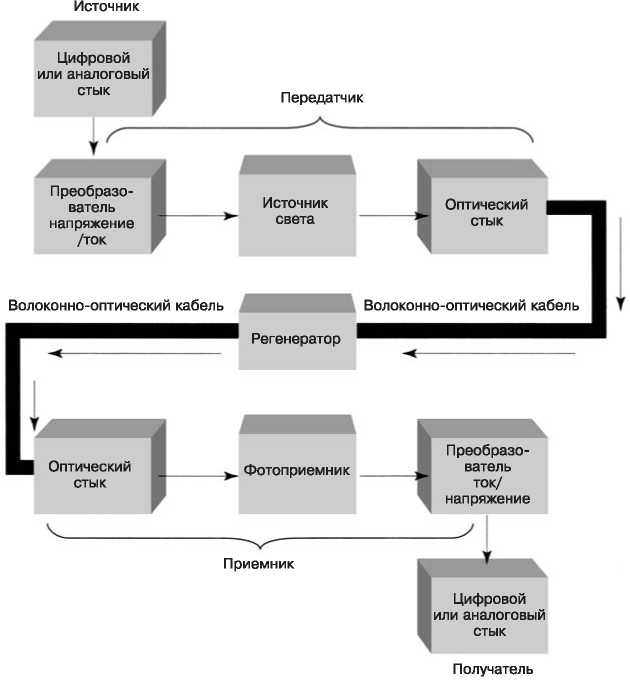


Рис. 2.5. Блок-схема системы передачи по оптическому волокну.

**3. Исследование методов построения одноволоконных оптических систем передачи информации.**

Как упоминалось в предыдущих разделах, в сетях связи находят широкое применение волоконнооптические системы передачи со спектральным уплотнением. Кроме того, на низких скоростях передачи, до 140 Мбит\сБ где наблюдается взаимодействие между противонаправленными сигналами из-за обратного рассеяния, могут быть эффективно использованы системы с разделением по времени.

Ниже рассмотрены несколько методов и схем построения одно-волоконных оптических систем передачи различных типов и различного назначения.

### 3.1. Волоконнооптические системы передачи на основе различных способов разветвления оптических сигналов.

Данная группа схем включает в себя одноволоконные оптические системы передачи с оптическими разветвителями, с оптическими циркуля-торами, устройствами спектрального уплотнения, а также фильтрами разделения мод оптического излучения. На рисунке 3.1 показана схема оптической системы передачи с модуляцией сигнала по интенсивности, содержащая блоки оптического передатчика (ОП), оптического приемника (ОП) устройства соединения станционного и линейного кабеля (УССЛК), разъемные соединители (РС), устройства объединения и разветвления оптических сигналов (УОРС).

Оптический передатчик (ОП) содержит преобразователь кода (ПК), преобразующий стыковой код в код, используемый в линии; усилитель (УC), усиливающий электрический сигнал до уровня, необходимого для модуляции полупроводникового лазера (ПЛ); лазерный генератор (ЛГ), включающий в себя устройство термостабилизации и прямой модулятор; согласующие устройства (С) полупроводникового лазера с оптическим волокном.

Оптический приёмник (ОПр) содержит согласующие устройства (С) оптического волокна с фотодиодом; фотодетектор (ФД); малошумящий транзисторный усилитель (У); фильтр (Ф), формирующий частотную характеристику приёмника, обеспечивающую квазиоптимальный приём сигнала; устройство линейной коррекции (ЛК), компенсирующее частотные

ПК

УМ

ЛГ

С

РС

УОРС

ОП

С

ПК

ФД

ЛК

РУ

ПК

ОПр

Вход

Выход

У

Ф

ВТЧ

Рисунок 3.1 – Волоконнооптическая система передачи с модуляцией по интенсивности

искажения электрической цепи на стыке фотодиода и первого транзистора усилителя; решающее устройство (РУ), устройство выделения тактовой частоты (ВТЧ) и преобразователь кода (ПК), преобразующий код линии в стыковой код.

Устройства объединения и разветвления оптических сигналов, в зависимости от типа одноволоконной оптической системы передачи, может представлять собой: оптический разветвитель или циркулятор при работе на одной оптической частоте в обоих направлениях; устройство спектрального уплотнения при работе на разных оптических частотах; модовый фильтр при работе на разных модах излучения оптического волокна.

С целью оценки основных характеристик одноволоконной оптической системы передачи можно использовать приближенные соотношения для расчета длины регенерационного участка (РУ).

Максимальная длина регенерационного участка волоконнооптической системы передачи данного типа определяется соотношением:

где Эми – энергетический потенциал одноволоконной оптической системы передачи , ДБ;

ов – затухание сигнала на одном километре оптического волокна, ДБ/км;

уорс- то же, в устройстве объединения и разветвления сигналов, ДБ;

усслк – то же, в УССЛК, ДБ;

рс, нс – то же, в разъемных и неразъемных соединителях, ДБ;

l с – строительная длина оптического кабеля, км. При этом:

где Эми’ – энергетический потенциал, ДБ, волоконнооптическая система передачи при отсутствии шума обратного рассеяния излучения в оптическом волокне;

Ршор/Рш – доля шума обратного рассеяния в полном шуме на входе решающего устройства.

