

**ОТДЕЛЕНИЕ «Проводная связь»**

**ПЦК**   **«210709 Многоканальные телекоммуникационные системы»**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Зам. директора по УМР**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Бозрова И.Г.

**КОМПЛЕКТ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

**ПМ.01 Техническая эксплуатация многоканальных телекоммуникационных систем**

**МДК.01.01. Технология монтажа и обслуживания направляющих систем**

**для специальности**

**210709 «Многоканальные телекоммуникационные системы»\_**

(базовый уровень)

**Разработчик: преподаватель специальных дисциплин Лысенко Г.А.**

**Комплект практических работ рассмотрен и одобрен на заседании ПЦК 210709 «Многоканальные телекоммуникационные системы»\_**

протокол № от « » декабря 201 г.

Председатель ПЦК \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Т.М. Гайдадина

**Москва 2013**

**Введение**

Настоящий комплект лабораторных работ предназначен в качестве методического пособия при проведении лабораторных работ по программе МДК.01.01. Технология монтажа и обслуживания направляющих систем ПМ.01 Техническая эксплуатация многоканальных телекоммуникационных систем для специальности 210709 Многоканальные телекоммуникационные системы (базовый уровень).

Лабораторные занятия по дисциплине «Технология монтажа и обслуживание телекоммуникационных систем и направляющих систем электросвязи» проводятся с целью обеспечения понимания теоретического материала учебного курса и его включение в систему знаний студентов, формирование и становление различных уровней составляющих его профессиональной компетентности, приобретения практических навыков в решении профессиональных задач по компьютерным технологиям.

Тематика лабораторных работ соответствует рабочей программе МДК.01.01. Технология монтажа и обслуживания направляющих систем

**Лабораторная работа 1.**

Тема: Составление схем первичных и вторичных сетей связи

**Лабораторная работа 2**

Тема: Конструкция и маркировка медных кабелей связи

**Лабораторная работа 3**

Тема: Исследование конструкций междугородных волоконно – оптических кабелей связи

**Лабораторная работа 4**

Тема: Изучение конструкций станционных волоконно – оптических кабелей связи

**Лабораторная работа 5**

Тема: Изучение конструкций волоконно – оптических кабелей связи специального назначения

**Лабораторная работа 6**

Тема: Расчет коэффициента фазы и фазовой скорости

**Лабораторная работа 7**

Тема: Расчет конструктивных параметров ОВ

**Лабораторная работа 8**

Тема: Расчет потерь при передаче по оптическому волокну

**Лабораторная работа 9**

Тема: Расчет элементов конструкций симметричных кабелей

**Лабораторная работа 10**

Тема: Расчет длины регенерационного участка

**Лабораторная работа 11**

Тема: Расчет первичных параметров симметричных кабеля

**Лабораторная работа 12**

Тема: Расчет дисперсии в оптических кабелях

**Лабораторная работа 13**

Тема: Определение числа мод и нормированной частоты в световодах

**Лабораторная работа 14**

Тема: Расчет и защита кабеля от ударов молний

**Лабораторная работа 15**

Тема: Изучение конструкций городских волоконно – оптических кабелей связи

**Лабораторная работа 16**

Тема: Расчет затухания в оптических кабелях

**Лабораторная работа 17**

Тема: Оконечные кабельные устройства

**Лабораторная работа 18**

Тема: Составление плана территории для прокладку ВОЛС

**Лабораторная работа 19**

Тема: Определение опасного магнитного влияния ЛЭП на цепи связи

**Лабораторная работа 20**

Тема: Определение опасного гальванического влияния ЛЭП на цепи связи

**Лабораторная работа 21**

Тема: Определение опасного магнитного влияния ЭЖД на цепи связи

**Лабораторная работа 22**

Тема: Определение мешающего влияния ЛЭП на цепи связи

**Лабораторная работа 23**

Тема: Определение мешающего влияния ЛЭП на цепи связи

**Лабораторная работа 24**

Тема: Монтаж кабеля в структурированных кабельных системах на основе витой пары

**Требования к знаниям и умениям при выполнении лабораторных работ**

В результате выполнения лабораторных работ, предусмотренных программой по данной специальности, студент должен знать:

* классификацию и состав Единой сети электросвязи (ЕСЭ) Российской Федерации;
* конструкцию и маркировку направляющих систем;
* конструкцию оконечного оборудования (боксы ЗП, шкафы);
* методы содержания кабеля под избыточным газовым давлением;
* соблюдение последовательности выполнения монтажа**,** подключения оборудования цифровых и волоконно-оптических систем передачи;
* выбор технологического оборудования и технологической оснастки для обеспечения качественного монтажа телекоммуникационных систем;
* точность и грамотность оформления технологической документации при проведении монтажа оборудования телекоммуникационных систем;
* соблюдение техники безопасности при выполнении монтажа, инсталляции и обслуживании систем передачи и коммутации;
* определения характера и места повреждения оборудования, каналов и трактов многоканальных телекоммуникационных систем передачи, сетей доступа;
* последовательность выявления повреждения с помощью контрольно-измерительной аппаратуры, по станционной сигнализации, заявкам абонентов;
* соблюдение последовательности организации замены поврежденных блоков, каналов, трактов;
* правильность выполнения технологических операций монтажа линий абонентского доступа и оконечных абонентских устройств в соответствии с нормативной документацией;.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен уметь:

* грамотность и обоснованность принятых решений при разработке проектов коммутационных станций, узлов и сетей электросвязи по эксплуатации;
* обоснованный выбор схем построения, монтажа и эксплуатации структурированных кабельных систем;
* соблюдение технологической последовательности конфигурирования оборудования в соответствии с условиями эксплуатации;
* адекватность решения технических задач при монтаже, прокладке и эксплуатации линейно-кабельных сооружений связи;
* составлять структурные схемы систем передачи для различных направляющих сред;
* осуществлять процесс нелинейного кодирования и декодирования;
* формировать линейные коды цифровых систем передачи.

**Правила выполнения лабораторных работ**

Для выполнения лабораторной работы студенту предварительно необходимо:

* Тщательно изучить основные правила работы и техники безопасности в лаборатории;
* Ознакомится с календарным планом выполнения лабораторных работ;
* Перед выполнением лабораторных работ изучить теоретический материал самостоятельно, используя конспект лекций и теоретические сведения к выполняемой лабораторной работе;
* Иметь ясное представление о цели работы и последовательности ее выполнения.

Основой комплекта лабораторных работ выступают типовые задания, которые должен уметь решать специалист в области телекоммуникаций в своей профессиональной деятельности, работая в дальнейшем в профессиональной деятельности на предприятиях связи, отделах и центрах связи государственных и коммерческих организаций и предприятий.

Лабораторная работа заключается в выполнении студентами, под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с применением современных информационных и коммуникационных технологий. Выполнение лабораторной работы студенты производят, используя для этого рабочие тетради.

В лабораторной работе материал изложен в следующей последовательности:

* Название лабораторной работы
* Цель работы
* Теоретические сведения
* Задания
* Порядок выполнения работы
* Контрольные вопросы

Контрольные вопросы содержат в себе перечень вопросов к темам лабораторных работ, по которым будет осуществляться их защита.

Лабораторные работы выполняются индивидуально. Каждый студент после выполнения работы должен представить отчет о проделанной работе с анализом полученных результатов и выводом по работе. Содержание отчета должно содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задания.
4. Ответы на контрольные вопросы.
5. Выводы по работе.

Студенты, не выполнившие работу, не допускаются к следующей работе. Если студент не выполнил лабораторную работу или часть работы, то он может выполнить работу или оставшуюся часть во внеурочное время, согласованное с преподавателем.

Оценку по лабораторной работе студент получает, с учетом срока выполнения работы, если:

* сделан анализ проделанной работы и вывод по результатам работы;
* студент может пояснить выполнение любого этапа работы;
* отчет выполнен в соответствии с требованиями к выполнению работы.

Зачет по лабораторным работам студент получает при условии выполнения всех предусмотренной программой работ, после сдачи отчетов по работам при удовлетворительных оценках за опросы и контрольные вопросы во время лабораторных занятий.

**Литература**

1. В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский. Направляющие системы электросвязи. Том 1 Теория передачи и влияния – Учебник М.: Горячая линия -Телеком", 2011 .

# Е.И. Чернышев Линейные сооружения связи. – Учебное пособие. Издательский дом «ИН-ФОЛИО» 2010

1. О.В. Родина Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство. М.: Горячая линия -Телеком", 2012

Дополнительная литература:

* 1. Курицын С.А. телекоммуникационные технологии и системы. М.: Академия, 2008

Интернет- ресурсы

<http://www.tls-group.ru/about/pressa/standart_DECT.html>

<http://ngnetwork.ru/category/koncepciya-ngn/page/2/>

<http://www.informsviaz.ru/inform_tech/617.html>

http://minkomsvjaz.ru/

<http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/RD/RD_45_183-2001.htm>

<http://kunegin.narod.ru/ref.htm>

<http://faq.pp.ru/html/hard/modem1/1.htm>

<http://www.lessons-tva.info/edu/telecom.html>

http://www.kafvt.narod.ru/Osia/frameset.htm

**Лабораторная работа 1.**

**Составление схем первичных и вторичных сетей**

**связи**

**Цель:** получить навыки и умения в построении внутризоновой и магистральной сетей

**Задание:**

1. Привести структуру сети в двух зонах семизначной нумерации ОАКТС, в каждой из которых располагается по две местных сети. Показать связи между зонами. Обходные пути организовать с помощью двух УАК первого класса. Емкости и типы местных сетей следующие:

1-я зона - СТС 14 тыс., ГТС 35 тыс.; 2-я зона - ГТС 80 тыс., СТС 16,5 тыс.

Количество и емкость станций местных сетей выбираются так, чтобы показать структуру сети и нумерацию абонентов.

2. Дать нумерацию абонентам местных сетей, приняв закрытую систему нумерации. Выбрать коды местных сетей и коды зон семизначной нумерации.

3. В соответствии с выбранной в п.2 нумерацией написать последовательность цифр, которые набирает абонент при осуществлении:

а) местной связи; б) внутризоновой связи; в) междугородной связи.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Исходные данные | 1в | 2в | 3в | 4в | 5в | 6в | 7в | 8в | 9в | 10в |
| Тип АМТС | Цифр. | Цифр. | Цифр. | Цифр. | Цифр. | Цифр. | Цифр. | Цифр. | Цифр. | Цифр. |
| Число направлений к ЦС от ОС | 8 | 9 | 7 | 6 | 5 | 3 | 6 | 2 | 4 | 5 |
| Число направлений от РАТС к РАТС, АМТС | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 4 | 3 | 2 | 5 |
| Число направлений к УАК2 от УАК1 | 5 | 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 5 | 4 | 2 |
| Число направлений к АМТС | 4 | 3 | 2 | 5 | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 |

**Выполнение работы**

Изучите на рисунке 1 приведенную структуру сети в двух зонах семизначной нумерации телефонной сети, в каждой из которых располагается по две местных сети. Показаны связи между зонами. Обходные пути организованы с помощью двух УАК первого класса.

**1-я зона.** Код зоны - 084.

Сеть ГТС (35 тыс.) состоит из четырех РАТС емкостью соответственно 10, 10, 10, 5 тысяч номеров, соединенных по схеме "каждая с каждой". Внутризоновый код сети - 42. Нумерация в сети пятизначная:

РАТС-2 - 20000 - 29999;

РАТС-3 - 30000 - 39999;

РАТС-4 - 40000 - 49999;

РАТС-5 - 51000 - 55999.

Сеть СТС (14 тыс.) состоит из ЦС (8 тыс.), шести УС (по 500 номеров каждая), 32 ОС различной емкости (по 50, 100, 150, 200 номеров), включенных по смешанной схеме (преобладает радиально-узловой принцип соединения). Внутризоновый код сети - 43. Нумерация в сети пятизначная:

ЦС - 21000 - 28999;

УС-1 - 11100 - 11599;

УС-3 - 31100 - 31599;

УС-4 - 41100 - 41599;

УС-5 - 51100 - 51599;

УС-6 - 61100 - 61599;

УС-7 - 71100 - 71599.

Номерная емкость оконечных станций включена в номерную емкость ЦС и соответствующих УС на правах отдельных сотенных групп, например 200-номерная ОС, включенная в УС-7 имеет нумерацию: 71600 - 71799.

**2-я зона.** Код зоны - 083.

Сеть ГТС (80 тыс.) построена с применением узлов входящих сообщений и разбита на два узловых района. Внутризоновые коды узлов - 73 и 74. Нумерация в сети шестизначная:

РАТС-32 - 320000 - 329999;

РАТС-33 - 331000 - 337999;

РАТС-34 - 340000 - 349999;

РАТС-35 - 351000 - 359999;

РАТС-42 - 420000 - 429999;

РАТС-43 - 431000 - 438999;

РАТС-44 - 440000 - 449999;

РАТС-45 - 451000 - 458999;

РАТС-46 - 461000 - 468999;

Сеть СТС (16,5 тыс.) построена аналогично сети СТС 1-й зоны. Код сети - 51. Нумерация в сети пятизначная:

ЦС - 20000 - 29999;

УС-1 - 11100 - 11599;

УС-3 - 31100 - 31599;

УС-4 - 41100 - 41599;

УС-5 - 51100 - 51599;

УС-6 - 61100 - 61599;

УС-7 - 71100 - 71599.

Номерная емкость оконечных станций включена в номерную емкость ЦС и соответствующих УС на правах отдельных сотенных групп, например 200-номерная ОС, включенная в УС-7 имеет нумерацию: 71600 - 71799.

Во всех заданных сетях при осуществлении междугородной связи абонент сначала набирает "8" (индекс выхода на АМТС). После получения второго сигнала "ответ станции" абонент набирает трехзначный код зоны (АВС) и семизначный номер abcxxxx. Например, абонент СТС 1-й зоны звонит абоненту ГТС 2-й зоны (РАТС-43). Порядок набора следующий: .8 - 083743ХХХХ.

Во всех заданных сетях при осуществлении внутризоновой связи абонент сначала набирает "8" (индекс выхода на АМТС). После получения второго сигнала "ответ станции" абонент набирает "2" (индекс внутризоновой связи) ) и семизначный номер abcxxxx. . Например, абонент СТС 2-й зоны звонит абоненту ГТС 2-й зоны (РАТС-43). Порядок набора следующий: .8 - 2743ХХХХ.

В сетях СТС, ГТС 1-й зоны и СТС 2-й зоны нумерация пятизначная, т.е. при осуществлении местной связи набирается пятизначный номер нужного абонента. Аналогично, в сети ГТС 2-й зоны набирается шестизначный номер.

**Контрольные вопросы:**

1. Поясните какую сеть называют первичной сетью ВСС.

2. Каким образом разделяется первичная сеть по территориальному признаку.

3. Дайте определение местной, внутризоновой, зоновой, местной и магистральной первичных сетей. Приведите структуру первичной сети ВСС.

4. Поясните, как строятся вторичные сети.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

**Тема: Конструкция и маркировка медных кабелей связи**

**1. Цель работы:** изучить типы и марки медно-жильных, овладеть знаниями о элементах конструкций междугородных оптических кабелей и их назначении.

**2. Оборудование, приборы, аппаратура, материалы и их:**

Набор медных кабелей связи (макет).

Ход работы:

Каждый кабель согласно ГОСТу имеет условное обозначение (марку), состоящее из букв и цифр. Маркировка характеризует назначение кабеля и его конструкцию.

* 1. **ОБЩАЯ КОНСТРУКЦИЯ КАБЕЛЯ СВЯЗИ:**

**1.токопроводящие жилы**

**2.изоляция жил**

**3.скрутка в группы**

**4.кабельный сердечник**

**5.поясная изоляция**

**6.экран**

**7.влагозащитная оболочка**

**8.броневые покровы**

**9.защитные покровы.**

**1.2 МАРКИРОВКА КАБЕЛЕЙ**

**1. ПЕРВАЯ БУКВА - НАЗНАЧЕНИЕ КАБЕЛЯ**

**Т- ТЕЛЕФОННЫЙ**

**М-МЕЖДУГОРОДНЫЙ**

**З-ЗОНОВЫЙ**

**ВК-ВНУТРИЗОНОВЫЙ КОАКСИАЛЬНЫЙ**

**КМ-КОАКСИАЛЬНЫЙ МАГИСТРАЛЬНЫЙ**

**МК-МАЛОГАБАРИТНЫЙ КОАКСИАЛЬНЫЙ**

**КС-КАБЕЛЬ СЕЛЬСКИЙ**

**2. ВТОРАЯ БУКВА КОНСТРУКЦИЯ И ИЗОЛ ЖИЛ**

**П- ПОЛИЭТИЛЕНОВАЯ (ПЭТ) СПЛОШНАЯ**

**ППП-ПОЛИЭТ- ПЛЕНКО- ПОРИСТ**

**В-ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНАЯ (ПВХ)**

**КС-КОРДЕЛЬНО-СТИРОФЛЕКСНАЯ**

**БУМАГА-НЕ ОТОБР**

**3.ТРЕТЬЯ БУКВА МАТЕРАЛ ОБОЛОЧ**

**А-АЛЮМИНИЙ**

**Ст-СТАЛЬ**

**С-СВИНЕЦ**

**П-ПЭТ ОБОЛОЧКА**

**В-ПВХ ОБОЛОЧКА**

**4. КОНСТРКЦИЯ БРОНИ:**

**Г-ГОЛЫЙ (БЕЗ БРОНИ)**

**Б-2 СТАЛЬНЫЕ ЛЕНТЫ**

**К- КРУГЛАЯ ПРОВОЛОКА**

**5. ЗАЩИТНЫЙ ПОКРОВ**

**Шп-ШЛАНГ ПЭТ**

**Шв-ШЛАНГ ПВХ**

**ДЖУТ НЕ ОТОБРАЖАЕТСЯ**

Кроме буквенного обозначения в маркировку входит цифровое указывающее емкость, тип скрутки и диаметр жил.