Рассчитаем длину регенерационного участка одноволоконной оптической системы передачи первого типа при следующих исходных данных: Эми=35 ДБ, Зэ=6 ДБ, ов=1 ДБ, нс=усслк=0.1 ДБ, рс=1 ДБ, lс=2 км. Так по формуле (2.1), при использовании оптических разветвителей с уорс=4ДБ:



### Волоконнооптическая система передачи, основанная на использовании разделения разнонаправленных

### сигналов по времени.

Во второй группе схем для разделения разнонаправленных сигналов по времени используются оптические разветвители, переключатели и оптические усилители (ОУ). В схеме одноволоконной оптической системы передачи сигнала с модуляцией по интенсивности, в отличие от первой группы схем, вместо устройства объединения и разветвления оптических сигналов использованы устройства оптического переключения УОП (рисунок 3.2).

П

ОП

ОПр

УС

УССЛК

ОР

ОУ

ОПр

ОП

УС

УССЛК

Рисунок 3.2 – Устройства оптического переключения

Будем рассматривать устройства оптического переключения двух вариантов – оптические переключатели (П) и соединение оптического разветвителя ОР с оптическим усилителем ОУ. Управляющий сигнал поступает в первом случае на управляющий вход переключателя, во втором – по цепи управления направлением оптической волны накачки оптического усилителя.

Максимальная длина регенерационного участка для второй группы схем определяется соотношением:

,где уоп – затухание сигнала в УОП, ДБ;

Эми” – энергетический потенциал одноволоконнооптической системы передачи , определяемый соотношениями:

Эми”=Эми’ при использовании оптических переключателей (Эми’–

энергетический потенциал обычной волоконнооптической системы

передачи с учётом специального кодирования).

1. Эми”=Эми’-10lg(1+Ршоу/РШ) при использовании оптического разветвителя с оптическим усилителем, где Ршор и Рш – мощности эквивалентного шума на входе оптического приемника и шума оптического усилителя на его выходе, ДБ.

Затухание сигнала в устройстве оптического переключения определяется соотношениями:

1. уоп=п при использовании оптического переключателя, где п – затухание сигнала в оптическом переключателе;

уоп=ор-Коу при использовании оптического разветвителя с оптическим усилителем, где Коу – коэффициент усиления ОУ, ДБ.

Длина регенерационного участка l2 для приведённых выше значений параметров аппаратуры и использовании оптических переключателей (уоп=3.5ДБ), согласно формуле (2.3), составляет:



На стоимость одноволоконнооптической системы передачи второй группы существенно влияет выбор типа устройства оптического переключения, особенно в случае использования оптических усилителей. Надежность волоконнооптической системы передачи этой группы, в отличие от рассмотренной выше, существенно зависит от надежности устройства оптического переключения в случае применения оптического усилителя, так как для накачки таких усилителей применяются полупроводниковые лазеры.

### 3.3. Волоконнооптическая система передачи, на основе использования различных видов модуляции.

Третья группа схем одноволоконных оптических систем передачи основана на использовании разных видов модуляции оптических и электрических сигналов. И соответствующих методов обработки сигналов с целью устранения взаимного влияния разнонаправленных сигналов.

В схеме этой группы (рисунок 3.3) применены когерентные методы передачи и приема оптического сигнала, амплитудная (для одного направления передачи) и частотная (для другого направления) модуляция сигнала. В отличие от волоконнооптической системы передачи первой группы (рисунок 3.1), оптические передатчики – когерентные (КОП) и содержат системы стабилизации оптической частоты и формирования узкой линии излучения (СЧУЛ) и блоки, обеспечивающие обработку сигналов с заданной модуляцией.

ПК

ЛГ

СЧУЛ

С

РС

УОРС

КОП-АМ

Вход

УМ

УПЧ

ОС

С

РС

ФД

МЛГ

АПЧ

ДМ

ВТЧ

РУ

ПК

Ф

КОПр-ЧМ

Выход

Рисунок 3.3 – Волоконнооптическая система передачи с когерентными методами передачи и приёма

В когерентных оптических приемниках (КОПр) используется местный лазерный генератор (МЛГ) с узкой линией излучения и устройство автоматической подстройки его частоты (АПЧ), оптический сумматор (ОС), усилитель промежуточной частоты (УПЧ), а также демодулятор (ДМ), амплитудный или частотный, в зависимости от вида модуляции принимаемого сигнала. В такой схеме достигается максимальная длина регенерационного участка.

Кроме того возможна другая схема одноволоконной оптической системы передачи третьей группы, в которой в одном направлении передачи использована модуляция по интенсивности, а в другом – когерентная модуляция (КОИ-АМ или КОИ-ЧМ) оптического сигнала.

На рисунке 3.4 приведена схема, в которой использована модуляция по интенсивности оптических сигналов электрическими сигналами, описываемыми ортогональными (на тактовом интервале) функциями. В отличие от волокон-нооптической системы передачи первой группы (рисунок 3.1), оптические передатчики таких систем содержат генераторы ортогональных сигналов (ГОС1 и ГОС2), а в оптических приёмниках использованы корреляционные демодуляторы (КДМ). Для подстройки генератора ГОС2 используется выделитель ортогонального сигнала (ВОС) и компаратор (КОМ).

М

УМ

ЛГ

С

РС

УОРС

ОП

Вход

ПК

ГОС

С

РС

ФД

КДМ

РУ

ВТЧ

ОПр

Выход

У

Ф

ПК

ЛК

Рисунок 3.4 – Волоконнооптическая система передачи с модуляцией по интенсивности ортогональными электрическими сигналами

Для передачи информационного сигнала может быть использована поднесущая частота, расположенная выше диапазона частот, где несущественно влияние обратного рассеяния в оптическом волокне на характеристики одноволоконной оптической системы передачи (выше 200 Мгц). Таким образом, устраняется шум обратного рассеяния и тем самым повышается энергетический потенциал. В отличие от волоконнооптической системы передачи первой группы, в данной системе используются генераторы поднесущей частоты, полосовые фильтры и устройства восстановления поднесущей частоты.