Например ТГ 100Х2Х0,5 означает: телефонный кабель парной скрутки со свинцовой оболочкой емкостью 100 пар с диаметром жил 0,5 мм.

. **4. Задание:**

1.Изучить обозначения назначения медно-жильных кабелей, условий прокладки, конструктивных особенностей.

2. Расшифровать маркировку медно-жильных кабелей

**ПРИМЕР:**

**ТПП-100Х2Х0,5**

**Т-**

**П-**

**П-**

**100х2**

**МКСАБпШп-4Х4Х1.2**

**М-**

**КС**

**А**

**Бп**

**Шп**

**4Х4Х1.2**

**КАБЕЛИ ГТС**

**ТПП ТПСт- ТЗПА-СТПА-ТПВ-АД**

**КАБЕЛЬ СЕЛЬСКОЙ СВЯЗИ**

**КТПЗ КСПЗ КЦПЗ**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

**Тема: Исследование конструкций междугородных волоконно – оптических кабелей связи**

**1. Цель работы:** изучить типы и марки оптических кабелей фирмы  **“FUJIKURA”**, овладеть знаниями о элементах конструкций междугородных оптических кабелей и их назначении.

**2. Оборудование, приборы, аппаратура, материалы и их:**

Набор оптических кабелей связи (макет).

Набор измерительных инструментов.

**3. Пояснения к работе**

**3.1. Краткие теоретические сведения**

**Маркировка японских кабелей**

Оптические кабели фирмой **“ Fujikura ”(**изготавливаются согласно техническим требованиям, задаваемыми телекоммуникационными сетями, на которых они эксплуатируются).

В свою очередь телекоммуникационные сети Японии подразделяются на государственные (междугородные и городские) и ведомственные (локальные вычислительные сети, кабельное телевидение, аэрофлот, морфлот, энергетические и оборонные предприятия, полиция и т.д.) [1,2].

В соответствии с этим по назначению и условиям применения оптические кабели классифицируются на четыре основные группы:

1. Междугородные.

2. Городские (абонентские).

3. Станционные кабели.

**4. Кабели специального назначения.**

**По условиям прокладки кабели первой группы могут быть подземными, подвесными и подводными. Городские кабели, как правило, прокладываются в телефонной канализации, однако на некоторых участках (линии межстанционной связи) применяется подвеска кабелей на опорах.**

**Станционные кабели прокладываются в помещениях телефонных станций.**

**Кабели специального назначения прокладываются в зонах действия сильных электромагнитных полей, повышенной пожарной опасности, для локальных вычислительных сетей и т.д.**

Конструктивно кабели подразделяются по следующим характеристикам:

1. Типу оптических волокон и их количеству.

2. Конструкции сердечника кабеля.

3. Типу влагозащитной оболочки.

**4. Конструкции брони.**

**Маркировка японских оптических кабелей осуществляется буквенными обозначениями, приведенными в табл. 1.**

**Таблица 1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Буква цифра** | **Английское написание** | **Русское написание** |
| OG | **Optical general** | **Оптический, широкого потребления** |
| FR | **Flame retardant type** | **Пожаробезопасного типа** |
| NM | **Non-metallic type** | **Неметаллический силовой элемент** |
| T | **таре** | **Волокна ленточного типа** |
| S | **Slotted** | **Профилированный сердечник** |
| L | **Loose tube** | **Сердечник повивной скрутки** |
| U | **Unit** | **Многоволоконный модуль** |
| JF | **Jelly Fillet type** | **Кабель, герметизированный заполнителем** |
| LAP | **Laminated Aluminium polyethylene** | **Ламинированная алюмополиэтиленовая оболочка** |
| Е | **Ethylene** | **Полиэтилен** |
| V | **Vinylchloride** | **Поливинилхлорид** |
| CMZ | **Corrugated metal armored** | **Гофрированная стальная оболочка** |
| Z | **Zinc** | **Цинк** |
| SS | **Self supporting** | **Трос для подвески** |
| W | **Wale** | **Полоса** |
| W | **Wire** | **Круглые стальные проволоки** |
| Cu | **Copper** | **Медная оболочка** |
| ММ | **Multi mode** | **Многомодовое волокно** |
| SM | **Single mode** | **Одномодовое волокно** |
| D | **Shifted dispersion** | **Волокно со смещенной дисперсией** |
| P | **Pair** | **Пара** |
| Q | **Quad** | **Четвёрка** |

Междугородные кабели

Междугородные кабели предназначены для прокладки в грунт. Поэтому они имеют броневые покровы в виде стальных гофрированных оболочек или повивов круглых стальных проволок.

Кабели имеют тип **OG LJFE** .

На рис. 1. изображен кабель марки **OG LJFE - CTZE SM - 10/125 – 0,38 x 48C**.

**Одномодовые волокна 1 расположены в модуле 2 из термопластика. Центральный силовой элемент 3 выполнен из семи скрученных проволок, покрытых слоем полиэтилена 4. Восемь модулей с волокнами скручены вокруг центрального силового элемента, образуя сердечник кабеля. Сердечник кабеля находится в гидрофобном заполнении 5. Поясная изоляция выполнена из пластиковой ленты 6. Кабель имеет внутреннюю полиэтиленовую оболочку 7 из полиэтилена. Подушка 8 выполнена из пластиковой ленты с водонепроницаемым компаундом. Броня 9 из гофрированной стальной ленты. Внешняя оболочка 10 изготовлена из полиэтилена. Волокна находятся в гидрофобном заполнителе 11.**

Расшифровка марки кабеля **OG LJFE - CTZE SM-10/125-0.38x48C** производится таким образом:

О – оптический;

G - широкого потребления;

L – модули;

JF - сердечник кабеля в гидрофобном заполнителе;

E - внешняя полиэтиленовая оболочка;

СTZ - гофрированная стальная оцинкованная броня;

E - внутренняя полиэтиленовая оболочка;

SM - одномодовые волокна;

10 - диаметр модового поля, мкм;

125 - диаметр оболочки волокна, мкм;

038 - коэффициент затухания дБ/км (длина волны 1,3 мкм);

48 - количество волокон в кабеле;

С - гибкий световод, шнур.

Диаметр модуля 2,4 мм. Центральный силовой элемент диаметром 4,4 мм. Внутренняя оболочка толщиной 1,4 мм. Толщина стальной ленты брони 0,15 мм. Толщина внешней оболочки 2 мм. Диаметр кабеля 21 мм. Вес кабеля 420 кг/км. Допустимая нагрузка на растяжение 2700 Н (270 кГс). Допустимый радиус изгиба кабеля 250 мм. Температура эксплуатации кабеля от –40 0C до +70 0C.

Существует марка пожаробезопасного кабеля **FR-OGLJFE-CTZE SM 10/125 0,38 x 48C**. От предыдущей конструкции кабель указанной марки отличается наличием внешней оболочки из негорючего полиэтилена толщиной 2,5 мм. Вес кабеля при прочих равных условиях составляет 450 кг/км.

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**

**10**

**11**

Рис. 1. Марка кабеля OGLJFE-CTZESM-10/125-0,38x1-48C

Для прокладки в скалистых грунтах или при подъемах в гору, т.е. в местах, где требуется повышенная механическая прочность кабеля, используется круглопроволочная броня.

Кабель такой конструкции имеет марку **OGNMLJFE-WAZE SM 10/125 0,38 х 30C** (рис. 2.). Центральный силовой элемент 1 из негорючего полиэтилена. Вокруг центрального силового элемента скручено пять модулей 2 из термопластика. В каждом модуле находится шесть волокон 3. Модуль заполнен гидрофобным заполнителем 4. Поясная изоляция 5 из пластиковой ленты. Сердечник кабеля находится в гидрофобном заполнителе 6. Внутренняя оболочка 7 из полиэтилена. Подброневая подушка 8 из пластиковой ленты. Броневой покров из стальных проволок 9. Слой водонепроницаемого компаунда 10. Внешняя оболочка 11 из полиэтилена.

Диаметр модуля 3 мм. Диаметр центрального силового элемента 2,7 мм. Внутренняя оболочка толщиной 1,4 мм. Диаметр проволок 2,5 мм. Толщина внешней оболочки 2 мм. Диаметр кабеля 23 мм. Вес кабеля 1000 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 20 кН (2000 кГс). Допустимый радиус изгиба 450 мм. Температура эксплуатации кабеля от –400C до +700C.

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**

**10**

**11**

Рис. 2. Марка кабеля OGNMLJFE-WAZE SM 10/125x0,38 1-30C

Для переходов через реки и водоемы используется кабель марки **OGNMLJFE-CU-WWAZE SM-10/125 - 038 x 30C** (рис. 3.).

Центральный силовой элемент 1 выполнен из негорючего полиэтилена. Волокна 2 расположены в модуле 3 из термопластика. Модуль заполнен гидрофобной массой 4. Межмодульное пространство сердечника также заполнено гидрофобной массой 5. Поясная изоляция выполнена из пластиковой ленты 6. Внутренняя оболочка 7 из полиэтилена. Медная гофрированная оболочка 8. Антикоррозионное полиэтиленовое покрытие 9. Подушка 10 из пластиковых лент с водонепроницаемым компаундом. Повив круглых стальных проволок 11. Подушка из пластиковых лент с водонепроницаемым компаундом 12. Повив круглых стальных проволок 13. Водонепроницаемая лента 14 и компаунд. Внешняя полиэтиленовая оболочка 15.

Диаметр модуля 3 мм. Диаметр центрального силового элемента 2,5 мм. Толщина внутренней полиэтиленовой оболочки 1,2 мм. Толщина медной трубки 0,5 мм. Толщина антикоррозионного покрытия 1,2 мм. Диаметр стальных проволок 2,9 мм. Толщина внешней полиэтиленовой оболочки 2 мм. Диаметр кабеля 37 мм. Вес кабеля 3750 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 80 кН (8000 кГс). Допустимый радиус изгиба кабеля 740 мм. Температура эксплуатации кабеля от --40 0С до +70 0С.

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**

**10**

**11**

**12**

**13**

**14**

**15**

Рис. 6.3. Кабель марки OGNMLJFE-CU-WWAZE SM-10/125-0,38x1-30C

**4. Задание:**

1.Изучить конструкцию оптического кабеля фирмы **“ FUJIKURA ”.**

Начиная с наружных покровов, студенты должны последовательно выделить конструктивные элементы кабеля, измерить их размер и дать им характеристику.

По результатам измерения размеров элементов и изучения конструкции кабеля заполнить табл. 2

2. В табл. 3 занести технические характеристики кабеля, область применения и организуемое количество каналов.

3.Выполнить чертеж поперечного сечения кабеля в масштабе 5:1.

## Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Порядок разборки | Элементы конструкции кабеля | Характеристики элементов и их размеры |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Диаметр кабеля, мм |  |
| 2 | Влагозащитная оболочка: конструкция,  материал, толщина, мм |  |
| 3 | Бронепокровы: конструкция, материал,толщина, мм |  |
| 4 | Подушка: конструкция,материал |  |
| 5 | Внутренняя оболочка: конструкция,  материал,толщина, мм |  |
| 6 | Силовые элементы: конструкция,  материал |  |
| 7 | Поясная изоляция: конструкция, материал |  |
| 8 | Построение сердечника |  |
| 9 | Оптический модуль: количество,  конструкция,материал,диаметр, мм |  |
| 10 | Количество оптических волокон в модуле,  в кабеле |  |
| 11 | Кордели заполнения: количество,конструкция,  материал,диаметр, мм |  |
| 12 | Центральный силовой элемент: конструкция,  материал,диаметр, мм |  |
| 13 | Марка кабеля |  |

Таблица 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Технические характеристики | Параметры |
| 1 | Рабочая длина волны, мкм |  |
| 2 | Организуемое число каналов по двум волокнам. Применяемая ЦСП SDH. Скорость передачи информации. |  |
| 3 | Общее число каналов, организуемое по данному кабелю |  |
| 4 | Сеть связи, на которой используется данный кабель |  |

**5. Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Результаты изучения конструкции кабеля в виде табл. 2 и 3
5. Чертеж поперечного сечения изучаемого оптического кабеля.

**6. Контрольные вопросы**

1. Классификация оптических кабелей.
2. Маркировка оптических кабелей.
3. Рабочие длины волн оптических кабелей.
4. Определение числа каналов и цифровых трактов в оптических кабелях для различных уровней ЦСП SDH.
5. Основные конструктивные элементы оптических кабелей.
6. Конструкция волоконных световодов.
7. Классификация оптических волокон.

**ЛАБОРАТОРНАЯ (ПРАКТИЧЕСКАЯ) РАБОТА № 4**

**Тема: Изучение конструкций станционных**

**волоконно – оптических кабелей связи**

**1. Цель работы:** изучить типы и марки оптических кабелей фирмы  **“FUJIKURA”**, овладеть знаниями о элементах конструкций междугородных оптических кабелей и их назначении.

**2. Оборудование, приборы, аппаратура, материалы и их:**

Набор оптических кабелей связи (макет).

Набор измерительных инструментов.

**3. Пояснения к работе**

**3.1. Краткие теоретические сведения**

**Маркировка японских кабелей**

Оптические кабели фирмой **“ Fujikura ”(**изготавливаются согласно техническим требованиям, задаваемыми телекоммуникационными сетями, на которых они эксплуатируются).

В свою очередь телекоммуникационные сети Японии подразделяются на государственные (междугородные и городские) и ведомственные (локальные вычислительные сети, кабельное телевидение, аэрофлот, морфлот, энергетические и оборонные предприятия, полиция и т.д.) [1,2].

В соответствии с этим по назначению и условиям применения оптические кабели классифицируются на четыре основные группы:

1. Междугородные.

2. Городские (абонентские).

3. Станционные кабели.

**4. Кабели специального назначения.**

**По условиям прокладки кабели первой группы могут быть подземными, подвесными и подводными. Городские кабели, как правило, прокладываются в телефонной канализации, однако на некоторых участках (линии межстанционной связи) применяется подвеска кабелей на опорах.**

**Станционные кабели прокладываются в помещениях телефонных станций.**

**Кабели специального назначения прокладываются в зонах действия сильных электромагнитных полей, повышенной пожарной опасности, для локальных вычислительных сетей и т.д.**

Конструктивно кабели подразделяются по следующим характеристикам:

1. Типу оптических волокон и их количеству.

2. Конструкции сердечника кабеля.

3. Типу влагозащитной оболочки.

**4. Конструкции брони.**

**Маркировка японских оптических кабелей осуществляется буквенными обозначениями, приведенными в табл. 1.**

**Таблица 1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Буква цифра** | **Английское написание** | **Русское написание** |
| OG | **Optical general** | **Оптический, широкого потребления** |
| FR | **Flame retardant type** | **Пожаробезопасного типа** |
| NM | **Non-metallic type** | **Неметаллический силовой элемент** |
| T | **таре** | **Волокна ленточного типа** |
| S | **Slotted** | **Профилированный сердечник** |
| L | **Loose tube** | **Сердечник повивной скрутки** |
| U | **Unit** | **Многоволоконный модуль** |
| JF | **Jelly Fillet type** | **Кабель, герметизированный заполнителем** |
| LAP | **Laminated Aluminium polyethylene** | **Ламинированная алюмополиэтиленовая оболочка** |
| Е | **Ethylene** | **Полиэтилен** |
| V | **Vinylchloride** | **Поливинилхлорид** |
| CMZ | **Corrugated metal armored** | **Гофрированная стальная оболочка** |
| Z | **Zinc** | **Цинк** |
| SS | **Self supporting** | **Трос для подвески** |
| W | **Wale** | **Полоса** |
| W | **Wire** | **Круглые стальные проволоки** |
| Cu | **Copper** | **Медная оболочка** |
| ММ | **Multi mode** | **Многомодовое волокно** |
| SM | **Single mode** | **Одномодовое волокно** |
| D | **Shifted dispersion** | **Волокно со смещенной дисперсией** |
| P | **Pair** | **Пара** |
| Q | **Quad** | **Четвёрка** |

**Станционные кабели**

Вводы оптического кабеля в здания телефонных станций осуществляются станционными кабелями.

Станционные оптические кабели подразделяются на три типа.

Во-первых, существует тип кабеля **FR-OG**, у которого оптические волокна обычного типа, к которым далее «подвариваются» оптические одноволоконные или двухволоконные шнуры.

Во-вторых, для этой цели используется кабель, состоящий из группы оптических шнуров. Шнуры оборудуются оптическими разъемами (коннекторами).

Рассмотрим конструкцию кабеля марки **FR-OGLAP SM 10/125 05 x 12C** (рис. 1).