Максимальная длина регенерационного участка одноволоконной оптической системы передачи третьей группы определяется выражением:

где:

n=11;22;33;



Э11’=Экои-ам, Э22’=Экои-чм, Э33’=Эми’ – энергетический потенциал когерентных волоконнооптической системы передачи с амплитудной и частотной модуляцией и волоконнооптической системы передачи с модуляцией по интенсивности.

В отличие от рассмотренных выше одноволоконных оптических систем передачи первой и второй групп, системы данной группы могут быть несимметричными, а максимальные длины регенерационных участков для передачи в разных направлениях – различными. В частности Э11’больше Э33’ на 10..15 ДБ, а Э22’ больше Э11’ на 3 ДБ.

Длина регенерационного участка для направления передачи, где используется КОИ-АМ (Э11’=45ДБ) составляет:



Стоимость когерентных полупроводниковых лазеров и систем стабилизации частоты лазеров, используемых в волоконнооптических системах передачи третьей группы, пока ещё высока, что в значительной степени ограничивает область применения одноволоконных оптических системах передачи с использованием когерентных методов передачи и обработки сигнала. Показатели надежности определяются главным образом надежностью работы полупроводниковых лазеров и систем стабилизации их частоты.

### 3.4. Волоконнооптическая система передачи с одним источником излучения.

В особых условиях эксплуатации могут быть использованы методы построения одноволоконных оптических систем передачи по схеме на рис.3.5 В оптическом передатчике на одном конце линии вместо полупроводникового лазера используется модулятор отраженного излучения (МОИ), устройство снятия модуляции (УСМ) и оптический разветвитель с большим отношением мощности на выходах 1 и 2. Большая мощность поступает в модулятор отраженного излучения, а меньшая – в оптический приёмник. В оптическом передатчике принятый сигнал подвергается модуляции вторым информационным сигналом. И через устройство объединения и разветвления оптических сигналов (УОРС) поступает в оптический кабель и далее в оптический приёмник на другом конце линии.

ОП

Вход1

РС

УОРС

ОПр

РС

УОРС

РС

МОИ

УСМ

ОР

РС

ОПр

РС

ПК

Выход1

Вход2

Выход2

Рисунок 3.5 –Волоконнооптическая система передачи с одним источником излучения

Такие волоконнооптические системы передачи могут быть использованы в экстремальных условиях эксплуатации на одном конце линии, так как полупроводниковые лазеры чрезвычайно чувствительны к нестабильности условий эксплуатации.

Максимальная длина регенерационного участка рассматриваемой одноволоконнооптической системы передачи значительно меньше, чем у систем, описанных выше, и определяется соотношением:



Где ор1, мои – соответственно затухание сигнала в оптическом разветвителе на выходе 1 и в модулятор отраженного излучения, ДБ.

Длина l4 для ор1=1 ДБ, мои=3 ДБ и приведенных в пункте 2.1.1 значений других параметров аппаратуры согласно формуле (2.6) составляет:

Показатели надежности одноволоконной оптической системы в данном случае определяются главным образом надежностью оптоэлектронных элементов оборудования, находящегося в экстремальных условиях эксплуатации.

### Выбор способа организации одноволоконного оптического тракта.

При проектировании одноволоконных оптических систем передачи с оптимальными характеристиками выбор структурной схемы системы и используемых технических средств определяется критериями оптимальности. Если критерием является минимальная стоимость, то в оптимальной системе должны использоваться оптические разветвители.

Максимальная длина регенерационного участка требует применения оптических циркуляторов, переключателей, оптических усилителей, когерентных методов передачи сигнала. Требования высокой надежности и стойкости к внешним воздействиям определяют выбор системы с оптическим источником на одном конце линии, а требование максимального объема передаваемой информации – системы со спектральным уплотнением или с когерентными методами передачи.

С учётом того, что проектируемый оптический передатчик предназначен для использования на соединительных линиях городской телефонной сети, для него характерны следующие критерии оптимальности:

- Стоимость и простота реализации;

- Длина регенерационного участка не менее 8 км;

- Относительно низкая скорость передачи (8.5 Мбит\с).

Наилучшим вариантом реализации одноволоконной оптической системы передачи, с точки зрения приведённых критериев оптимальности, является схема волоконнооптической системы связи с модуляцией по интенсивности, с применением оптических разветвителей (рисунок 3.1). Данная схема отличается простотой реализации оптического передатчика и приемника, невысокой стоимостью устройств объединения и разветвления оптических сигналов (оптических разветвителей). Схема обеспечивает длину регенерационного участка до 18 км, что удовлетворяет вышеприведённым критериям оптимальности.

### Структурная схема оптического передатчика.

Структурная схема оптического передатчика представлена на рис.3.6. Сигнал в коде HDB от цифровой системы уплотнения каналов поступает на преобразователь кода (ПК), в котором код HDB преобразуется в линейный код оптической системы передачи CMI. Полученный электрический сигнал поступает на усилитель (УС), состоящий из двух каскадов: предварительного каскада усиления (ПКУ) и оконечного каскада усиления (ОКУ), где усиливается до уровня, необходимого для модуляции оптической несущей. Усиленный сигнал поступает на прямой модулятор (МОД), состоящий из устройства смещения (УСМ), служащего для задания рабочей точки на ватт - амперной характеристике излучателя и, собственно, самого прямого модулятора, собранного по классической схеме из полупроводникового оптического излучателя V1 и транзистора V2. Для обеспечения стабильности работы излучателя, в схему лазерного генератора (ЛГ) введены устройство обратной связи (УОС) и система термостабилизации (СТС). С выхода модулятора оптический сигнал, промодулированный по интенсивности цифровым электрическим сигналом в коде CMI, поступает на устройство согласования полупроводникового излучателя с оптическим волокном (СУ).