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

Рис. 1. Кабель марки FR-OGLAP-SMx10/125x0,5x12C

Кабель имеет одномодовые оптические волокна 1, расположенные концентрическим повивом вокруг центрального силового элемента, состоящего из металлического троса 2, покрытого поливинилхлоридной оболочкой 3. Волокна находятся в гидрофобном заполнителе 4. Кабель имеет обмотку из синтетических лент 5 и комбинированную алюмополиэтиленовую оболочку 6. Причем из полиэтилена негорючего.

Диаметр кабеля 11 мм. Вес 110 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 800 Н (80кГ). Допустимый радиус изгиба 110 мм.

В качестве станционного применяется также кабель марки **OGCVSM 10/125 05 x 4C** (рис. 2).

**1**

**2**

**3**

**4**

Рис. 2. Кабель марки OGCVSMx10/125x0,5x4C

Кабель имеет четыре оптических шнура 1. Центральный силовой элемент 2 из стальных проволок. Сердечник кабеля обмотан пластиковой лентой 3. Оболочка 4 из поливинилхлорида.

Диаметр кабеля 11 мм. Вес 110 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 300 Н (30 кГс). Допустимый радиус изгиба 110 мм. Допустимая раздавливающая нагрузка 750 Н / 50 мм.

Волоконно-оптические шнуры могут быть одно-волоконные, двух волоконные и четырех волоконные.

Одноволоконный шнур имеет марку **DSMC 8/125 03** (длина волны 1,55 мкм) или **SMC 10/125 05** (длина волны 1,3 мкм) (рис. 3).

Кабель имеет оптическое волокно 1. Волокно находится в повиве арамидной пряжи 2. Шнур имеет поливинилхлоридную оболочку 3.

**Диаметр шнура 2,8 мм. Вес 7 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 100 Н (10 кГс). Допустимый радиус изгиба шнура 30 мм.**

**Двухволоконный шнур имеет марку** DSMC 8/125 03 2R **(длина волны 1,55 мкм) или** SMC 10/125 05 2R **(длина волны 1,3 мкм) (рис. 4). Комбинация** 2R **в марке означает “спаренный шнур”. Двухволоконный шнур имеет размеры 6 мм х 2,8 мм. Вес его составляет 15 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 200 Н (20 кГ). Минимальный радиус изгиба 30 мм.**

**1**

**2**

**3**

# Рис. 3. Кабель марки DSMCx8/125x0,3

**1**

**2**

**3**

# Рис. 4. Кабель марки DSMCx8/125x0,3x2R

Четырехволоконные шнуры имеют марку **DSMC 8/125 03 - 4T** (длина волны 1,55 мкм) или **SMC 10/125 05 - 4T** (длина волны 1,30 мкм) (рис. 5).

Оптоволоконная лента из четырех волокон 1 покрыта слоем арамидной пряжи 2.Оболочка 3 у шнура поливинилхлоридная.

Размер кабеля 3,5 мм х 2,5 мм. Вес кабеля 10 кг/км. Допустимое растягивающее усилие не должно превышать 100 Н (10 кГс). Минимальный радиус изгиба 30 мм.

**1**

**2**

**3**

# Рис. 5. Кабель марки DSMCx8/125x0,3-4T

**4. Задание:**

1.Изучить конструкцию оптического кабеля фирмы **“ FUJIKURA ”.**

Начиная с наружных покровов, студенты должны последовательно выделить конструктивные элементы кабеля, измерить их размер и дать им характеристику.

По результатам измерения размеров элементов и изучения конструкции кабеля заполнить табл. 2

2. В табл. 3 занести технические характеристики кабеля, область применения и организуемое количество каналов.

3.Выполнить чертеж поперечного сечения кабеля в масштабе 5:1.

## Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Порядок разборки | Элементы конструкции кабеля | Характеристики элементов и их размеры |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Диаметр кабеля, мм |  |
| 2 | Влагозащитная оболочка: конструкция,  материал, толщина, мм |  |
| 3 | Бронепокровы: конструкция, материал,толщина, мм |  |
| 4 | Подушка: конструкция,материал |  |
| 5 | Внутренняя оболочка: конструкция,  материал,толщина, мм |  |
| 6 | Силовые элементы: конструкция,  материал |  |
| 7 | Поясная изоляция: конструкция, материал |  |
| 8 | Построение сердечника |  |
| 9 | Оптический модуль: количество,  конструкция,материал,диаметр, мм |  |
| 10 | Количество оптических волокон в модуле,  в кабеле |  |
| 11 | Кордели заполнения: количество,конструкция,  материал,диаметр, мм |  |
| 12 | Центральный силовой элемент: конструкция,  материал,диаметр, мм |  |
| 13 | Марка кабеля |  |

Таблица 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Технические характеристики | Параметры |
| 1 | Рабочая длина волны, мкм |  |
| 2 | Организуемое число каналов по двум волокнам. Применяемая ЦСП SDH. Скорость передачи информации. |  |
| 3 | Общее число каналов, организуемое по данному кабелю |  |
| 4 | Сеть связи, на которой используется данный кабель |  |

**5. Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Результаты изучения конструкции кабеля в виде табл. 2 и 3
5. Чертеж поперечного сечения изучаемого оптического кабеля.

**ЛАБОРАТОРНАЯ (ПРАКТИЧЕСКАЯ) РАБОТА № 5**

**Тема: Изучение конструкций**

**волоконно – оптических кабелей связи специального назначения**

**1. Цель работы:** изучить типы и марки оптических кабелей фирмы  **“FUJIKURA”**, овладеть знаниями о элементах конструкций междугородных оптических кабелей и их назначении.

**2. Оборудование, приборы, аппаратура, материалы и их:**

Набор оптических кабелей связи (макет).

Набор измерительных инструментов.

**3. Пояснения к работе**

**3.1. Краткие теоретические сведения**

**Маркировка японских кабелей**

Оптические кабели фирмой **“ Fujikura ”(**изготавливаются согласно техническим требованиям, задаваемыми телекоммуникационными сетями, на которых они эксплуатируются).

В свою очередь телекоммуникационные сети Японии подразделяются на государственные (междугородные и городские) и ведомственные (локальные вычислительные сети, кабельное телевидение, аэрофлот, морфлот, энергетические и оборонные предприятия, полиция и т.д.) [1,2].

В соответствии с этим по назначению и условиям применения оптические кабели классифицируются на четыре основные группы:

1. Междугородные.

2. Городские (абонентские).

3. Станционные кабели.

**4. Кабели специального назначения.**

**По условиям прокладки кабели первой группы могут быть подземными, подвесными и подводными. Городские кабели, как правило, прокладываются в телефонной канализации, однако на некоторых участках (линии межстанционной связи) применяется подвеска кабелей на опорах.**

**Станционные кабели прокладываются в помещениях телефонных станций.**

**Кабели специального назначения прокладываются в зонах действия сильных электромагнитных полей, повышенной пожарной опасности, для локальных вычислительных сетей и т.д.**

Конструктивно кабели подразделяются по следующим характеристикам:

1. Типу оптических волокон и их количеству.

2. Конструкции сердечника кабеля.

3. Типу влагозащитной оболочки.

**4. Конструкции брони.**

**Маркировка японских оптических кабелей осуществляется буквенными обозначениями, приведенными в табл. 1.**

**Таблица 1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Буква цифра** | **Английское написание** | **Русское написание** |
| OG | **Optical general** | **Оптический, широкого потребления** |
| FR | **Flame retardant type** | **Пожаробезопасного типа** |
| NM | **Non-metallic type** | **Неметаллический силовой элемент** |
| T | **таре** | **Волокна ленточного типа** |
| S | **Slotted** | **Профилированный сердечник** |
| L | **Loose tube** | **Сердечник повивной скрутки** |
| U | **Unit** | **Многоволоконный модуль** |
| JF | **Jelly Fillet type** | **Кабель, герметизированный заполнителем** |
| LAP | **Laminated Aluminium polyethylene** | **Ламинированная алюмополиэтиленовая оболочка** |
| Е | **Ethylene** | **Полиэтилен** |
| V | **Vinylchloride** | **Поливинилхлорид** |
| CMZ | **Corrugated metal armored** | **Гофрированная стальная оболочка** |
| Z | **Zinc** | **Цинк** |
| SS | **Self supporting** | **Трос для подвески** |
| W | **Wale** | **Полоса** |
| W | **Wire** | **Круглые стальные проволоки** |
| Cu | **Copper** | **Медная оболочка** |
| ММ | **Multi mode** | **Многомодовое волокно** |
| SM | **Single mode** | **Одномодовое волокно** |
| D | **Shifted dispersion** | **Волокно со смещенной дисперсией** |
| P | **Pair** | **Пара** |
| Q | **Quad** | **Четвёрка** |

**Кабели специального назначения**

К кабелям специального назначения относится кабель марки **OGNME SM 10/125 05 х 12C** (рис. 1). Он не имеет металлических элементов и предназначен для работы в климатических зонах повышенной грозодеятельности, для подвески на опорах электрифицированных железных дорог, а также для работы компьютеров.

Кабель имеет одномодовые оптические волокна 1, расположенные вокруг неметаллического центрального элемента 2. Сердечник кабеля обмотан пластиковой лентой 3. Оболочка 4 полиэтиленовая.

Диаметр кабеля 11 мм. Вес 60 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 500 Н (50 кГс). Допустимый радиус изгиба 250 мм. Максимальное раздавливающее усилие 750 Н / 50 мм.

Существуют три модификации подвесных кабелей. Во-первых, кабель марки **OGLAP-SSD SM 10/125 05 х 12C** (рис. 2). Комбинация букв SSD в марке означает “подвесной кабель с совмещенным тросом”.

Кабель имеет оптические волокна 1. Центральный силовой элемент 2 из стальных проволок. Поясная изоляция 3 из полимерных лент. Кабель имеет комбинированную алюмополиэтиленовую оболочку 4. Несущий трос 5 из семи стальных проволок вплавлен в полиэтиленовую оболочку основную.

**Диаметр кабеля 21 мм х 11 мм. Трос состоит из семи проволок диаметром 2,0 мм. Вес кабеля 320 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 7800 Н (780 кГс). Допустимый радиус изгиба 110 мм.**

**1**

**2**

**3**

**4**

Рис. 6.11. Кабель марки OGNME-SMx10/125x0,5x12C

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

# Рис. 2. Кабель марки OGLAP-SSD SMx10/125x0,5x12C

Подвесной кабель может быть марки **OGLAP-SSF SM 10/125 05 x12C** (рис. 3).

Кабель этой марки отличается от предыдущего наличием проволоки 6, связывающей трос и оболочку кабеля. Буква F - "frizzy" в марке означает "вьющаяся намотка проволоки".

На удлиненных пролетах используется кабель марки **OGLAP-SSH SM 10/125 05 x 12C** (рис. 4). Этот кабель имеет полиэтиленовые подвески. Размер кабеля 30 х 20 мм. Трос состоит из проволок диаметром 2 мм. Вес кабеля составляет 300 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 7800 Н (780 кГс). Допустимый радиус изгиба 110 мм.

Буква Н - "hanger" в марке означает "подвеска".

**5**

**1**

**2**

**3**

**4**

**6**

# Рис. 3. Кабель марки OGLAP-SSF SMx10/125x0,5x12C

**5**

**1**

**2**

**3**

**4**

# Рис. 4. Кабель марки OGLAP-SSH SMx10/125x0,5x12C

К кабелям специального назначения относятся также кабели с цветной оболочкой марки **OGLAP-WS SM 10/125 05 x 12C** (рис. 5). Такая оболочка у кабелей делается для быстрого отыскания их среди множества других, проложенных в телефонной канализации.

Кабель имеет оптические волокна 1, расположенные вокруг центрального силового элемента 2. Поясная изоляция из полимерных лент 3. Комбинированная алюмополиэтиленовая оболочка 4. Цветная, оранжевая полоса 5. Диаметр кабеля 11 мм. Вес 110 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 800 N (80 кг). Допустимый радиус изгиба 110 мм.

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

# Рис. 5. Кабель марки OGLAP-WS SMx10/125x0,5x12C

**4. Задание:**

1.Изучить конструкцию оптического кабеля фирмы **“ FUJIKURA ”.**

Начиная с наружных покровов, студенты должны последовательно выделить конструктивные элементы кабеля, измерить их размер и дать им характеристику.

По результатам измерения размеров элементов и изучения конструкции кабеля заполнить табл. 2

2. В табл. 3 занести технические характеристики кабеля, область применения и организуемое количество каналов.

3.Выполнить чертеж поперечного сечения кабеля в масштабе 5:1.

## Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Порядок разборки | Элементы конструкции кабеля | Характеристики элементов и их размеры |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Диаметр кабеля, мм |  |
| 2 | Влагозащитная оболочка: конструкция,  материал, толщина, мм |  |
| 3 | Бронепокровы: конструкция, материал,толщина, мм |  |
| 4 | Подушка: конструкция,материал |  |
| 5 | Внутренняя оболочка: конструкция,  материал,толщина, мм |  |
| 6 | Силовые элементы: конструкция,  материал |  |
| 7 | Поясная изоляция: конструкция, материал |  |
| 8 | Построение сердечника |  |
| 9 | Оптический модуль: количество,  конструкция,материал,диаметр, мм |  |
| 10 | Количество оптических волокон в модуле,  в кабеле |  |
| 11 | Кордели заполнения: количество,конструкция,  материал,диаметр, мм |  |
| 12 | Центральный силовой элемент: конструкция,  материал,диаметр, мм |  |
| 13 | Марка кабеля |  |

Таблица 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Технические характеристики | Параметры |
| 1 | Рабочая длина волны, мкм |  |
| 2 | Организуемое число каналов по двум волокнам. Применяемая ЦСП SDH. Скорость передачи информации. |  |
| 3 | Общее число каналов, организуемое по данному кабелю |  |
| 4 | Сеть связи, на которой используется данный кабель |  |

**5. Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Результаты изучения конструкции кабеля в виде табл. 2 и 3
5. Чертеж поперечного сечения изучаемого оптического кабеля.

**6. Контрольные вопросы**

1. Классификация оптических кабелей.
2. Маркировка оптических кабелей.
3. Рабочие длины волн оптических кабелей.
4. Определение числа каналов и цифровых трактов в оптических кабелях для различных уровней ЦСП SDH.
5. Основные конструктивные элементы оптических кабелей.
6. Конструкция волоконных световодов.
7. Классификация оптических волокон.

**ЛАБОРАТОРНАЯ (ПРАКТИЧЕСКАЯ) РАБОТА № 6**

**Тема: Расчет коэффициента фазы и фазовой скорости**

1. **Цель работы:** овладеть знаниями о параметрах оптического волокна.

**2. Пояснения к работе**

**2.1. Краткие теоретические сведения**

***Коэффициент фазы***

Важнейшим параметром, определяющим форму сигнала, качество и скорость передачи по линии связи является коэффициент распространения *β* ( или коэффициентом фазы).

*β* меняется от значения волнового числа в оболочке k2 (при *f* = *f0)* до волнового числа среды в сердечнике k1 (при *f* →∞), т.е.

*k2<β<k1 , рад/км. (1)*

где

k1= k0n1, рад/км (2)

k1= k0n1, рад/км (3)

***Фазовая скорость***

Фазовая скорость равна *υф=ω/β.* При критической длине волны *υф* равна скорости в оболочке световода. С ростом частоты и, соответственно, уменьшением длины волны энергия все больше концентрируется в сердечнике световода, затухание растет и скорость распространения определяется параметрами сердечника. При очень высоких частотах скорость становится равной скорости распространения в сердечнике. Соотношение между фазовой скоростью и скоростью распространения волны в сердечнике и оболочке световода имеет вид:

*<υф< км/с (4)*

***Волновое сопротивление***

Волновое сопротивление zB может быть определено на основании выражений для электрического и магнитного полей. Однако такие

выражения получаются довольно сложными. На практике обычно пользуются предельными значениями волнового сопротивления сердцевины ( *zo/n1*) и оболочки ( *z0/n2*) для плоской волны, где

Z0= Ом – волновое сопротивление идеальной среды.

В реальных условиях волновое сопротивление волновода *(zв)* имеет промежуточное значение:

*zo/n1 < zв < z0/n2* (численно около 250 ÷ 260 Ом). *(5)*

**4. Задание:**

1.Изучить основные параметры оптического волокна.

2. В соответствии с вариантом рассчитать:

- пределы изменения коэффициента фазы;

- пределы изменения фазовой скорости;

- пределы изменения волнового сопротивления.

**Варианты задания**

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ вар** | ***l***  ***км*** | ***d***  **мкм** | **λ**  **мкм** | **n1** | **n1** | **Δλ**  **нм** | **tgδ**  **10-11** | **Kp** | **αпр** | **αк** | **Тип волны** | **Система передачи** |
| **1** | 20 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,49 | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | НЕ12 | *ИКМ-120* |
| **2** | 30 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,495 | 2 | 4 | 1,2 | 0 | 3 | ЕН12 | *ИКМ-480* |
| **3** | 40 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,5 | 0,2 | 2 | 0,8 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **4** | 50 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,505 | 3 | 5 | 1,5 | 0 | 2 | НЕ21 | *ИКМ-120* |
| **5** | 20 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,49 | 4 | 3 | 1,2 | 0 | 3 | ЕН21 | *ИКМ-480* |
| **6** | 30 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,495 | 0,4 | 1 | 1 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **7** | 40 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,5 | 1 | 4 | 0,8 | 0 | 2 | НЕ31 | *ИКМ-120* |
| **8** | 50 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,505 | 2 | 5 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН31 | *ИКМ-480* |
| **9** | 20 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,49 | 0,6 | 2 | 0,8 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **10** | 30 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,495 | 3 | 3 | 1.2 | 0 | 2 | НЕ13 | *ИКМ-120* |
| **11** | 40 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,5 | 4 | 4 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН13 | *ИКМ-480* |
| **12** | 50 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,505 | 0,8 | 1 | 1 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **13** | 20 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,49 | 1 | ***с*** | 1,2 | 0 | 2 | НЕ23 | *ИКМ-120* |
| **14** | 30 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,495 | 2 | 3 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН23 | *ИКМ-480* |
| **15** | 40 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,5 | 0,2 | 3 | 1,2 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **16** | 50 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,505 | 3 | 4 | 0,8 | 0 | 2 | НЕ32 | *ИКМ-120* |
| **17** | 20 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,49 | 4 | 5. | 1 | 0 | 3 | ЕН32 | *ИКМ-480* |
| **18** | 30 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,495 | 0,4 | 2 | 1,5 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **19** | 40 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,5 | 1 | 3 | 1,2 | 0 | 2 | НЕ21 | *ИКМ-120* |
| **20** | 50 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,505 | 2 | 4 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН12 | *ИКМ-480* |
| **21** | 20 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,49 | 0,6 | 1 | 0,8 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **22** | 30 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,495 | 3 | 5 | 1 | 0 | 2 | НЕ13 | *ИКМ-120* |
| **23** | 40 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,5 | 4 | 3 | 1,2 | 0 | 3 | ЕН31 | *ИКМ-480* |
| **24** | 50 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,505 | 0,8 | 3 | 1 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **25** | 20 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,49 | 1 | 4 | 0,8 | 0 | 2 | НЕ32 | *ИКМ-120* |
| **26** | 30 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,495 | 2 | 5 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН32 | *ИКМ-480* |
| **27** | 40 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,5- | 0,2 | 2 | 1,2 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **28** | 50 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,505 | 3 | 3 | 1 | 0 | **2** | НЕ23 | *ИКМ-120* |
| **29** | 20 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,49 | 4 | 4 | 0,8 | 0 | **3** | ЕН23 | *ИКМ-480* |
| **30** | 30 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,495 | 0,4 | 1 | 1,5 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |

**ЛАБОРАТОРНАЯ (ПРАКТИЧЕСКАЯ) РАБОТА № 7**

**Тема: Расчет конструктивных параметров ОВ**

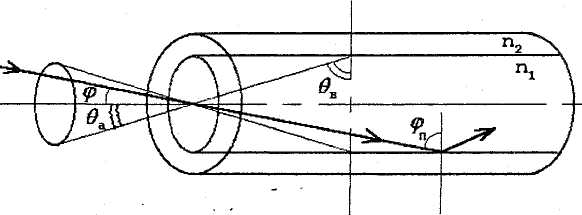
1. **Цель работы:** овладеть знаниями расчетов конструктивных параметров оптического волокна.

**Ход выполнения работы:**

К конструктивным параметром относятся:

1. **Размеры модового пятна;**
2. **Апертура волоконного световода;**
3. **Числовое значение апертуры;**
4. **Нормированная частота;**
5. **Критическая длина волны и частота.**
6. ***Размеры модового пятна;***

***2. Апертура волоконного световода***

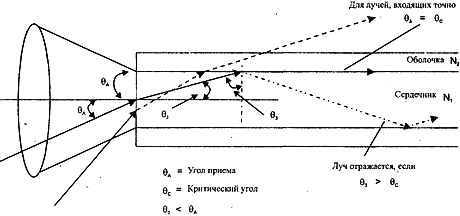
Апертура - угол *θА* между оптической осью и одной из образующих светового конуса, падающего в торец волоконного световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения (рис. 1).

Как видно из 1 между углами полного внутреннего отражения *θВ* иапертурным углом падения луча *θА* имеется взаимосвязь. Чем больше угол *θВ* , тем меньше апертура волокна *θВ.* Следует стремиться к тому, чтобы угол падения луча на границу "сердечник - оболочка" φпбыл больше угла полного внутреннего отражения *0В* и находился в пределах от *θА* до 90°, а угол ввода луча в торец световода φукладывался в апертурный угол *θА (*φ *< θА).*

Принято различать моды направляемые, вытекающие и излучаемые.

Сделать вывод:

***3. Числовая апертура***



**Рис. 3.11. Конус приема оптического волокна**

Половина (θ1) от угла при вершине конуса приема называется "углом приема". Его величина зависит, от показателей преломления сердечника, оболочки и воздуха (причем у воздуха показатель преломления 1) или любого другого материала источника света. Луч света, входящий в сердечник под углом, большим θ1 будет рассеиваться в оболочке. Луч света, входящий под углом ровно θ1, будет падать на границу сердечника и оболочки под (критическим) углом θC и будет двигаться параллельно этой границе.

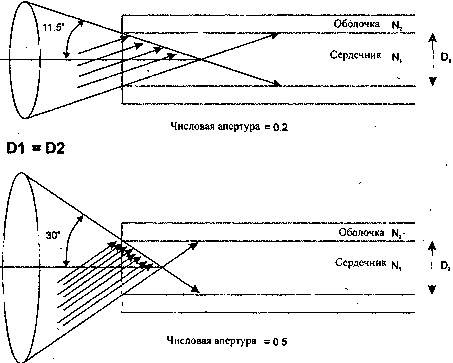
**Для указания собирательной способности волокна используется специальная мера.** Она называется "числовая апертура" (numerical aperture). Числовая апертура представляет собой синус угла приема, то есть:

N A = sin(θ1).

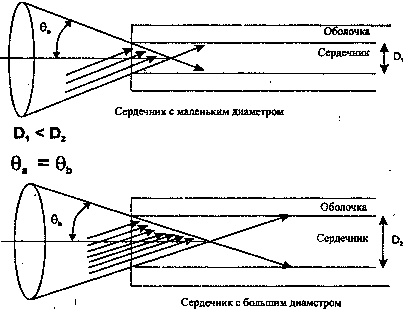
Ее можно выразить также через множитель коэффициентов преломления волокна.

Формула числовой апертуры

Если имеются два волокна с одним и тем же диаметром сердечника, но с различными числовыми апертурами, волокно с большей апертурой будет принимать больше световой энергии от источника света, чем волокно с меньшей апертурой. Если есть два волокна с одинаковыми апертурами, но с различными диаметрами, волокно с большим диаметром получит в сердечник больше световой энергии, чем волокно с меньшим диаметром. Это показано на рис. 3.12.



**Рис. 3.12,а. Волокна с различными числовыми апертурами, но с одинаковыми диаметрами**



**Рис. 3.12,б, Волокна с одинаковыми числовыми апертурами, но с различными диаметрами**

**Вывод: Оптические волокна с большими апертурами или диаметрами принимают больше света, чем волокна с меньшими апертурами или диаметрами**. Волокна с большими апертурами и диаметрами больше подходят для недорогих передатчиков, таких, как свето-диоды, которые не способны концентрировать выходную энергию в узкий когерентный пучок (как лазеры) и излучают под большим углом. Однако недостатком волокна с такими параметрами является большая дисперсия (рассеяние) света, введенного в сердечник, а следовательно, и снижение полосы пропускания волоконной передачи (это обсуждается далее в разделах 3.5 и 3.6). С другой стороны, волокно с меньшей апертурой или диаметром будет иметь большую полосу пропускания. Это происходит потому, что в сердечник входят относительно параллельные лучи света и их дисперсия вдоль волокна будет меньше. Недостатком же в этом случае является необходимость в более дорогих источниках света (таких, как лазеры), предоставляющих более узкие пучки света, и в более точном выравнивании передатчика и сердечника.

***4. Нормированная частота***

**Важнейшим обобщенным параметром волоконного световода, используемым для оценки его свойств, является нормированная частота *V.***

*V=¸*  (4)

где λ - длина волны в вакууме.

Потому что она безразмерна, нормирована по отношению к критической частоте.

При такой трактовке табл. 1 содержит нормированные частоты отсечки *V*о для волн, тип которых указан в правой колонке таблицы, а индекс *пт* составлен из чисел левого столбца и верхней строки, соответствующей клетки, в которой находится данная величина *V*о*.* Каждой *V*осоответствует критическая частота 𝑓0.

При *V<Vo* имеем 𝑓<𝑓0, т.е. волна по сердцевине волокна не распространяется (не существует). Область существования волны, имеющей *V<Vo*, составляет 𝑓<𝑓0*.*

Из табл. 1 видно, что для симметричной волны LP01 значение *Vo* = 0. Следовательно, эта волна не имеет критической частоты и может распространяться при любой частоте ниже критической.

Из табл. 1 также следует, что с увеличением частоты появляются новые типы волн.

Значения для *пт* для различных типов волн приведены в табл. 1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **п** | ЗНАЧЕНИЕ LP nm ПРИ m, РАВНОМ | | | |
|  | **1** | 2 | 3 | 4 |
| 0 | 0 | 3,832 | 7,016 | 10,173 |
| **1** | 2,405 | 5,520 | 8,654 | 11,790 |
| 3 | 5,136 | 8,417 | 11,62 | 15,787 |

ТАБЛИЦА 1

LP 11- -одномодовый режим

**Итак *V*, при которых в световоде распространяется лишь один тип волны НЕ11, находится в пределах 0 < *V <* 2,405 одномодовый режим**

***V >* 2,405 –многомодовый режим.**

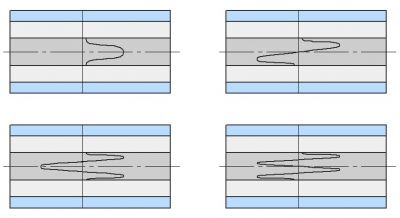
          Выбирая параметры световода таким образом, чтобы передаваемая частота была близка к критической, можно реализовать одномодовый режим распространения волны image088. Относительно нормированной частоты это условие может быть реализовано при V<2.405.

Достоинство одномодовой передачи является широкая полоса передаваемых частот (несколько гигагерц). С увеличением числа мод полоса передаваемых частот сужается.

         Вывод: **С увеличением диаметра сердцевины и уменьшением длины волны число мод резко возрастает. Число мод может быть приближенно определено как image090/2;**

image051

где LP *nm -* параметр, характеризующий тип волны Линейная поляризация LP 01



Типы волн

1 LP 11 3 LP 03

2 LP 02 4 LP 04

***5. Расчет критической частота и длины волны волоконного световода***

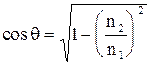
         Световоды, как и волноводы имеют частоту отсечки (критическую частоту 𝑓0) и по ним возможна передача лишь волн, длина которых меньше диаметра сердцевины световода ( *λ<d*).

При фиксированном диаметре d световода и различных длинах волн image061 характеристикой условий распространения излучения может быть некоторый угол image063, связанный соотношением:

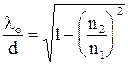
image065.                 (6.2)

Как видно из рис.6, чем ближе длина волны к диаметру световода, тем меньше продольная составляющая распространения волны. Предельный случай image067. В соответствии с лучевой теорией при этом вдоль световода нет передачи энергии.

Имея в виду, что image070 и предполагая, что выполняется условие полного внутреннего отражения, т.е. image072 можно записать

.           (6.3)

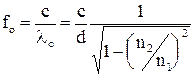
Прировняв правые части выражений (6.2) и (6.3) для косинусов получим:

.                 (6.4)

Критическая длина волны волоконного световода, в таком случае

image079.                 (6.5)

Соответственно критическая частота

    ,         (6.6)

          где image084 - скорость распространения волны в сердечнике световода (сорость света).

**4. Задание:**

1.Изучить основные параметры оптического волокна.

2. В соответствии с вариантом рассчитать:

*- числовую апертуру(NA)*

*- нормированную частоту.(V)*

*В зависимости от параметра нормированной частоты определить тип ОВ.*

*- определить критическую частоту и критическую длину волны*

**Варианты задания** Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ вар** | ***d***  **мкм** | **n1** | **n2** |
| **1** | 5 | 1,515 | 1,500 |
| **2** | 50 | 1,510 | 1,495 |
| **3** | 8 | 1,505 | 1,500 |
| **4** | 62,5 | 1,510 | 1,490 |
| **5** | 50 | 1,510 | 1,495 |
| **6** | 5 | 1,515 | 1,500 |

**Задания к практической работе №9**

**Задание:** рассчитать числовую апертуру и критическую длину волны

Задача 1. Определим, на сколько отличается величина числовой апертуры в оптическом волокне оптического кабеля типа ОКК-50-01 от числовой апертуры в оптическом волокне оптического кабеля типа ОМЗКГ-10-1. В обоих типа оптических волокон Δ=0,01; для ОВ в кабеле ОКК-50-01 n1=1,505, для ОВ в кабеле ОМЗКГ-10-1 n1=1,510.

Задача 2. На сколько изменится критическая частота в оптических волокнах оптического кабеля типа ОКЛ-01 при изменении диаметра сердцевины ОВ в пределах нормы? Значения параметров ОВ- n2 = 1,49, Δ=0,01, тип волны НЕ12.

В кабеле типа ОКЛ-01 используется одномодовое оптическое волокно с диаметром отражающей оболочки =125±3 мкм и диаметром сердцевины (модового поля) = 8,5±1мкм. Передача сигналов осуществляется на длине волны λ=1.55мкм.

Задача 3. На сколько изменится критическая длина волны в оптических волокнах оптического кабеля типа ОКЛ-01, если изменился передаваемый тип волны и вместо Е01 передается НЕ21? Значения параметров ОВ –n1=1.504, Δ=0.01.

В кабеле типа ОКК-10-01 используется одномодовое оптическое волокно с диаметром отражающей оболочки = 125 мкм и диаметром сердцевины = 10 мкм.

**Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Формулы расчета.
5. Необходимые расчеты.
6. Вывод по работе.

**ЛАБОРАТОРНАЯ (ПРАКТИЧЕСКАЯ) РАБОТА № 8**

**Тема: Расчет потерь при передаче по оптическому волокну**

1. **Цель работы:** овладеть знаниями о параметрах оптического волокна.

**2. Пояснения к работе**

**2.1. Краткие теоретические сведения**

***Число мод***

Моды отличаются распределением электрических и магнитных полей в поперечном сечении световода и характеризуются индексами *п* и *т.*

Число типов волн (мод) в световоде зависит от диаметра сердечника *d* и длины волны λ.

Для одномодового OB ( *d ≈* λ ) нормированная частота, как было сказано ранее, лежит в пределах 0 < *V <* 2,405 (волна НЕ11). С увеличением значения *V*, количество мод, передаваемых по ОВ, увеличивается.

Для определения числа мод (N), передаваемых по многомодовому OB *(d > λ*), можно воспользоваться формулами:

N= - для ступенчатого волокна;

N= - для градиентного волокна. (1)

где V – нормированная частота.

Достоинством одномодовых систем являются весьма широкий диапазон частот и большая пропускная способность. С увеличением числа мод полоса передаваемых частот снижается: одномодовая система -несколько гигагерц, маломодовая - сотни мегагерц, многомодовая - десятки мегагерц. Однако одномодовые системы из-за малого диаметра сердечника волокна менее надежны и имеют большие потери на вводе в световод, поэтому они требуют мощных когерентных источников с узкой диаграммой направленности, т.е. квантовых генераторов.

Для многомодовых систем можно использовать простейшие некогерептные источники излучения - светодиоды, имеющие малую мощность и меньшую пропускную способность.

***Затухание ОВ***

Затухание *а* определяет длину регенерационных участков (расстояния между регенераторами) и для трактов оптических кабелей обусловлено собственными потерями в волоконных световодах *ас* и дополнительными потерями, так называемыми кабельными αк, обусловленными скруткой, а также деформацией и изгибами световодов при наложении покрытий и защитных оболочек в процессе изготовления ОК.

*а = ас+ак, (2)*

*ас= а*п*+ар, (3)*

где *а*п*-* потери на поглощение (зависят от чистоты материала и при наличии посторонних примесей (αпр) могут достигать значительной величины (αп + αпр);

*αр-* потери на рассеяние обусловленные' неоднородностями материала волоконного световода, расстояние между которыми меньше длины волны и тепловой флуктуацией показателя преломления.

Затухание за счет поглощения связано с потерями на диэлектрическую поляризацию, линейно растет с частотой, существенно зависит от свойств материала световода (tgδ) и рассчитываются по формуле:

αп=8,69 tgδ, *д*Б/км (4)

где tgδ *-* тангенс угла диэлектрических потерь в световоде.

Все прозрачные материалы рассеивают свет. Рассеивание на частотах 1014....1015Гц обусловлено тепловым движением атомов, составляющих вещество. Поэтому оно принципиально не устранимо и вносит затухание в световоде даже в том случае, когда потери света на поглощение практически раины нулю.

Величины потерь на рассеяние, называемые релеевскими, можно определить по формуле:

αр=, *д*Б/км (5)

где *кр* - коэффициент рассеяния (величина зависит от типа материала волокна).

**4. Задание:**

1.Изучить основные параметры оптического волокна.

2. В соответствии с вариантом рассчитать:

-для многомодового волокна определяется количество мод передаваемых по ОВ (значение нормированной частоты V из лабораторной работы Т 2.1 10).