СТС

# Рис. 3.6. Структурная схема оптического передатчика.

+Еп

R1

V1

V2

УСМ

МОД

ПК

ПКУ

ОКУ

УC

УОС

ЛГ

СУ

Вход

Выход

HDB

CMI

**4. Охрана труда**

В данном дипломном проекте требуется разработать передающее устройство одноволоконной оптической системы передачи, рассчитанной на работу с длиной волны 0.85 мкм, которая относится к ближнему инфракрасному диапазону излучения.

Поскольку передающее устройство рассчитано на работу в составе многоканальных систем связи на соединительных линиях городской телефонной сети, то в главе освещены вопросы организации охраны труда на предприятиях.

**4.1 Лазерная безопасность**

Воздействие лазерного излучения на органы зрения.

Основной элемент зрительного аппарата человека - сетчатка глаза - может быть поражена лишь излучением видимого ( от 0.4 мкм ) и ближнего ИК-диапазонов ( до 1.4 мкм ), что объясняется спектральными характеристиками человеческого глаза. При этом хрусталик и глазное яблоко, действуя как дополнительная фокусирующая оптика, существенно повышают концентрацию энергии на сетчатке, что, в свою очередь, на несколько порядков понижает максимально допустимый уровень ( МДУ ) облучения зрачка.

### Технико-гигиеническая оценка лазерных изделий

В нашей стране на базе проведенных комплексных исследований и современных представлений о влиянии лазерного излучения на организм человека разработан и утвержден ряд нормативных документов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию лазерных изделий. Эти документы устанавливают единую систему обеспечения лазерной безопасности. В такую систему входят: технические средства снижения опасных и вредных производственных факторов, организационные мероприятия, контроль условий труда на лазерных установках. В современной отечественной научно-технической и нормативной литературе дано несколько вариантов классификации лазерных изделий. С позиции обеспечения лазерной безопасности их классифицируют по основным физико-техническим параметрам и степени опасности генерируемого излучения.

В зависимости от конструкции лазера и конкретных условий его эксплуатации обслуживающий его персонал может быть подвержен воздействию опасных и вредных производственных факторов. Уровни опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте не должны превышать значений, установленных по электробезопасности, взрывоопасности, шуму, уровням ионизирующего излучения, концентрации токсических веществ и др.

### Классы опасности лазерного излучения

Степень воздействия лазерного излучения на оператора зависит от физико-технических характеристик лазера — плотности мощности (энергии излучения), длины волны, времени облучения, длительности и периодичности импульсов, площади облучаемой поверхности. Биологический эффект лазерного облучения зависит как от вида воздействия излучения на ткани организма (тепловое, фотохимическое), так и от биологических и физико-химических особенностей самих тканей и органов.

Наиболее опасно лазерное излучение с длиной волны:

380÷1400 нм — для сетчатки глаза,

180÷380 нм и свыше 1400 нм — для передних сред глаза,

180÷105 нм (т.е. во всем рассматриваемом диапазоне) — для кожи.

Гигиенистами выдвинуты требования, в соответствии с которыми, в основу проектирования, разработки и эксплуатации лазерной техники должен быть положен принцип исключения воздействия на человека (кроме лечебных целей) лазерного излучения, как прямого, так и зеркально или диффузно отраженного.

Лазерные изделия по степени опасности генерируемого излучения подразделяют на 4 класса. При этом класс опасности лазерного изделия определяется классом опасности используемого в нем лазера. Классификацию лазеров с точки зрения безопасности проводит предприятие-изготовитель путем сравнения выходных характеристик излучения с предельно допустимыми уровнями (ПДУ) при однократном воздействии. Определяя принадлежность лазерного изделия к тому или иному классу по степени опасности лазерного излучения, необходимо учитывать воздействие прямого или отраженного лазерного пучка на глаза и кожу человека и пространственные характеристики лазерного излучения (при этом различают коллимированное излучение, то есть заключенное в ограниченном телесном угле, и неколлимированное, то есть рассеянное или диффузно отраженное). Использование дополнительных оптических систем не входит в понятие "коллимация", а оговаривается отдельно. Лазерные изделия с точки зрения техники безопасности классифицируют в основном по степени опасности генерируемого излучения. Установлены следующие 4 класса лазеров:

**1.** Полностью безопасные лазеры, выходное излучение которых не представляет опасности для глаз и кожи человека;

**2.** Лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении кожи или глаз человека коллимированным пучком. В то же время диффузно отраженное излучение лазеров этого класса безопасно как для кожи, так и для глаз;

**3.** Лазерные устройства, работающие в видимой области спектра и выходное излучение которых представляет опасность при облучении как глаз (коллимированным и диффузно отраженным излучением на расстоянии менее 10 см от отражающей поверхности), так и кожи (только коллимированным пучком);

**4.** Наиболее опасный — к нему относят лазерные устройства, даже диффузно отраженное излучение которых представляет опасность для глаз и кожи на расстоянии менее 10 см.

При определении класса опасности лазерного излучения учитываются три спектральных диапазона.

Таблица 4.1 – Диапазоны лазерного излучения

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

### Гигиеническое нормирование лазерного излучения

Для каждого режима работы лазера и его спектрального диапазона регламентируют предельно допустимый уровень излучения. Нормируемыми параметрами с точки зрения опасности лазерного излучения являются энергия W и мощность P излучения, прошедшего ограничивающую апертуру диаметрами dа=1.1 мм (в спектральных диапазонах I и II) и dа=7 мм (в диапазоне II); энергетическая экспозиция H и облученность E, усредненные по ограничивающей апертуре:

H=W/Sa; E=P/Sa , (3.1)

где Sa — площадь ограничивающей апертуры.