- общие потери при передаче по оптическому волокну

**Варианты задания**

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ вар** | ***l***  ***км*** | ***d***  **мкм** | **λ**  **мкм** | **n1** | **n1** | **Δλ**  **нм** | **tgδ**  **10-11** | **Kp** | **αпр** | **αк** | **Тип волны** | **Система передачи** |
| **1** | 20 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,49 | 1 | 3 | 1 | 0 | 2 | НЕ12 | *ИКМ-120* |
| **2** | 30 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,495 | 2 | 4 | 1,2 | 0 | 3 | ЕН12 | *ИКМ-480* |
| **3** | 40 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,5 | 0,2 | 2 | 0,8 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **4** | 50 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,505 | 3 | 5 | 1,5 | 0 | 2 | НЕ21 | *ИКМ-120* |
| **5** | 20 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,49 | 4 | 3 | 1,2 | 0 | 3 | ЕН21 | *ИКМ-480* |
| **6** | 30 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,495 | 0,4 | 1 | 1 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **7** | 40 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,5 | 1 | 4 | 0,8 | 0 | 2 | НЕ31 | *ИКМ-120* |
| **8** | 50 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,505 | 2 | 5 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН31 | *ИКМ-480* |
| **9** | 20 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,49 | 0,6 | 2 | 0,8 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **10** | 30 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,495 | 3 | 3 | 1.2 | 0 | 2 | НЕ13 | *ИКМ-120* |
| **11** | 40 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,5 | 4 | 4 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН13 | *ИКМ-480* |
| **12** | 50 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,505 | 0,8 | 1 | 1 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **13** | 20 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,49 | 1 | ***с*** | 1,2 | 0 | 2 | НЕ23 | *ИКМ-120* |
| **14** | 30 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,495 | 2 | 3 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН23 | *ИКМ-480* |
| **15** | 40 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,5 | 0,2 | 3 | 1,2 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **16** | 50 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,505 | 3 | 4 | 0,8 | 0 | 2 | НЕ32 | *ИКМ-120* |
| **17** | 20 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,49 | 4 | 5. | 1 | 0 | 3 | ЕН32 | *ИКМ-480* |
| **18** | 30 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,495 | 0,4 | 2 | 1,5 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **19** | 40 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,5 | 1 | 3 | 1,2 | 0 | 2 | НЕ21 | *ИКМ-120* |
| **20** | 50 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,505 | 2 | 4 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН12 | *ИКМ-480* |
| **21** | 20 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,49 | 0,6 | 1 | 0,8 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **22** | 30 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,495 | 3 | 5 | 1 | 0 | 2 | НЕ13 | *ИКМ-120* |
| **23** | 40 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,5 | 4 | 3 | 1,2 | 0 | 3 | ЕН31 | *ИКМ-480* |
| **24** | 50 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,505 | 0,8 | 3 | 1 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **25** | 20 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,49 | 1 | 4 | 0,8 | 0 | 2 | НЕ32 | *ИКМ-120* |
| **26** | 30 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,495 | 2 | 5 | 1,5 | 0 | 3 | ЕН32 | *ИКМ-480* |
| **27** | 40 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,5- | 0,2 | 2 | 1,2 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |
| **28** | 50 | 50 | 0,85 | 1,51 | 1,505 | 3 | 3 | 1 | 0 | **2** | НЕ23 | *ИКМ-120* |
| **29** | 20 | 50 | 1,3 | 1,51 | 1,49 | 4 | 4 | 0,8 | 0 | **3** | ЕН23 | *ИКМ-480* |
| **30** | 30 | 10 | 1,55 | 1,51 | 1,495 | 0,4 | 1 | 1,5 | 0 | 1 | НЕ11 | *ИКМ-1920* |

**ЛАБОРАТОРНАЯ (ПРАКТИЧЕСКАЯ) РАБОТА № 9**

**Тема:** Расчет элементов конструкций симметричных кабелей

1. **Цель работы:** изучить, овладеть, сформировать, научится, закрепить.
2. **Оборудование, приборы, аппаратура, материалы и их:**
3. **Варианты заданий для лабораторной (практической) работы:**

**4. Пояснения к работе**

1. Краткие теоретические сведения

Умение производить расчеты элементов конструкций симметричных кабелей может оказаться особенно необходимым специалистам в области городских кабельных сетей. Это обусловлено тем, что существует большое разнообразие типов городских низкочастотных симметричных кабелей, использующих различные методы скрутки проводников. От того, какой вид скрутки был использован, зависит степень широкополосности кабеля и чувствительность к взаимным влияниям. При выборе групп симметричных пар, подверженных наименьшим влияниям, следует не только вспомнить методы образования повивов кабеля, но и рассчитать диаметр искомого повива или других элементов конструкции кабеля.

В симметричных кабелях применяется несколько способов скрутки изолированных проводников в группы:

- *парная скрутка (П)* – два изолированных проводника скручиваются в пару с шагом скрутки не более 300 мм;

- *скрутка звездой (З)* – четыре изолированных проводника, расположенные по углам квадрата, скручиваются с шагом скрутки 150-300 мм;

- *скрутка двойная пара (ДП)* – две предварительно свитые пары скручиваются между собой в четверку с шагом 150-300 мм;

- *скрутка двойной звездой (ДЗ)* – четыре предварительно свитые пары скручиваются вместе по способу звезды с шагом 200-400 мм, образуя восьмерку;

- *восьмерочная скрутка (В)* – восемь жил группы располагаются концентрически вокруг сердечника из изолированного материала.

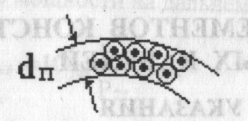
Геометрические размеры кабеля зависят от диаметра группы, образующей основополагающую единицу конструкции. В случае парной скрутки толщина, прибавляемая каждым повивом к диаметру кабеля, будет равна средней ширине пространства, занимаемого парой (рис.1). При этом, как видно из рисунка, эта толщина не будет равна двойному диаметру изолированной жилы – 2d1.

Рис.1. Ширина пространства повива

На практике при скрутке проводников с воздушно- бумажной изоляцией происходит их деформация, в результате чего размеры скрученных групп становятся меньше, чем расчетные. Для таких конструкций кабелей вводится понятие эффективного диаметра группы – dэ, который определяется произведением диаметра группы на коэффициент, зависящий от типа скрутки.

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Скрутка | Коэффициент | Эффективный диаметр |
| Парная dп | 0,965 | 0,965 dп |
| Звездная dз | 0,909 | 0,909 dз |
| Двойная парная dдп | 0,956 | 0,956 dдп |
| Двойная звездная dдз | 0,980 | 0,980 dдз |
| Восьмеречная dв | 0,983 | 0,983 dв |

Повивная скрутка является основным методом общей скрутки сердечника кабеля. Группы располагают последовательными концентрическими слоями (повивами) вокруг центрального повива, состоящего из одной – пяти групп (рис.2). При этом диаметр центрального повива определяется из формулы

, мм (1)

где

*d* – диаметр группы, мм;

*n* – число групп в центральном повиве (формула справедлива для числа групп от двух до пяти).

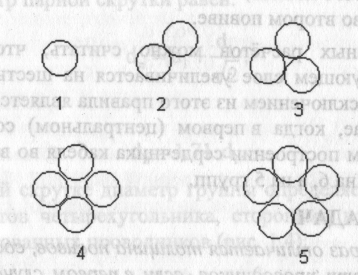


Рис.2. Пять различных форм скрутки с 1, 2, 3, 4, и 5 группами в центральном повиве

Зная число групп в центральном (первом) слое кабеля, можно определить число групп второго и последующих слоев.

Ввиду того, что группы каждого последующего слоя накладываются на предыдущий по винтовой линии, длина жил увеличивается по сравнению с длиной кабеля. Эта величина удлинения характеризуется коэффициентом укрутки, который показывает, во сколько раз группа длиннее оси кабеля.

Коэффициент укрутки проводов кабеля:

, (2)

где

D – средний диаметр кабельной скрутки, мм;

h – шаг скрутки, мм.

В зависимости от типа кабеля и его размеров коэффициент укрутки принимается χ=1,01-1,07. Вследствие расположения группы проводников вокруг сердечника по винтовой линии в повиве они занимают пространство несколько большее, чем в случае параллельного расположения к оси кабеля. Число групп во втором слое определяется из выражения:

, (3)

где

*DI* – диаметр первого (центрального) повива;

*d* – диаметр группы проводников;

*χ* – коэффициент укрутки.

Число групп в третьем слое определяется из выражения:

, (4)

где

*DII* – диаметр первого (центрального) повива;

*nII* – число групп во втором повиве.

Для упрощенных расчетов можно считать, что число групп в каждом последующем слое увеличивается на шесть по сравнению с предыдущим. Исключением из этого правила является только второй слой в том случае, когда в первом (центральном) содержится одна группа. При таком построении сердечника кабеля во втором слое увеличение будет не на 6, а на 5 групп.

**Пример расчета элементов конструкций симметричных кабелей.**

*Задача. Во сколько раз отличается толщина повивов, состоящих из двух разных типов групп проводников. Если в первом случае использована парная скрутка, а во втором – звездная скрутка? На сколько изменится это соотношение в случае дополнительного обжима бумажной изоляции?*

***Решение.***

При решении этой задачи необходимо учесть, что под толщиной повива из проводников с парной скруткой следует понимать среднюю ширину пространства, занимаемого парой в повиве (рис.1).

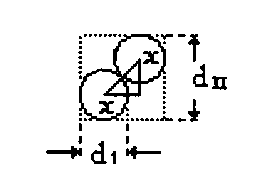


Рис.3. Средняя ширина пространства, занимаемая парой

Как видно из рис. 3, толщину повива, состоящего из проводников парной скрутки – *dп*, можно легко найти, определив стороны прямоугольного треугольника, гипотенузой которого является расстояние, равное диаметру изолированного проводника – dI.

На основании рис.3. можно записать:



откуда

.

Тогда диаметр парной скрутки равен:

,

или

 (5)

При звездной скрутке диаметр группы определяется на основании расчета элементов четырехугольника, сторонами которого являются радиусы изолированных проводников (рис.4):

,

где х – определяется из выражения:

.

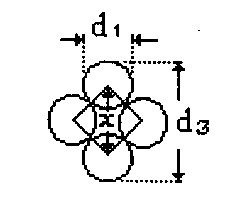


Рис. 4. Построение звездной группы

Тогда диаметр звездной скрутки:

,

или

. (6)

Исходя из (1.29) и (1.30), находим соотношение:

. (7)

Таким образом толщина повива, состоящего из проводников с парной скруткой, будет в 0,71 раза меньше толщины повива из проводников со звездной скруткой.

После дополнительного обжима бумажной изоляции соотношение (5), исходя из табл. 1, примет вид:

.

**Ответ:** Толщина повива, состоящего из проводников с парной скруткой, будет в 0,71 раза меньше толщины повива из проводников со звездной скруткой. После дополнительного обжима толщина повива, состоящего из проводников с парной скруткой, будет в 0,75 раза меньше толщины повива из проводников со звездной скруткой.

**Задания к практической работе №1**

**Задание:** рассчитать элементы конструкций симметричных кабелей.

*Задача 1. На сколько процентов отличается длина проводников, используемых во втором и в четвертом повиве в кабеле ТГ1002 с диаметром токопроводящих жил 0,5 мм, покрытых стандартной лентой телефонной бумаги, шаг скрутки жил – 100 мм.*

*Задача 2.Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле МКС-741,2, и определить диаметр звездной группы.*

*Задача 3. Определить сколько кг меди и свинца находится в строительной длине кабеля ТГ 1020,5.*

*Задача 4. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле с кордельно-бумажной изоляцией МКГ-441,2 и определить диаметр звездной группы.*

*Задача 5. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле с балонно-полиэтиленовой изоляцией МКПГ-441,2 и определить диаметр звездной группы.*

*Задача 6. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле со сплошной полиэтиленовой изоляцией МКПВ-141,2 и определить диаметр звездной группы.*

*Задача 7. Найти расстояние между центрами пары проводников, находящихся внутри четверки в кабеле с пористо-полиэтиленовой изоляцией МКПП-141,2 и определить диаметр звездной группы.*

**Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Формулы расчета.
5. Необходимые расчеты.
6. Вывод по работе.

**Лабораторная работа №10**

**Тема: Расчет длины регенерационного участка**

**Методические указания**

Длину регенерационного участка ограничивает один из двух факторов: затухание или дисперсия. При определении длины регенерационного участка необходимо на первом этапе найти максимально допустимое расстояние (ограниченное затуханием световодного тракта), на которое можно передать сигнал, а затем восстановить. Вторым этапом определяют пропускную способность оптического кабеля и находят трассы, на которую еще возможно передавать оптические сигналы с заданной скоростью. В многомодовых ОВ длины регенерационного участка обычно лимитируется дисперсией. А в одномодовых ОВ лимитируется затуханием.

**Ограничение длины при регенерационного участка затуханием**

При определении длины регенерационного участка, лимитированного затуханием , следует пользоваться выражением:

 (3.42)

где

Э- энергетический потенциал системы передачи, дБ;

С- энергетический запас системы, дБ;

А- дополнительные потери в пассивных компонентах ВОЛС (на вводе/выводе), дБ;

- коэффициент затухания оптического кабеля, дБ/км;

- потери в неразъемном соединении, дБ;

- строительная длина оптического кабеля, км.

Энергетический потенциал системы передачи (Э) определяет максимально допустимое затухание оптического сигнала в оптическом кабеле, в разъемных и неразъемных соединениях на участке регенератора не превышает заданного значения, установленного для данной системы передачи. Величина энергетического потенциала зависит от скорости передачи, технического уровня элементов электрооптических и оптоэлектронных преобразователей, длины волны используемого источника излучения и других факторов и задается для каждого вида аппаратуры ВОСП. В табл. 3.8 приведены справочные данные энергетического потенциала различных отечественных систем .

Таблица 3.8

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Система | Длина волны, мкм | Скорость передачи, Мбит/с | Число каналов | Энергетический потенциал, дБ |
| Соната-2 | 0,85 | 8,448 | 120 | 50 |
| ИКМ-120-4/5 | 0,85 (ЛД) | 8,448 | 120 | 50 |
| -“- | 0,85 (СД) | 8,448 | 120 | 34 |
| -“- | 1,3 (ЛД) | 8,448 | 120 | 37 |
| -“- | 1,3 (СД) | 8,448 | 120 | 24 |
| ИКМ 480-5 | 1,3 | 34,368 | 480 | 38 |
| Сопка-Г | 1,3 | 34,368 | 480 | 38 |
| Сопка-2 | 1,3 | 8,448 | 120 | 43 |
| Сопка-3 | 1,3 | 34,368 | 480 | 41 |
| Сопка-3М | 1,55 | 34,386 | 480 | 38 |
| Сопка-4 | 1,3 | 139,264 | 1920 | 38 |
| Сопка-4М | 1,55 | 139,264 | 1920 | 38 |
| Сопка-5 | 1,55 | 668,4672 | 7680 | 25 |

Энергетический запас системы (С) обычно составляет 36 дБ, он необходим для компенсации эффекта старения элементов аппаратуры и оптического кабеля, компенсации дополнительных потерь при ремонте оптического кабеля (потери на стыках кабельных вставок) и других отклонении параметров участка в процессе эксплуатации.

Дополнительные потери в пассивных компонентах ВОЛС (Аа) составляют порядка 35 дБ и возникают за счет разъемных соединителей, устройств соединения линейного кабеля со станционным и т.д.

**Ограничение длины регенерационного участка дисперсией**

Длины регенерационного участка ограничивается также пропускной способностью оптического кабеля. Пропускная способность F является одним из основных параметров ВОЛС, так как она определяет полос у частот, пропускаемую оптическим волокном, и соответственно объем информации, который можно передать по оптическому кабелю на длину регенерационного участка. Пропускная способность оптического кабеля существенно зависит от используемых в них типов оптических волокон (одномодовые, многомодовые-ступенчатые, градиентные), которые могут иметь различные дисперсионные параметры. Связь между величиной уширения импульсов и полосой частот выражается соотношением (3.19).

Дисперсионные искажения существенно зависят от длины оптического волокна, поэтому величина F нормируется на один км оптического кабеля. Так, если на километровой длине оптического волокна происходит уширение импульса на =10нс, то его пропускаемая способность F ограничена 44 МГц (при гауссовской форме импульса).

Для того, что бы оценить способность какого- либо участка ВОЛС () передавать информацию с определенной шириной полосы частот, при известной нормированной полосе пропускания ОК на один километр (F1), для которых линий, меньших, чем длина установившегося режима (), следует использовать выражение:

 (3.43)

Длина установившегося режима передачи для ступенчатого многомодового волокна составляет 5÷7 км, для градиентного волокна 10÷15 км. Для одномодовых волокон, в которых распространяется один тип волны, следует считать ÷30 км. Для одномодовых волокон  является длиной установившегося режима (либо длиной модовой связи) ортогонально-поляризованных двух мод (единственная направляемая мода представляется двумя ортогонально-поляризованными модами одного типа).

Если известно не нормированное значение полосы пропускания ОК на один километр, а известна пропускная способность F оптического кабеля длиной , то можно воспользоваться выражениями:

 (3.44)

для коротких линий, меньших, чем длина установившегося режима ();

 (3.45)

для линий, больших, чем длина установившегося режима ().