Таблица 4.2 - Предельные дозы при однократном воздействии на глаза коллимированного лазерного излучения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Длина волны λ, нм | Длительность воздействия t, с | WПДУ, Дж |
| 380<λ≤600 | t≤2.3⋅10-11 |  |
|  | 2.3⋅10-11<t≤5⋅10-5 | 8⋅10-8 |
|  | 5⋅10-5<t≤1 |  |
| 600<λ≤750 | t≤6.5⋅10-11 |  |
|  | 6.5⋅10-11<t≤5⋅10-5 | 1.6⋅10-7 |
|  | 5⋅10-5<t≤1 |  |
| 750<λ≤1000 | t≤2.5⋅10-10 |  |
|  | 2.5⋅10-10<t≤5⋅10-5 | 4⋅10-7 |
|  | 5⋅10-5<t≤1 |  |
| 1000<λ≤1400 | t≤10-9 |  |
|  | 10-9<t≤5⋅10-5 | 10-6 |
|  | 5⋅10-5<t≤1 |  |

Примечания: 1. Длительность воздействия меньше 1 с.

2. Ограничивающая апертура = 7⋅10-3 м.

Предельно допустимый уровень лазерного излучения устанавливают для двух условий - однократного и хронического облучения. Под хроническим понимают "систематически повторяющееся воздействие, которому подвергаются люди, профессионально связанные с лазерным излучением".

Предельно допустимый уровень при этом определяют как:

1. Уровни лазерного излучения, при которых "существует незначительная вероятность возникновения обратимых отклонений в организме" человека;

2. Уровни излучения, которые "при работе установленной продолжительности в течение всего трудового стажа не приводят к травме (повреждению), заболеванию или отклонению в состоянии здоровья как самого работающего, так и последующих его поколений".

Предельно допустимый уровень хронического воздействия рассчитывают путем уменьшения в 5÷10 раз ПДУ однократного воздействия.

### 4.2. Требования к размещению лазерных изделий

Размещение лазерных изделий в каждом конкретном случае производится с учётом класса опасности изделий, условий и режима труда персонала, особенностей технологического процесса, подводка коммуникаций.

Требования для класса 3Б:

*Расстояние между лазерными изделиями должно обеспечивать безопасные условия труда и удобство эксплуатации, ремонта и обслуживания. Рекомендуется для класса 3Б:*

- Со стороны органов управления: при однорядном расположении–1,5 м;

- при двухрядном не менее - 2,0 м;

- c других сторон не менее – 1,0 м;

- траектория прохождения лазерного пучка должна быть заключена в оболочку из несгораемого материала или иметь ограждение, снижающие уровень лазерного излучения к допустимому уровню и исключающие попадание лазерного пучка на зеркальную поверхность. Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высота траектории 2,2 м.

- Рабочее место должно быть организовано таким образом, чтобы исключать возможность воздействия на персонал лазерного излучения или чтобы его величина не превышала допустимый уровень для первого класса;

- рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации и др.) должна обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизические возможности человека.

- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранения заготовок, готовых изделий.

### Классификация условий и характера труда

По степени зашиты персонала от воздействия лазерного излучения условия и характер труда при эксплуатации лазерных изделий независимо от класса изделия подразделяются:

А) оптимальные – исключающие воздействие на персонал лазерного излучения;

Б) допустимые – уровень лазерного излучения, воздействующего на персонал, меньше предельно допустимого уровня.

В) вредные и опасные – уровень лазерного излучения, воздействующего на персонал, превышает предельно допустимый уровень.

### Требования безопасности при эксплуатации и обслуживании лазерных изделий

Выполнение следующих требований безопасности должно обеспечивать исключение или максимальное уменьшение возможности облучения персонала лазерным излучением, а также воздействия на него других опасных факторов:

- К ремонту, наладке и испытаниям лазерных изделий допускаются лица,

имеющие соответствующую квалификацию и прошедшие инструктаж по

технике безопасности в установленном порядке.

* К работе с лазерными изделиями допускаются лица, достигшие восем-надцати лет, не имеющие медицинских противопоказаний,

прошедшие курс специального обучения в установленном порядке работе

с конкретными лазерными изделиями и аттестацию на группу по охране

труда при работе на электроустановках с соответствующим напряжением.

* При эксплуатации изделий выше класса 2 должно назначаться лицо, ответственное за охрану труда при их эксплуатации.
* Лазерные изделия, находящиеся в эксплуатации, должны подвергаться регулярной профилактической проверке. При проведении профилактической проверки следует обращать особое внимание на безотказность работы всех защитных устройств, надёжность заземления.

**4.3. Мероприятия по производственной санитарии.**

Обоснование вида пайки

В связи с незначительным объемом производства (предполагаемый объем производства составляет 100 штук за год), а также учитывая форму и размеры печатного узла, количество радио элементов на печатной плате устройства, при изготовлении данного блока целесообразно применять ручную пайку. А для обеспечения электробезопасности необходимо применить электропаяльник мощностью 20-40Вт при напряжении питания 36В.

В соответствии со сборочным чертежом волоконнооптического передающего устройства, пайку печатных плат нужно производить припоем ПОС-61 ГОСТ 21931-76. Химический состав этого припоя приведён в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Химический состав низкотемпературных припоев

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка припоя | Олово | Свинец | Висмут | Примеси |
| ПОС-61 | 60-62% | 37,7 –39,7% | нет | 0,29% |

Пайка в атмосфере обычными припоями производится, обычно, с применением флюсов. В качестве флюсов применяются канифоль, стеарин, их спиртовые растворы, а также флюсы содержащие солянокислый гидразин.