Как видно из выражений, с увеличением длины линии уменьшается пропускная способность световода F. На рис. 3.15 показана зависимость дисперсии и пропускной способности от длины линии.











Рис.3.15

Для определения длины регенерационного участка, исходя из формул (3.20) и (3.43), строят график изменения от длины трассы ВОЛС . На основании этого графика для требуемой системы передачи определяют длину регенерационного участка. Величина скорости передачи системы соответствует необходимой ширине полосы пропускания регенерационного участка. На рис. 3.16 показан пример определения длины регенерационного участка третичной цифровой системы.





34 МГц

30 км

Рис. 3.16

После нахождения длины регенерационного участка, лимитированного дисперсией, проводят ее сравнение с найденной ранее длиной регенерационного участка, лимитированного затуханием, и выбирают наименьшее значение.

**Решение задач**

*Задача 16. Определить длину регенерационного участка ВОЛС, лимитированную затуханием. ВОЛС построена на основе кабеля типа ОКЛ- 0,1-0,3, работающего в 3-м «окне прозрачности», с использованием аппаратуры «Сопка -4М». Оценить зависимость длины усилительного участка от изменения потерь на неразъемных соединителях. Потери в разъемных соединителях- 1  в неразъемных соединителях – 0,1; 0,3; 0,5 Потери га вводе (выводе)- 2  Энергетический запас системы 6*

**Решение.**

Для решения данной задачи используем формулы (3.42). Из  находим, что в кабеле типа ОКЛ-01-0,3 используется одномодовое оптическое волокно с коэффициентом затухания 0,3 дБ/км, энергетический потенциал системы передачи «Сопка-4М» Э=38 дБ, строительная длина кабеля 2000м.

Определим длину регенерационного участка ВОЛС при первом значении потерь в неразъемных соединителях.



При втором значении потерь в неразъемных соединителях длина регенерационного участка ВОЛС равна:



При третьем значении потерь в неразъемных соединителях длина регенерационного участка ВОЛС равна:



Следовательно, при увеличении потерь в неразъемных соединителях от 0,1 до 0,5 дБ, длина регенерационного участка снижается на 31,2 км .

**Ответ :** длины регенерационных участков при потерях в неразъемных соединителях 0,1; 0,3; 0,5 дБ равны соответственно 85,7, 66,7 и 54,5 км.

*Задача 17. Определить длину регенерационного участка ВОЛС, лимитированную дисперсией. ВОЛС построена на основе кабеля липа РКК-50-01, с использованием аппаратуры «Сопка-3». Оценить зависимость длины усилительного участка от изменения ширины полосы пропускания оптического волокна. Ширина полосы пропускания оптического волокна, используемого в кабеле: 800 и 500 МГц\*км.*

**Решение.**

Из  находим, что в кабеле типа ОКК-50-01 используется градиентное оптическое волокно, а скорость передачи аппаратуры «Сопка-3» равна 34 Мбит/с.Для решения этой задачи необходимо построить график изменения ширины полосы пропускания рассматриваемой ВОЛС от длины трассы.

Рассчитаем изменение ширины полосы пропускания рассматриваемой ВОЛС от длины трассы. Расчеты проводятся по каждым 10 км трассы 10÷60 км. Так как длина установившегося режима передачи для градиентного волокна равна 10 км, то для расчетов используем формулу (3.43). расчетные данные для ВОЛС, построенной на основе ОВ с шириной полосы пропускания 800 МГц\*км, будут равны:













Расчетные данные для ВОЛС, построенной на основе ОВ с шириной полосы пропускания 500 МГц\*км, будут равны:













Построим графики изменения ширины полосы пропускания рассматриваемой ВОЛС от длины трассы.

На рис. 3.17 первая кривая соответствует варианту ВОЛС, построенной на основе ОВ с шириной полосы пропускания 500 МГц\*км, а вторая кривая соответственно ОВ с шириной полосы пропускания 800 МГц\*км.

Из рис. 3.17 видно, что при работе аппаратуры «Сопка-3» длина регенерационного участка в первом случае будет равна 21,6 км, а во втором случае 55,4 км.

 км



34 МГц

55,4

21,6

2

1

Рис. 3.17

Таким образом длина регенерационного участка снизится на 33,8 км.

**Ответ: =**33,8 км.

**Задачи для самостоятельного решения**

*Задача 1. Определить длину регенерационного участка ВОЛС, лимитированную затуханием. ВОЛС построена на основе кабеля типа ОМЗКГ-10, работающего в 3-м «окне прозрачности», использованием аппаратуры «Сопка-4». Оценить зависимость длины усилительного участка от изменения потерь на неразъемных соединителях – 0,2; 0,4; 0,6 дБ. Потери на вводе (выводе) – 1,5 дБ. Энергетический запас системы 5 дБ.*

*Задача 2. Определить длину регенерационного участка ВОЛС, ограниченную дисперсией. ВОЛС построена на основе кабеля типа ОМЗКГ-10, с использованием аппаратуры «Сопка-3». Оценить зависимость длины усилительного участка от изменения ширины полосы пропускания оптического волокна. Ширина полосы пропускания оптического волокна, используемого в кабеле: 700 и 400 МГц\*км.*

**Лабораторная работа №11**

**Расчет первичных параметров симметричных кабеля**

Расчеты по формулам более точны, чем по таблицам, и необходимы тех случаях, когда в таблицах отсутствуют нужные данные. Сопротивление провода (в омах) вычисляется по формуле



р-удельное сопротивление (по таблице); I - длина провода, м; s - площадь поперечного сечения провода, мм2; d - диаметр провода.

Длина провода из этих выражений определяется по формулам



Площадь поперечного сечения провода подсчитывается по формуле



Сопротивление R2 при температуре t2 может быть определено по формуле



α - температурный коэффициент электросопротивления (из таблицы 1), R1 - сопротивление при некоторой начальной температуре t1.тричного кабеля

Обычно за t1 принимают 18°С, и во всех приведенных таблицах показана величина R1 для t1=18oС.

Допустимая сила тока при заданной норме плотности тока А/мм2 находится из формулы



Необходимый диаметр провода по заданной силе тока определяют формуле



если норма нагрузки А=2 A/мм2, то формула принимает вид:



Ток плавления для тонких проволочек с диаметром до 0,2 мм подсчитывается по формуле



где d - диаметр провода, мм; k - постоянный коэффициент, равный для меди 0,034, для никелина 0,07, для железа 0,127. Диаметр провода отсюда будет:



Таблица 1.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | Удельное сопротивление, Ом\*мм2 м(р) | Удельный вес, г/см3 | Температурный коэффициент электросопротивления (a) | Температура плавления, oС | Максимальная рабочая температура, oС |
| Медь | 0,0175 | 8,9 | +0,004 | 1085 | - |
| Алюминий | 0,0281 | 2,7 | +0,004 | 658 | - |
| Железо | 0,135 | 7,8 | +0,005 | 1530 | - |
| Сталь | 0,176 | 7,95 | +0,0052 | - | - |
| Никелин | 0,4 | 8,8 | +0,00022 | 1100 | 200 |
| Константан | 0,49 | 8,9 | -0,000005 | 1200 | 200 |
| Манганин | 0,43 | 8,4 | +0,00002 | 910 | 110 |
| Нихром | 1.1 | 8,2 | +0,00017 | 1550 | 1000 |

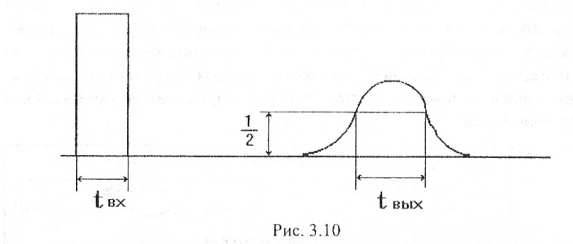
**Лабораторная работа № 11**

**Тема: Расчет дисперсии в оптических кабелях**

**Методические указания**

Одним из важных явлений процесса распространения импульсных сигналов по оптическим кабелям является дисперсия,рассеяние во время спектральных или модовых составляющих оптического сигнала.

В результате дисперсии импульсный сигнал на вход приемного устройства приходит тем более искаженным,чем длинее линия (рис. 3.10).

Дисперсия приводит к увеличению длительности импульса (уширение импульса) при прохождении его по оптическому кабелю, появлению межсимвольных помех, и в конечном счете – к ограничению пропускной способности кабеля.

Дисперсионные искажения имеют характер фазовых искажений сигнала и обусловлены различием времени распостранения различных мод в световоде и наличием частотной зависимости показателя преломления.

Уширение импкльсов возникает не только исключительно при прохождении сигнала через оптическое волокно,но и за счет прохождения сигнала через соединители, модулирующие, демодулирующие и другие устройства. В случае гауссовой формы импульсов все эти приращения длительности сигнала суммируются по квадратному закону:

τ = τ + τ +...+ τ+…+ τ, (3.37)

где

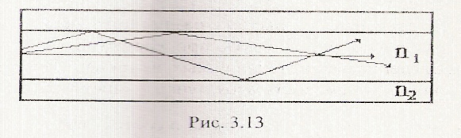
τ - длительность импульса на выходе фотоприемника;

τ- длительность импульса на входе изучателя;

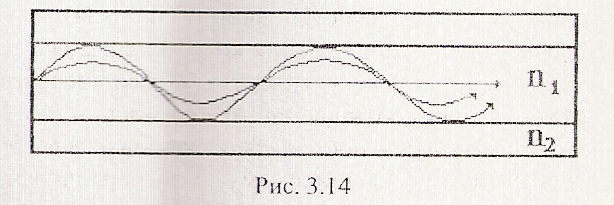
τ - уширение импульса в i-м элементте тракта.

Как правило,наибольшие искажения в сигнал вносит оптический кабель. Поээтому, согласно (3.37), зная длительность импульсов на входе и выходе тракта, можно рассчитать величину уширения импульсов в оптическом кабеле по формуле (3.10), причем значения τ и τ берутся на уровне половины амплитуды импульсов (рис. 3.10).

Лучевая модель иллбстрирующая механизмы возникновения модовой дисперсии в ступенчатых волокнах, показана на рис. 3.13.



В градиентных волокнах различные лучи также проходит различный путь.Однако их скорость v=c/n различна. Околоосевые лучи распостраняются по короткой траектории, однако в среде со сравнительно высоким n, т.е. с малой скоростью, а перифирийные лучи – по длинной траектории, но в основном в среде с низким n, т.е. с большой скоростью (рис. 3.14).



В целом задержка мод оказыввется приблизительно одинаковой, а уширение импульсов по сравнению со ступенчатыми волокнами снижается более чем в 10 раз.

Величина модовой дисперсии в градиентных волокнах определяется из выражений (3.13) и (3.14).

Значение ℓ в градиентных волокнах составляет порядка 10-15км.

В табл. 3.4 в качестве примера приведены значения модовой дисперсии τ в ступенчатых и градиентных волокнах при различных соотношениях показателей преломления сердцевины и оболочки.

Таблица 3 .4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина линии ℓ , км | Значение τ нс | | | |
| ступенчатые ОВ | | градиентные ОВ | |
| Значение ∆ | | | |
| 0,01 | 0,006 | 0,01 | 0,006 |
| 10 | 498 | 332 | 2,47 | 1,09 |
| 20 | 718 | 474 | 3,55 | 1,58 |
| 30 | 868 | 578 | 4,32 | 1,91 |

**Хроматическая (частотная) дисперсия**

Данная дисперсия вызвана наличием спктра частот у источника излучения, харатером диаграммы направленности и его некогерентностью. Хроматическая дисперсия, в свою очередь, делится на материальную, волноводную и профильную (для реальных волокон).

**Материальная дисперсия**

Данная дисперсия объясняется тем, что коэффицент преломления стекла изменяется с длинной волны n=φ(λ), а практически любой, даже лазерный источник излучения генерирует не на одной длине волны (λ), а в определенном спектральном диапазоне (∆λ),. В результате различные спектральные составляющие передаваемого оптического сигнала имеют различную скорость распостранения, что приводит к их различной задержке на выходе волокна.

Из-за узкой полосы излучаемых длин волн у лазерных источников излучения данный вид дисперсии сказывается незначительно. В некогерентных источниках – излучающих светодиодах – полоса пропускания существенно шире, и это дисперсия проявляется довольно значительно. Так основной параметр, который характеризует дисперсию данного вида - ∆λ/λ – для лазеров составляет 0.001, а для излучающих светодиодов - 0.1, т.е. на два порядка больше.

Величину уширения импульсов из-за материальной дисперсии τ можно найти из выражения (3.15).

Для инженерных расчетов в первом приближении можно использовать упрощенную формклк, не учитывающую форму профиля показателя преломления (для идеального ступенчатого профиля показателя преломления):

τ= ∆λℓM(λ) . (3.39)

где

∆λ - ширина спектра излучения источника, обычно соответствует 1-3 нм для лазера и 20-40 нм для светоизлучающих диодов;

М(λ) – удельная материальная дисперсия, значения которой затабулированы на (табл.3.5);

ℓ - длина линии.

Удельная материальная дисперсия выражается в пикосекундах на киллометр длины световода и на нанометр ширины спектра.

Таблица 3. 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина волны λ, мкм | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,55 | 1,6 | 1,8 |
| М(λ), пс/(км-нм) | 400 | 125 | 40 | 10 | -5 | -5 | -18 | -20 | -25 |

С увеличением длины волны значение τ ученьшается, а затем проходит через нуль и приобретает минусовое значение.

**Волноводная (внутримодовая ) дисперсия**

Волноводная дисперсия обусловлена процессами внутри моды. Она характеризуется зависимостью коэффицента распостранения моды от длины волны γ=ψ(λ). Являясь, составной частью хроматической дисперсия (так же как и материалбная дисперсия) , волноводная дисперсия зависит от ширины передаваемого спектра частот.

Величина уширения импульсов из-за волноводной дисперсии τ находится из выражения (3.16). Для инженерных расчетов можно испльзовать упрощеннцю формулу:

τ= ∆λ ℓ В(λ) , (3.40)

где

В(λ) – удельная волноводная дисперсия, значения которой затабулированы (табл. 3.6);

∆λ - ширина спектра излучения источника;

ℓ - длина линии.

Удельная волновожная дисперсия так же, как и удельная материальная дисперсия, выражается в пикосекундах не километр длины световода и на нанометр ширины спектра.

Таблица 3.6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина волны λ, мкм | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,55 | 1,6 | 1,8 |
| В(λ), пс/(км-нм) | 5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 | 12 | 14 | 16 |

Как видно из табл. 3.5 и 3.6 (для ОВ со ступенчатым ППП), вблизи длины волны λ≈1,35 мкм происходит взаимная компенсация материальной и волноводной дисперсии. Из-за этого волна 1,3 мкм получает широкое применение при передаче по одномодовым волокнам, однако по затуанию предпочтительнее волна 1,55 мкм. Поэтому для достижения минимума дисперсии приходится варьировать профилем показателем преломления и диаметром сердечника. При сложном трехслойном профиле показателя преломления можно и на длине волны 1055 мкм получить минимум дисперсионных искажений.

**Профильная дисперсия**

Данный вид дисперсии проявляется в реалбных оптических волокнах, которые могут быть регулярных (например, с регулярной, геликондальной скруткой), нерегулярными (например, нерегулярное изменение границы раздела ППП), неоднородными (например, наличие инородных частиц).

На рис. 3.11 показаны основные принципы возникновения профильной дисперсии. К ним относятся поперечные и продольные малые отклонения (флуктуация) геометрических размеров и формы волокна, например: небольшой эллиптичности поперечного сечения волокна; изменения границы профиля показателя преломления (ППП); осевые и внеосевые провалы ППП, вызванные особенностями технологии изготовления ОВ.

Продольные флуктуации могут возникать в процессе изготовления ОВ и ОК, строительства и эксплуатации ВОЛС. В ряду случаев профильная дисперсия может оказать существенное влияние на общую дисперсию. Профильная дисперсия может проявляться как в многомодовых, так и в одномодовых ОВ. Физически происходит перекачка энергии между направлениями, оболочковыми и излучаемыми волнами (рис 3.8).

Величина уширения импульсов из-за профильной дисперсии τ находится из выражения (3.17). Это выражение справедливо для одномодовых волокон при реальной флуктуации границы раздела ППП (рис. 3.11). При наличии других внешних влияющих фактоов ее величина может значительно увеличиваться.

Для инженерных расчетов можно использовать упрощенную формулу:

τ= ∆λ ℓ П(λ) , (3.41)

где

П(λ) – удельная профильная дисперсия, значения которой затабулированы (табл. 3.7);

∆λ - ширина спектра излучения источника;

ℓ - длина линии.

Удельная профильная дисперсия выражается в пикосекундах на киллометр длины световода и на нанометр ширины спектра.

Таблица 3 .7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина волны λ, мкм | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,55 | 1,6 | 1,8 |
| П(λ), пс/(км-нм) | 0 | 1,5 | 5 | 2,5 | 4 | 5 | 5,5 | 6,5 | 7,5 |

Сравнивая дисперсионны характеристики различных световодов, сожно отметить, что лучшими с этой точки зрения являются одномодовые световоды, где присутствует лишь хроматическая дисперсия, величина которой не превышает несколькич пикосекунд в определенном диапазоне длин волн (λ=1.2 ... 1,6 мкм).

Из многомодовых световодов лучшие данные по дисперсии у градиентных световодов с плавным параболическим законом изменения показателя преломления, в которых происходит выравнивание времени растостранения различных мод и определяющей является материальная дисперсия. По абсолютной величине дисперсия уменьшается с ростом длины волны и колеблется в прделах 1...2 нс/км.

Наиболее сильно дисперсия у ступенчатых многомодовых саетоводов, что приводит к уменьшению их использования на цифровых высокоскоростных линиях связи.

Результирующие значение уширеня импульсов за счет модовой, материальной,волноводной и профильной дисперсии определяется из выражения (3.18).

Дисперсия в основном определяет ширину полосы передаваемых частот и соответственно число каналов передвчи информации.

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ**

*14. На межстанционной ВОЛС проложены 2 типа кабелей ОК-50-2 и ОК-50-01. Определить, во сколько раз отличается уширение импульсов в этих кабелях. Длина ВОЛС равна 9 км; n =1,490,* ∆*n=0,015.*

**Решение.**

Для решения этой задачи используем формулы (3.11) и (3.14). Предварительно определим значение коэффиента преломления n и относительное соотношение показателей преломления - ∆. Воспользуемся методическим указанием разд. 3 и через разность показателей преломления определим n :

n = n + ∆n = 1,490+0,015 = 1,505.

Определим относительное значение показателя преломления оптичекого волокна из выражения (3.3):

∆ = (n- n)/2 n = (1,505-1,490)/2 ∙ 1,505= 0.01

В оптических кабелях, выполненных на многомодовых волокнах, наибольший вклад в уширеник импульсов вносит модовая дисперсия, поэтому в дальнейших расчетах будем учитывать только этот фактор.

Рассчитаем дисперсию в ОК-50-2. Из [2] находим, сто в кабеле типа ОК-50-2 используется многомодовое ступенчатое оптическое волокно. Для расчетов исполбзуем формулу (3.12), так как длина связи мод для ступенчатого волокна равна 5 км:

τ= (∆n)/c = (0.01 ∙ 1.505) ∙ /(3 ∙ 10) = 0.336 мкс

Расчитаем дисперсию в ОКК-50-01. Из [2] находим, что в кабеле типа ОКК-50-01 импользуется градиентное оптическое волокно. Для расчетов используем формулу (3.13), так как длина связи мод для градиентного вололкна равна 10 км:

τ= ∆ n ℓ /2c = 0.001∙ 1.505 ∙ 9/ 2∙3∙10=2,23 нс

Следовательно, уширение импульсов в ОКК-50-01 в 150,7 раза меньше, чем в кабеле ОК-50-2.

**Ответ:** уширение импульсов в ОКК-50-01 в 150,7 раза меньше, чем в кабеле ОК-50-2.

*15.Определить во сколько раз изменяется величина дисперсии сигнала в ВОЛС, построенной на основе кабеля ОКЛ-01, если заменить источник изулчения с лазерного на светодиодный (с λ=0,85 мкм). Длина ВОЛС равна 63 км.*

**Решение.**

Для решения задачи выспользуемся методическими указаниями. Так как ОКЛ-01 содержит одномодовые волокна [2], работающие на длине волны 1,55 мкм, то необходимо будет рассчитать хроматическую дисперсию, которая,в свою очередь, делится на материальную, волноводную и профильную.

Для расчетов материальной дисперсии используем упрощенную формулу (3.39) и табл. 3.5. Дисперсия при работе лазерного источника излучения будет равна:

τ= ∆λℓM(λ) = 1·63·(-18)= - 1,134 мкс

Дисперсия при светодиодном источнике равна:

τ= ∆λℓM(λ) = 20·63·104= 131,040 мкс

Для расчетов волноводной дисперсии используем упрощенную форсулу (3.40) и табл. 3.6. Дисперсия при работе лазерного источника излучения будет равна:

τ= ∆λ ℓ В(λ)= 1·63·12= 0,765 мкс

Дисперсия при светодиодном источнике равна:

τ= ∆λ ℓ В(λ) = 20·63·5= 6,300 мкс

Для расчетов профильной дисперсии используем упрощенную формулу (3.41) и табл. 3.7. Дисперсия при работе лазерного источника излучения будет равна:

τ= ∆λ ℓ П(λ)= 1·63·5,5= 0,346 мкс

Дисперсия при светодиодном источнике равна:

τ= ∆λ ℓ П(λ)= 2·63·0 = 0 мкс

Результатирование значение дисперсии при работе лазерного источника излучения определяются из выражения (3.18):

τ = = 23 пс

Результирующее значение дисперсии при светодиодном источнике равно:

τ =   =137,34 мкс

Следовательно, дисперсия сигнала возрастет в 5971 раз.

**Ответ:** дисперсия сигнала при работе лазерного источника в 5971 раз меньше, чем при работе светодиодного источника.

**Задачи для самостоятельного решения**

*Задача 1. На межстанционной ВОЛС проложены два типа кабелей ОК-50-1 и ОКК-50-02. Определить, во сколько раз отличается уширение импульса в этих кабелях. Длина ВОЛС равна 11 км; *

*Задача 2. Определить. Во сколько раз измениться величина дисперсии сигнала в ВОЛС, построенной на основе кабеля ОМЗКГ, если заменить источник излучения с лазерного на светодиодный (с =0,87 мкм). Длина ВОЛС равна 48 км.*

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13**

**Тема:** Определение числа мод и нормированной частоты в световодах

1. **Цель работы:** изучить, овладеть, сформировать, научится, закрепить.
2. **Оборудование, приборы, аппаратура, материалы и их:**
3. **Варианты заданий для лабораторной (практической) работы:**

**4. Пояснения к работе**

**Число мод**

Общее число передаваемых мод в световодах может быть определено по формуле (1).

Число распространяемых мод:

N= (1)

где

n- показатель степени изменения профиля показателя преломления (для ступенчатого волокна n=∞, а для градиентного волокна n=2).

Для волокон ступенчатого и градиентного профиля это выражение принимает вид:

 - для ступенчатого профиля (2)

- для градиентного профиля (3)

где V – нормированная частота, а – радиус сердцевины волокна, n1 – показатель преломления сердцевины волокна, n2 – показатель преломления оболочки, λ – длина волны оптического сигнала.

**Нормированная частоты**

Важным обобщенным параметром волоконного световода является нормированная (характеристическая) частота – V. Ее величина определяется по формуле (4).

Нормированная частота:

V= (4)

а-радиус сердцевины волокна, мкм;

λ-длина волны, мкм.

С увеличением радиуса сердцевины волокна величина V растет, а с увеличением длины волны – уменьшается. В табл. 1 приведены соотношения нормированной частоты, длины волны и радиуса коэффициента преломления оболочки (n1= 1,51).

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| λ,  мкм | Значение V при *а*, мкм | | | | | | | |
| 4 | | 5 | | 25 | | 50 | |
| n2 | | | | | | | |
| 1,49 | 1,5 | 1,49 | 1,5 | 1,49 | 1,5 | 1,49 | 1,5 |
| 0,85 | 7,24 | 5,1 | 9,05 | 6,2 | 45,2 | 32,1 | 90,5 | 63,9 |
| 1,00 | 6,15 | 4,2 | 7,69 | 5,2 | 38,5 | 27,1 | 76,9 | 54,3 |
| 1,30 | 4,73 | 3,2 | 5,92 | 4,1 | 29,3 | 21,4 | 59,2 | 41,8 |
| 1,55 | 3,97 | 2,7 | 4,96 | 3,4 | 25,2 | 17,6 | 49,6 | 35,1 |

Одномодовый режим реализуется, если нормированная частота V≤2,405. Чем меньше разность Δn=n1-n2, тем при большем радиусе световода обеспечивается одномодовый режим. Так, если n1=1,46, то при Δn=0,001 радиус *а*‹2,24 λ, а при Δn=0,003 радиус сердцевины *а*‹ 4,094 λ.

**Задания к практической работе №13**

**Задание:** рассчитать число мод и нормированную частоту в световодах

**Задача 1.** Определить число мод, распространяющихся в оптическом волокне оптического кабеля типа ОКК-50-01-4, при n2=1,490, Δ=0,01. На сколько изменится число мод при изменении диаметра сердцевины ОВ в пределах нормы?

В кабеле типа ОКК-50-01-4 используется градиентное оптическое волокно с диаметром отражающей оболочки =50÷3 мкм. Передача сигналов осуществляется на длине волны λ=1,3мкм.

**Задача 2.** Определить, во сколько раз отличается величина нормированной частоты в оптическом волокне оптического кабеля типа ОКК-50-01 от нормированной частоты в оптическом волокне оптического кабеля типа ОКК-10-01 при n1=1.510, Δ=0,01.

В кабеле типа ОКК-50-01 используется градиентное оптическое волокно с диаметром отражающей оболочки = 125мкм и диаметром сердцевины = 50 мкм. В кабеле типа ОКК-10-01 используется одномодовое оптическое волокно с диаметром отражающей оболочки = 125мкм и диаметром сердцевины = 10 мкм. Передача сигналов осуществляется на длине волны λ=1,3мкм.

**Лабораторная работа №14**

**РАСЧЕТ И ЗАЩИТА КАБЕЛЯ ОТ УДАРОВ МОЛНИЙ.**

# Целью расчета является определение вероятного числа повреждений выбранного для прокладки кабеля и сравнение его с нормами.

# На основании этого сравнения делается вывод о необходимости дополнительной защиты кабеля от ударов молний.

# Вероятное число повреждений кабеля, n0 рассчитывается по формуле 14:

# (14)

# где n0 - вероятность повреждения кабеля на 100км трассы. Определяется из графиков Приложения 3,

# Uпр.=3700В - электрическая прочность изоляции кабеля;

# Т=70 ч. - интенсивность грозовой деятельности в районе прохождения трассы

# 

# Вывод: Рассчитанная величена n = 0,0063 при сравнении с допустимым вероятным числом повреждений проектируемого кабеля от ударов молний nдоп.=0,2 значительно меньше, следовательно дополнительных мер к защите от повреждения выбранного для прокладки кабеля от молний не требуется.

Задача: *Определить плотность повреждения кабеля связи от грозовых разрядов и выбрать меры защиты при следующих исходных данных*

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15**

**Тема: Изучение конструкций городских**

**волоконно – оптических кабелей связи**

**1. Цель работы:** изучить типы и марки оптических кабелей фирмы  **“FUJIKURA”**, овладеть знаниями о элементах конструкций междугородных оптических кабелей и их назначении.

**2. Оборудование, приборы, аппаратура, материалы и их:**

Набор оптических кабелей связи (макет).

Набор измерительных инструментов.

**3. Пояснения к работе**

**3.1. Краткие теоретические сведения**

**Маркировка японских кабелей**

Оптические кабели фирмой **“ Fujikura ”(**изготавливаются согласно техническим требованиям, задаваемыми телекоммуникационными сетями, на которых они эксплуатируются).

В свою очередь телекоммуникационные сети Японии подразделяются на государственные (междугородные и городские) и ведомственные (локальные вычислительные сети, кабельное телевидение, аэрофлот, морфлот, энергетические и оборонные предприятия, полиция и т.д.) [1,2].

В соответствии с этим по назначению и условиям применения оптические кабели классифицируются на четыре основные группы:

1. Междугородные.

2. Городские (абонентские).

3. Станционные кабели.

**4. Кабели специального назначения.**

**По условиям прокладки кабели первой группы могут быть подземными, подвесными и подводными. Городские кабели, как правило, прокладываются в телефонной канализации, однако на некоторых участках (линии межстанционной связи) применяется подвеска кабелей на опорах.**

**Станционные кабели прокладываются в помещениях телефонных станций.**

**Кабели специального назначения прокладываются в зонах действия сильных электромагнитных полей, повышенной пожарной опасности, для локальных вычислительных сетей и т.д.**

Конструктивно кабели подразделяются по следующим характеристикам:

1. Типу оптических волокон и их количеству.

2. Конструкции сердечника кабеля.

3. Типу влагозащитной оболочки.

**4. Конструкции брони.**

**Маркировка японских оптических кабелей осуществляется буквенными обозначениями, приведенными в табл. 1.**

**Таблица 1**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Буква цифра** | **Английское написание** | **Русское написание** |
| OG | **Optical general** | **Оптический, широкого потребления** |
| FR | **Flame retardant type** | **Пожаробезопасного типа** |
| NM | **Non-metallic type** | **Неметаллический силовой элемент** |
| T | **таре** | **Волокна ленточного типа** |
| S | **Slotted** | **Профилированный сердечник** |
| L | **Loose tube** | **Сердечник повивной скрутки** |
| U | **Unit** | **Многоволоконный модуль** |
| JF | **Jelly Fillet type** | **Кабель, герметизированный заполнителем** |
| LAP | **Laminated Aluminium polyethylene** | **Ламинированная алюмополиэтиленовая оболочка** |
| Е | **Ethylene** | **Полиэтилен** |
| V | **Vinylchloride** | **Поливинилхлорид** |
| CMZ | **Corrugated metal armored** | **Гофрированная стальная оболочка** |
| Z | **Zinc** | **Цинк** |
| SS | **Self supporting** | **Трос для подвески** |
| W | **Wale** | **Полоса** |
| W | **Wire** | **Круглые стальные проволоки** |
| Cu | **Copper** | **Медная оболочка** |
| ММ | **Multi mode** | **Многомодовое волокно** |
| SM | **Single mode** | **Одномодовое волокно** |
| D | **Shifted dispersion** | **Волокно со смещенной дисперсией** |
| P | **Pair** | **Пара** |
| Q | **Quad** | **Четвёрка** |

**Городские кабели**

Городские кабели подразделяются на межстанционные и абонентские. Для организации межстанционной связи между АТС используется кабель марки **OGLJFLAP SM 10/125 05 x 48C** (рис. 1).

Кабель имеет центральный силовой элемент 1 из скрученных стальных проволок. Вокруг центрального силового элемента скручено 8 модулей из термопластика 2. В каждом модуле расположено по шесть волокон 3. Сердечник кабеля находится в гидрофобном заполнителе 4. Поясная изоляция 5 выполнена из пластиковой ленты. Кабель имеет комбинированную оболочку из алюминия 6 и полиэтилена 7.

Диаметр кабеля 14 мм. Вес кабеля 190 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 2700 Н (270 кГс). Допустимый радиус изгиба 140 мм. Допустимое раздавливающее усилие 1000 Н / 50 мм.

На абонентской сети используются многоволоконные кабели, например, марки **OGTSLAP SM 10/125 05 x 1000C** (рис. 2). Силовой элемент из скрученных проволок 1. Пять профилированных элементов 2 имеют пазы, в которых размещаются ленточные волокна 3. Профилированный элемент обмотан пластиковой лентой 4. Сердечник кабеля находится в гидрофобном заполнителе 5. Кабель имеет одну четверку и пару из медных жил 6. Водонепроницаемые ленты 7. Обмотка из пряжи 8. Комбинированная алюмополиэтиленовая оболочка 9.

Количество волокон в ленте - восемь. Размер ленты 2,1 мм х 0,4 мм. Диаметр профилированного элемента 12 мм. Диаметр кабеля 40 мм. Вес кабеля 800 кг/км. Допустимое растягивающее усилие 8000 Н (800 кГ). Допустимый радиус изгиба 350 мм. Допустимая раздавливающая нагрузка 1500 Н / 50 мм.

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

Рис. 1. Кабель марки OGLJFLAPSMx10/125X0,5x48C

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**

Рис. 2. Кабель марки OGTSLAP-SMx10/125x0,5x1000C

**4. Задание:**

1.Изучить конструкцию оптического кабеля фирмы **“ FUJIKURA ”.**

Начиная с наружных покровов, студенты должны последовательно выделить конструктивные элементы кабеля, измерить их размер и дать им характеристику.

По результатам измерения размеров элементов и изучения конструкции кабеля заполнить табл. 2

2. В табл. 3 занести технические характеристики кабеля, область применения и организуемое количество каналов.

3.Выполнить чертеж поперечного сечения кабеля в масштабе 5:1.

## Таблица 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Порядок разборки | Элементы конструкции кабеля | Характеристики элементов и их размеры |
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Диаметр кабеля, мм |  |
| 2 | Влагозащитная оболочка: конструкция,  материал, толщина, мм |  |
| 3 | Бронепокровы: конструкция, материал,толщина, мм |  |
| 4 | Подушка: конструкция,материал |  |
| 5 | Внутренняя оболочка: конструкция,  материал,толщина, мм |  |
| 6 | Силовые элементы: конструкция,  материал |  |
| 7 | Поясная изоляция: конструкция, материал |  |
| 8 | Построение сердечника |  |
| 9 | Оптический модуль: количество,  конструкция,материал,диаметр, мм |  |
| 10 | Количество оптических волокон в модуле,  в кабеле |  |
| 11 | Кордели заполнения: количество,конструкция,  материал,диаметр, мм |  |
| 12 | Центральный силовой элемент: конструкция,  материал,диаметр, мм |  |
| 13 | Марка кабеля |  |

Таблица 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Технические характеристики | Параметры |
| 1 | Рабочая длина волны, мкм |  |
| 2 | Организуемое число каналов по двум волокнам. Применяемая ЦСП SDH. Скорость передачи информации. |  |
| 3 | Общее число каналов, организуемое по данному кабелю |  |
| 4 | Сеть связи, на которой используется данный кабель |  |

**5. Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задание.
4. Результаты изучения конструкции кабеля в виде табл. 2 и 3
5. Чертеж поперечного сечения изучаемого оптического кабеля.