Для пайки выше вышеперечисленными низкотемпературными припоями применим наиболее распространённый и дешёвый смолосодержащий флюс марки ФКСП по ОСТ4.ГО.033.000. Состав флюса:

* 70-60% сосновой канифоли.
* 30-40% спирта этилового.

В качестве моющего средства для удаления остатков флюса применим

смесь бензина и этилового спирта в соотношении 1:1.

Опасные и вредные воздействия, вызванные процессами пайки.

Потенциально опасные и вредные производственные факторы при пайке:

* Запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
* Наличие инфракрасных излучений;
* Неудовлетворительная освещенность рабочих мест или повышенная яркость;
* Неудовлетворительные метеорологические условия в рабочей зоне;
* Воздействия брызг и капель расплавленного припоя;
* Возможное поражение электрическим током;
* Психофизиологические перегрузки.

Описание биологического действия опасных и вредных веществ находящихся в воздухе рабочей зоны.

Процессы пайки сопровождаются загрязнением воздушной среды аэрозолями припоя, флюса, парами различных жидкостей, применяемых для флюса, смывки и растворения лаков.

Находясь в запыленной атмосфере, рабочие подвергаются воздействию пыли и паров. Вредные вещества оседают на кожном покрове, попадают на слизистые оболочки полости рта, глаз, верхних дыхательных путей, заглаты-ваются в пищеварительный тракт, вдыхаются в лёгкие.

Особенно вредны при пайке оловяно-свинцовыми припоями пары свинца. Свинец и его соединения ядовиты. Часть поступившего в организм свинца выводится из него через кишечник и почки, а часть задерживается в костном веществе, мышцах, печени. При неблагоприятных условиях свинец начинает циркулировать в крови, вызывая явления свинцового отравления. Для предотвращения острых заболеваний и профессиональных заболеваний содержание свинца не должно превышать предельно допустимых концентраций. Биологическое действие и предельно допустимые концентрации компонентов входящих в состав используемых припоев приведены в табл.4.4.

Применение флюсов при пайке также оказывает вредное влияние на организм человека. Компоненты входящие в состав флюса, обладают раздражающим, наркотическим действием.

Таблица 4.4. Биологическое действие, класс опасности и ПДК в воздухе рабочей зоны исходных компонентов входящих в состав припоев.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Компонент | Характер токсичности и действие | Класс опасности | ПДК в воздухе рабочей зоны |
| Олово | Поражение бронхов, вызывает профилактивно-креточную реакцию в легких. При длительном воздействии возможен пневмокониоз. | 3 | 10мг\ |
| Свинец | При отравлении наблюдается поражение нервной системы, крови, желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы, половой системы, нарушение течения беременности. | 1 | 0.01мг\ |
| Висмут | Подобно действию других металлов вызывает угнетение активности ферментов, оказывает эмбриотропное и гонадотропное действие. | \_\_ | \_\_ |

Достаточно высокую токсичность имеют компоненты, входящие в состав флюса и моющих средств.

Токсические действия и предельно допустимые концентрации для компонентов входящих в состав флюсов и моющего средства приведены в таблицах 4.4 и 4.6 соответственно.

Таблица 4.5**.** Токсичное действие компонентов, входящих в состав флюса марки ФКСП.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Компонент | Токсичность и характер действия | Класс опасности | ПДК в воздухе рабочей зоны, мг\ |
| Канифоль сосновая | Обладает раздражающим действием. При длительном воздействии на кожу вызывает дерматит. | \_\_ | \_\_ |
| Спирт этиловый | Обладает наркотическим и раздражающим действием. Вызывает изменения печени, сердечно-сосудистой и нервной системы, сухость кожи при длительном контакте. | 4 | 1000 |

Таблица 4.6. Токсические свойства моющих средств, класс опасности и ПДК в воздухе рабочей зоны.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Компонент | Токсичность и характер действия | Класс опасности | ПДК в воздухе рабочей зоны, мг\ |
| Бензин | Обладает раздражающим действием и как наркотик… Функциональные нервные расстройства, сопровождаемые мышечной слабостью, вялостью, сонливостью или бессонницей. Расстройства пищеварительного тракта, печени, дрожание пальцев и языка, поражение кожи. Характерно развитие судорог, понижается кровяное давление, пульс замедляется. | 4 | 300 (в пересчёте на углерод) |

Биологическое действие инфракрасного излучения на организм человека.

По физической основе инфракрасное излучение представляет собой поток энергии, обладающий волновыми и корпускулярными свойствами. На человека инфракрасное излучение оказывает в основном тепловое воздействие. Эффект действия инфракрасных излучений зависит от длинны волны ИК излучения и подразделяется на три области: А,В,С, (таблица 4.7)

Таблица 4.7. Области инфракрасного излучения.

|  |  |
| --- | --- |
| Область ИК излучения | Длинна волны, нм |
| А | 760…15000 |
| В | 1500…3000 |
| С | 3000…10000 |

Эффект действия зависит от принадлежности излучения к одной из областей инфракрасного излучения. Наиболее опасным является излучение области А, т.к. обладает большой проницаемостью через кожу. Действие инфракрасных лучей при поглощении их в различных слоях кожи приводит к её перегреванию, что обуславливает переполнение кровеносных сосудов кровью и усиление обмена веществ. Увеличивается содержание фосфора и натрия в крови человека, происходит повышение максимального давлений, повышение температуры тела, заболеваемость середчно-сосудистой системы и органов пищеварения.

Определение интенсивности ИК излучения

Интенсивность облучения *Е* от нагретой поверхности определяем по формуле:

, (4.1)

где l – расстояние до источника теплового излучения (принимаем l=100мм);

*F* – площадь излучающей поверхности (F=300);

*А*=85 для кожи человека и хлопчатобумажной ткани;

*Т* – температура излучающей поверхности, складывающейся из температуры плавления припоя Тпп=483 К, избыточной температуры жала паяльника Тж=70 К, тогда Т=Тпп + Тж=483 + 70=553 К.



По закону Вина находим длину волны ИК излучения тела с температурой 553 К.

Данное излучение относится к области С. Допустимая плотность потока энергии для нашего случая в соответствии с требованиями составляет 85. Приходим к выводу, что инфракрасное излучение не будет оказывать вредного действия на организм человека.

Определение концентрации аэрозолей свинца в воздухе рабочей зоны.

Количество аэрозоля свинца, выделяемое при пайке в атмосферу составляет 0.02-0.04мг на 100 паек.

Исходными данными для расчета концентрации свинца при пайке является:

*N* – количество рабочих мест, на которых ведётся пайка; *N=4*;

Размеры помещения, 5х5х3м,

*n* – количество паек в минуту, *n=10*;

Концентрация аэрозоля свинца в атмосфере при ручной пайке определяется по формуле: 

*y* – удельное образование аэрозоля свинца; y=0.03мг/100паек.

*t* – длительность смены; t=8ч;

*V* – объём помещения, 

Тогда: 

Концентрация свинца в воздухе рабочей зоны в 7 раз превышает предельно допустимую концентрацию, поэтому необходимо предусмотреть местную вентиляцию, расчёт которой приведен далее.

**4.4. Требование к освещению и расчёт освещённости**

При монтаже печатных плат уровень освещённости должен быть оптимальным. При излишне ярком освещении возникает быстрое утомление рабочего, что может привести к потере работоспособности и травмы.

Естественное освещение помещения осуществляется боковым светом через световые проёмы в наружных стенах или через прозрачные части стен.

Основная величина для расчёта освещения (КЕО). Он зависит от широты местности, времени года и погоды. По нему производится нормирование естественного освещения.

При одностороннем боковом освещении нормируется минимальное значение КЕО в точке, расположенной на расстоянии 1 метр от наиболее удаленной от световых проёмов стены, на пересечении характерного размера помещения и условной рабочей поверхности.

Методика расчёта изложена в [8]. Согласно СНиП ІІ-4-79/85 нормированное значение КЕО для работ высокой точности(объект различения от 0.3 до 0.5мм) со средним контрастом объекта различения с фоном и средним фоном для ІІІ-го пояса .Для г.Киев (ІV пояс светового климата) КЕО:

 **(**4.2**)** ,

Где -КЕО для ІІІ-го пояса;

*m –* коэффициент светового климата; по таблице 1.2 из [8] находим *m*=0.9

*c*- коэффициент солнечности климата по табл. 1.3. [8], для световых проёмов ориентированных по азимуту 70град. коэффициент *с=0.8*

 (4.3)

Фактичесоке значение КЕО для бокового овещения расчитываем по формуле:

 (4.4),

Где - геометрические КЕО в расчётной точке при боковом освещении, учитывающие прямой свет неба и свет отражённый от противостоящего здания соответсвенно;

*n1,n1`,n2,n2`* -количество лучей по графикам І и ІІ [8] проходящим от неба и противостоящего здания в расчётную точку на поперечном разрезе и плане помещения;

 (4.5)

 (4.6)

*q* –коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба из таблицы 2.4. [8] для угловой высоты середины светового проёма над рабочей поверхностью (рис.4.1);

*R* – коэффициент учитывающий относительную яркость противосто-ящего здания, для здания из кирпича с учётом индексов противостоящего здания в плане *Z1* и в разрезе *Z2.*

; ; (4.7)

- соответственно длинна и высота противостоящего здания ;

 -расстояние от расчётной точки в помещении до внешней поверхности наружной стены здания;

*р* –расстояние между рассматриваемыми зданиями;

*а* –ширина окна в плане;

*r1*- коэффициент учитывающий увеличение КЕО при боковом освещении из-за отражения от поверхностей помещения и подстилающего слоя. Зависит от отношения глубины *В* к высоте верха окна до уровня рабочей поверхности h1, отношения *l* к *В,* и отношения длинны помещения длинны помещения  к его глубине *В*, средневзвешенного коэфициента отражения поверхностей помещения :

 (4.8)

- коэффициенты отражения соответственно потолка, стен, пола из таблицы 1.7 [8]

n2`=19

0

6

49

25

n2=31

α=14град

45

n1`=1.0

50

Рис 4.1 Поперечный разрез и план помещения.

n1=4.0

0

25

**5м**

**5м**

**3м**

 - площади соответсвенно потолка, пола и стен;

 - общий коэффициент светопропускания;

 (7.9)

 - коэффициент светопропускания материала остекления, берётся из таблицы 1.8 [8] для двойного оконного листового стекла;

 - коэффициент учитываующий потери в переплётах светопроёма из таблицы 1.9. [8]

 - коэффициент запаса, определяемый по таблице 1.12 [8].

Значения параметров определяемые по таблицам [8], а также по плану и разрезу помещения, результаты промежуточных вычислений сведены в таб. 4.7 подставляя численные значения находим:



Таблица 4.7 Исходные данные и значения коэффициентов необходиых для расчёта КЕО.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Исходные данные коэффициенты | Значение | Исходные  данные коэффициенты | Значение |
| *n1*  *n1`*  *n2*  *n2`*      α  *q*        *p*  *a*  *h1`*  *h1*  *B*    *Z1*  *Z2* | 4  1  31  19  1.24  0.19  14  0.64  30м  10м  4,25м  40м  3,6м  2,8м  2,1м  5м  5м  0,8  0,27  0,7 | *B/h1*                      *R* | 0,7  0,1  25  49  25  0,55  2,4  0,8  1  2,5  0,8  0,7  1  1  1  0,56  1,5  0,25 |

, 

В результате получаем:



Расчитанный КЕО в 2 раза меньше нормированного. Следовательно рабочие места следует располагать ближе к окнам помещения, так чтобы они находились в зоне, в пределах которой фактичесоке значение КЕО больше или равно нормированному, либо нужно применить совмещённое освещение при соответсвующей ему норме КЕО  при этом по формуле (7.2) определяем: 

При этом нормы СНиП ІІ-4-79/85 будут выполнятся в пределах всего помещения.

Произведём проверочный расчёт искусственного освещения по методике изложенной в [9]. На рисунке 8.2 Представлена схема для определения условий применения методов расчёта . При рядах небольшой протяжённости (ln/n <3), фактическую освещенность рабочей поверхности определяем по формуле:

 (4.10)

*N* – количество светильников в помещении;

*n* – количество ламп в светильнике;

 - Световой поток лампы, лм;

 - коэффициент учитывающий увеличение освещённости;

- относительная освещённость в расчётной точке, создаваемая i-м полурядом светильников.

 - коэффициент запаса;

*h* – высота подвесов светильника;

*lp* – длинна ряда светильников;

Высота подвеса светильников *h=3-0.3-0.8=3м*

Длинна ряда светильников *lp=3.4м*

Для ламп типа ЛБ40, применяемых для освещения данного помещения, световой поток по таблице 1.1.[9] =*3120лм*

Имеем *n=4, N=4, =1.5, =1.2, m=2*

Для определения табличного значения функции  находим отношение

p` и l` :

p`=*p/n , p* – расстояние от расчётной точки до проекции ряда светильников на горизонтальную плоскость.

*l`=l2/n, l2* – расстояние до расчётной точки от стены.

*p`=1/4=0.25 l`=2.5/4=0.62*

Для угла α=25 под которым падает свет *Уα=162лм*. По табл.1.10 [9] по *Уα,* для светильников 9-й группы определяем *f(p`,l`)=0.55*

Тогда *= f(p`,l`) Уα=0.55\*162=89*

Поставляя численные значения в формулу (7.10), получаем:



3400

675

1275

3000

800

2000

200

Рис.4.2. Схема для применения метода расчёта.

По таблице П1 [9] определяем значение нормированной освещённости. Для работ высокой точности (объект различения от 0.3 до 0.5 мм) со средним контрастом объекта различения с фоном при среднем фоне находим *Ен=400лк*.

Так как рассчитанное фактическое значение освещенности больше нормированного, делаем вывод о пригодности системы освещения в помещении.

**ВЫВОДЫ**

В ходе выполнения дипломного проекта рассмотрены основные параметры и характеристики волоконно-оптических линий связи, физические процессы, лежащие в основе работы оптооэлектронных приборов волоконно-оптических линий связи. Проведено исследование принципов построения и функционирования волоконно-оптических линий связи. Рассмотрены основные положения технической реализации ВОЛС. Проведено исследование методов построения одноволоконных оптических систем передачи информации. Проведены расчеты для различных видов таких систем. Сделаны выводы о целесообразности применения тех или иных волоконно-оптических систем передачи информации в различных условиях и предъявляемых к ним требованиях. Разработаны мероприятия по охране труда и техники безопасности при работе с лазерным оборудованием.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.**

1. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. М. «Радио связь», 1989 г. – 360с.
2. Основы оптоэлектроники. Пер. с японского под редакцией К.М. Голанта. М. «Мир». 1998 г.
3. Игнатов Н.И. Оптоэлектронные приборы и устройства. М. Экотрендз, 2016 г., 472 с.
4. Гриднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. – М. «Радио и связь», 1999г., 223 с.
5. Семейкин В. Д. Учебное пособие: проектирование линейных трактов волоконно-оптических систем передачи. Астрахань 2001. 321 с.
6. [www.nii-ecos.ru/elis3/html2/newvol.html](http://www.nii-ecos.ru/elis3/html2/newvol.html)
7. [www.chipinfo.ru/literature/radio/199902/p64-65.html](http://www.chipinfo.ru/literature/radio/199902/p64-65.html)
8. www.sconline.ru/doc/6091.html
9. Лансберг Г.С. Оптика. – М. Наука, 1976, 926 с.
10. Волоконно-оптические линии связи – Справочник. Под редакцией С.В. Свечникова и Л.М. Андрушко. Киев «Техника» 2008, 240 с.
11. Дементий Л.В., Юсина А.Л. Охрана труда: рекомендации по выполнению раздела в дипломном проекте бакалавра для студентов технических специальностей.
12. Методичные указанияя к самостоятельной работе по дисциплинам «Основы охраны труда», «БЖД и охрана труда», «Охрана труда в отрасли» по теме: «Законодательство об охране труда» (часть вторая) (для студентов всех специальностей) / Сост. М.А. Касьянов, В.О. Медяник, В.И. Сало, О.М. Гунченко, В.А. Малов – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2008. – 50 с
13. Научно-методичный комплекс дисциплины «Основы охраны труда» (НМКДКД). (Эл. вид.). Луганск. ВНУ им. В. Даля, кафедра «ОП та БЖД», 2006 г.