**6. Контрольные вопросы**

1. Классификация оптических кабелей.
2. Маркировка оптических кабелей.
3. Рабочие длины волн оптических кабелей.
4. Определение числа каналов и цифровых трактов в оптических кабелях для различных уровней ЦСП SDH.
5. Основные конструктивные элементы оптических кабелей.
6. Конструкция волоконных световодов.
7. Классификация оптических волокон.

**Лабораторная работа 16**

**3.4 Расчет затухания в оптических кабелях**

**Методические указания**

**Затухание в оптических волокнах**

Затухание является важнейшим параметром оптических кабелей. Затухание обусловлено собственными потерями в волоконном световоде αс и дополнительными потерями, так называемыми αк, обусловленными скруткой, а также деформацией и изгибами оптических волокон при наложении покрытий и защитных оболочек в процессе изготовления ОК:

α=αc+αr (3.28)

Собственные потери волоконного световода состоят из потерь поглощения αп и потерь рассеяния αр:

αc=αп+αр (3.29)

Потери, возникающие при распространении сигнала по волоконному световоду, объясняется тем, что часть мощности, поступающей на вход световода, рассеивается вследствие изменения направления распространения лучей на нерегулярностях и их высвечивания в окружающее пространство (αр), другая часть мощности поглощается как самими молекулами кварца (αп), так и посторонними примесями (αпр), выделяясь в виде джоулева тепла. Примесями могут являться ионы металлов (никель, железо, кобальт и др.) и гидроксильные группы (ОН), приводящие к появлению резонансных всплесков затухания. В результате суммарные потери определяются из выражения:

α=αп+αр+αпр+αк (3.30)

Затухание за счет поглощения связано с потерями на диэлектрическую поляризацию, линейно растет с частотой, существенно зависит от свойств материала оптического волокна (tgδ) и рассчитывается по формуле (3.8). Потери рассеяния обусловлены неоднородностями материала волоконного световода, расстояния между которыми меньше длины волны, и тепловой флуктуацией показателя преломления. Величина потерь на рассеяние, называемое рэлеевским, определяется по формуле (3.9). Потери на рэлеевское рассеяние определяют нижний предел потерь, присущих волоконным световодам. Этот предел различен для различных волн и с увеличением длины волны уменьшается. Потери на поглощение растут линейно с увеличением частоты, а потери на рассеяние существенно быстрее - по закону f4.

При распространении электромагнитной волны с λ>2 мкм начинают интенсивна расти потери на поглощение. Это обусловлено иным механизмом потерь кварцевых ВС в инфракрасной области спектра. Эти потери пропорциональны показательной функции и уменьшаются с ростом частоты по закону:

αи.к.=Се-к/λ, дБ/км, (3.31)

где

С и к – постоянные коэффициенты (для кварца к=(0,7- 0,9)10-6м, С=0,9).

В световоде существует три окна прозрачности: первое окно прозрачности на длине волны 0,85 мкм, второе окно прозрачности на длине волны 1,3 мкм и третье окно прозрачности на длине волны 1,55 мкм. Наименьшее затухание имеется в третьем окне прозрачности.

**Затухание в оптических кабелях**

Дополнительное затухание, обусловленное кабельными потерями (αк), состоит из суммы, по крайней мере, семи видов парциальных коэффициентов затухания:

αк=,i, (3.32)

где

α’1 – возникает вследствие приложения к ОВ термомеханических воздействий в процессе изготовления кабелей;

α’2 - вследствие температурной зависимости коэффициента преломления материала ОВ;

α’3 - вызывается микроизгибами ОВ;

α’4 – возникает вследствие нарушения прямолинейности ОВ (скрутка);

α’5 – возникает вследствие кручения ОВ относительно его оси (осевые напряжения скручивания);

α’6 – возникает вследствие неравномерности покрытия ОВ;

α’7 – возникает вследствие потерь в защитной оболочке ОВ.

Таким образом, дополнительные потери определяются в основном процессами рассеяния энергии на неоднородностях, возникающих вследствие перечисленных влияний, и частично увеличением потерь на поглощение энергии. Причинами увеличения потерь на поглощение являются остаточные осевые и поперечные напряжения в ОВ, могущие возникнуть при изготовлении кабеля,

В ряде случаев микроизгибы могут существенно влиять на прирост αк. Значение потерь на одном микроизгибе может изменяться в пределах 0,01 – 0,1 дБ. Приращение затухания от микроизгибов α’3 зависит от мелких локальных нарушений прямолинейности ОВ, характеризуемых смещением оси ОВ в поперечных направлениях на участке микроизгиба. Основными причинами появления микроизгибов являются локальные неосесимметричные механические усилия различного происхождения, приложенные к очень малым участкам ОВ. К микроизгибам следует отнести такие поперечные деформации ОВ, для которых максимальное смещение оси ОВ соизмеримо с диаметром сердцевины волокна. Особенностями микроизгибов является то, что они, как правило, многочисленны, расстояние между соседними микроизгибами существенно больше их размера. Общий вклад потерь, создаваемых микроизгибами, может быть значителен. Вследствие микроизгиба происходит ограничение апертурного угла излучения, распространяющегося по ОВ, и часть энергии излучается из ОВ. Зависимость приращения затухания от микроизгибов α’3 можно определить из выражения:

α’3=k3Nну2н, (3.33)

где

k3 – 0,9 – 1,0;

NH – число неоднородностей в виде выпуклостей со средней высотой ун на единицу длины;

a – радиус сердцевины;

b – диаметр оптической оболочки;

 - относительное значение показателя преломления;

n1 иn2 – показатели преломления сердцевины и оболочки;

E0 иEc - модули Юнга оболочки и сердцевины ОВ.

На затухание сростка большое значение имеет **Затухание в местах соединении оптических волокон**

В отличие от традиционных кабелей затухание в сростках ОВ может достигать больших величин, соизмеримых оказывает поперечное смещение и смещение осей. На рис. 3.9 приведены возможные варианты дефектов сопряжения ОВ (радиальное, угловое и осевое смещение).

а) б) в)

Рис. 3.9. Радиальное(а), угловое (б), и осевое (в) смещение оптических волокон

При радиальном смещении дополнительные потери определяются из формулы:

Aδ=10lg, дБ, (3.34)

где

d – диаметр сердцевины ОВ;

δ – радиальное смещение ОВ;

При угловом смещении дополнительные потери определяются из формулы:

Aθ=10lg, дБ, (3.35)

где

θА – апертурный угол волокна;

θ – угловое смещение ОВ.

Для перерасчета числовой апертуры NA в апертурной угол θА приходится находить значения arcsin(NA). Найти значение arcsin x можно путем разложения в ряды:

arcsin x=x+ .

При осевом смещении дополнительные потери определяются из формулы:

As=10lg, дБ,

где

θА – апертурный угол волокна;

d – диаметр сердцевины ОВ;

S – осевое смещение ОВ.

Приведенные выражения достаточно хорошо согласуются с экспериментальными, если значения δ,θ и S достаточно малы (δ/d≤1, S/d≤1, θ<100). Наиболее жесткие требования предъявляются при радиальном и угловом смещении. Наличие зазора между торцами волокон существенно меньше влияет на потери.

**Решение задач**

*Задача 8.* *Определить на сколько изменятся собственные потери в оптическом волокне, если передача сигналов будет осуществляться не в третьем, а в первом окне прозрачности. Параметры оптического волокна: n2=1,490, =0,01, tg=10-11.*

**Решение.**

Для решения этой задачи воспользуемся формулами (3.8), (3.9), (3.29) и методическими указаниями. Предварительно определим значение коэффициента преломления n1. Для этого воспользуемся формулой (3.3):

n1=.

Потери энергии на поглощение при работе на длине волны 1,55 мкм (третье окно прозрачности) определим из выражения (3.8):

 дБ/км.

Потери энергии на поглощение при работе на длине волны 0,85 мкм (первое окно прозрачности) будут равны соответственно:

 дБ/км.

Потери энергии на рассеяние при работе в третьем окне прозрачности определим из выражения (3.9):

 дБ/км.

Потери энергии на рассеяние при работе на длине волны 0,85 мкм (первое окно прозрачности) будут равны соответственно:

 дБ/км.

Собственные потери в третьем окне прозрачности находим из выражения (3.29):

αc=αп+αр= 0,26+0,14= 0,4 дБ/км.

Собственные потери в первом окне прозрачности будут равны соответственно:

αc=αп+αр= 0,48+1,53= 2,01 дБ/км.

Следовательно, при изменении передачи сигналов из третьего окна прозрачности в первое собственные потери возрастут на 1,61 дБ/км.

**Ответ:  дБ**/км.

*Задача 9.* *Определить, какое дополнительное затухание следует ожидать в кварцевом оптическом волокне, если по нему хотят передать сигналы с длинами волн 2, 2,5 и 3 мкм.*

**Решение.**

Для решения этой задачи воспользуемся формулой (3.31), оценивающей потери в кварцевых волоконных световодах в инфракрасной области спектра. Исходя из методических указаний, для дальнейших расчетов выберем следующие коэффициенты: C=0,9 и k=0,8۰10-6 м.

При передаче сигнала на длине волны 2 мкм следует ожидать дополнительное затухание в инфракрасной области области спектра величиной:

 дБ/км.

При передаче сигнала на длине волны 2,5 мкм следует ожидать дополнительное затухание в инфракрасной области спектра величиной:

 дБ/км.

При передаче сигнала на длине волны 3 мкм следует ожидать дополнительное затухание в инфракрасной области спектра величиной:

 дБ/км.

**Ответ: =**0,603 дБ/км, **=**0,654 дБ/км, **=**0,689 дБ/км.

*Задача 10.* *Определить, какое дополнительное затухание следует ожидать в кварцевом оптическом волокне, если при изготовлении кабеля ОКК – 50 – 01 – 4 возникли дополнительные микроизгибы. Параметры оптического волокна и микроизгибов: Δ=0,0053, NH=100, yH=0,0025мм, E0=6,9·108, Eс=6,2·1010.*

**Решение.**

Для решения этой задачи определим конструктивные параметры оптического волокна, используемого в данном кабеле. Из  находим, что в кабеле типа ОКК – 50 – 01 - 4 используется градиентное оптическое волокно с диаметром отражающей оболочки = 125 мкм и диаметром сердцевины =50 мкм. Для дальнейшего решения воспользуемся методическими указаниями и формулой (3.33).

α’3=k3Nну2н=0,9۰100۰2,52 дБ/км.

**Ответ:** α’3=0,29 дБ/км.

*Задача 11. При сращивании строительных длин оптического кабеля ОКК – 10 – 01 в одном из волокон произошло радиальное смещение торцов на 1 мкм. Определить возникшие при этом дополнительные потери.*

**Решение.**

Для решения этой задачи воспользуемся формулой (3.34). Предварительно определим из  конструктивные параметры оптического волокна, используемого в кабеле ОКК – 10 – 01. В кабеле типа ОКК – 10 – 01 используется одномодовое оптическое волокно с диаметром отражающей оболочки =125 мкм и диаметром сердцевины =10 мкм.

Дополнительные потери при радиальном смещении на 1 мкм будут равны:

Aδ=10lg=10lg дБ.

**Ответ:** Aδ= 0,46 дБ.

*12. При соединении световодного соединительного шнура в кроссовом оптическом шкафу к линейному оптическому кабелю ОКК – 50 – 01 произошло угловое смещение торцов волокна на 30. Определить возникшие при этом дополнительные потери. Параметры оптического волокна: =0,01; n1=1,505.*

**Решение.**

Для решения этой задачи воспользуемся формулой (3.35). Предварительно определим апертурный угол оптического волокна. Воспользуемся результатами расчета числовой апертуры ОВ в ОКК – 50 – 01 в задаче №5:

NA=sin===0,212.

Найдем апертурный угол, как arcsin(NA):

arcsinx=x+==0,212+рад = 12,30.

Дополнительные потери в месте соединения оптического волокна при угловом смещении на 30 будут равны:

Aθ=10lg= 10lg дБ.

**Ответ:** Aθ=1,21 дБ.

*Задача 13. С течением времени в разъемном соединителе станционного оптического кабеля ОКС – 50 – 01 произошло осевое смещение торцов одного оптического волокна на 25 мкм. Определить возникшие при этом дополнительные потери. Параметры оптического волокна: Δ=0,01; n2=1,49.*

**Решение.**

Для решения этой задачи воспользуемся формулой (3.36). Из  находим, что в кабеле типа ОКС – 50 – 01 используется многомодовое оптическое волокно с диаметром отражающей оболочки d2=125мкм и диаметром сердцевины d1=50 мкм .

Предварительно определим значение коэффициента преломления n1. Для этого воспользуемся формулой (3.3):

n1=.

Следующим этапом определим апертурный угол оптического волокна. Используя описанную ранее методику, найдем значение числовой апертуры в ОВ оптического кабеля типа ОКС – 50 – 01:

NA=sin===0,212.

Найдем апертурный угол, как arcsin(NA):

=arcsin x=x+= =0,212+рад = 12,30.

Дополнительные потери при осевом смещении торцов оптического волокна на 25мкм будут равны:

As=10lg=10lg=0,24 дБ.

**Ответ:** As=0,24 дБ.

**Задачи для самостоятельного решения**

*Задача 1. Определить, на сколько изменяться собственные потери в оптическом волокне, если передача сигналов будет осуществляться не в третьем, а во втором окне прозрачности. Параметры оптического волокна: n2=1,495,.*

*Задача 2. Определить, какое дополнительное затухание следует ожидать в оптических волокнах оптического кабеля типа ОКЛС-01, если по нему хотя передать сигналы с длинами волн 1,8, 2,3 и 2,9 мкм.*

*Задача 3. Определить, какое дополнительное затухание следует ожидать в кварцевом оптическом волокне, если при изготовлении кабеля ОК-50-2-3-8 возникли дополнительные микроизгибы. Параметры оптического волокна и микроизгибов:  *

*Задача 4. При сращивании строительных длин оптического кабеля ОК-50-2-3-8 в одном из волокон произошло радиальное смещение торцов на 5 мкм. Определить возникшие при этом дополнительные потери.*

*Задача 5.При соединении световодного соединительного шнура в кроссовом оптическом шкафу к линейному оптическому кабелю ОК-50-2-3-8, произошло угловое смещение торцов волокна на 80 . Определить возникшие при этом дополнительные потери. Параметры оптического волокна .*

*Задача 6. С течением в разъемном соединителе станционного оптического кабеля ОКС-50-01 произошло осевое смещение торцов одного оптического волокна на 15 мкм и угловое смещение торцов волокна на 110 . Определить возникшие при этом дополнительные потери. Параметры оптического волокна .*

**ЛАБОРАТОРНАЯ (ПРАКТИЧЕСКАЯ) РАБОТА № 1**

**Тема:** Оконечные кабельные устройства

1. **Цель работы:** изучить, овладеть, сформировать, научится, закрепить.
2. **Оборудование, приборы, аппаратура, материалы и их:**
3. **Варианты заданий для лабораторной (практической) работы:**

**4. Пояснения к работе**

1. Краткие теоретические сведения

**Нумерация оконечных кабельных устройств**

На городских телефонных сетях принята единая условная нумерация всех оконечных кабельных устройств.

На районированных ГТС нумерация распределительных шкафов начинается с первого номера и последовательно возрастает. Кроме того, каждому шкафу присваивают цифровой индекс районной АТС, куда включен данный шкаф, например, 372-72: три первые цифры указывают номер АТС, куда включен данный шкаф, а две последующие - порядковый номер шкафа. На нерайонированных городских телефонных сетях распределительным шкафам присваивают порядковый номер.

|  |  |
| --- | --- |
| **а** | **б** |

Рис. 1. Нумерация пар в плинте (а) и боксе (б)

В распределительных шкафах принята нумерация отдельно для магистральных и распределительных боксов. Номер магистрального бокса соответствует номеру защитной полосы в кроссе.

На каждом магистральном боксе устанавливают металлическую пластинку с номером защитной полосы в кроссе. Плинты 10Х2 в каждом магистральном боксе нумеруют от 0 до 9, а пары зажимов - от 0 до 99 (рис.10).

Счет распределительных боксов идет последовательно в шкафах ёмкостью 1200Х2 от 0 до 7, 600Х2 от 0 до 3 и 300Х2 - от 0 до 1. На каждом распределительном боксе устанавливают металлическую пластину с обозначением номера сотни: 000, 100 (нулевая сотня, первая сотня и т.д.). Если при первоначальном монтаже какой-либо распределительный бокс не был установлен, его место не занимается и соответствующая ему нумерация также остается свободной.

Нумерация плинтов и распределителительных боксов возрастает, начиная от первого до последнего бокса, т.е. в нулевом боксе от 0 до 9, в первом боксе - от 10 до 19 и т.д. Пары зажимов нумеруют так: в нулевом боксе от 0 до 99, в первом боксе от 100 до 199 и т.д.

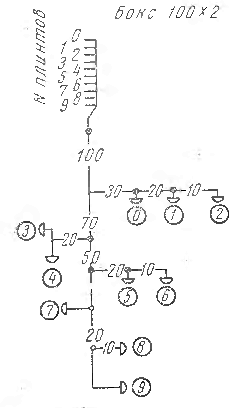


Рис. 2. Схема распайки распределительного кабеля по коробкам.

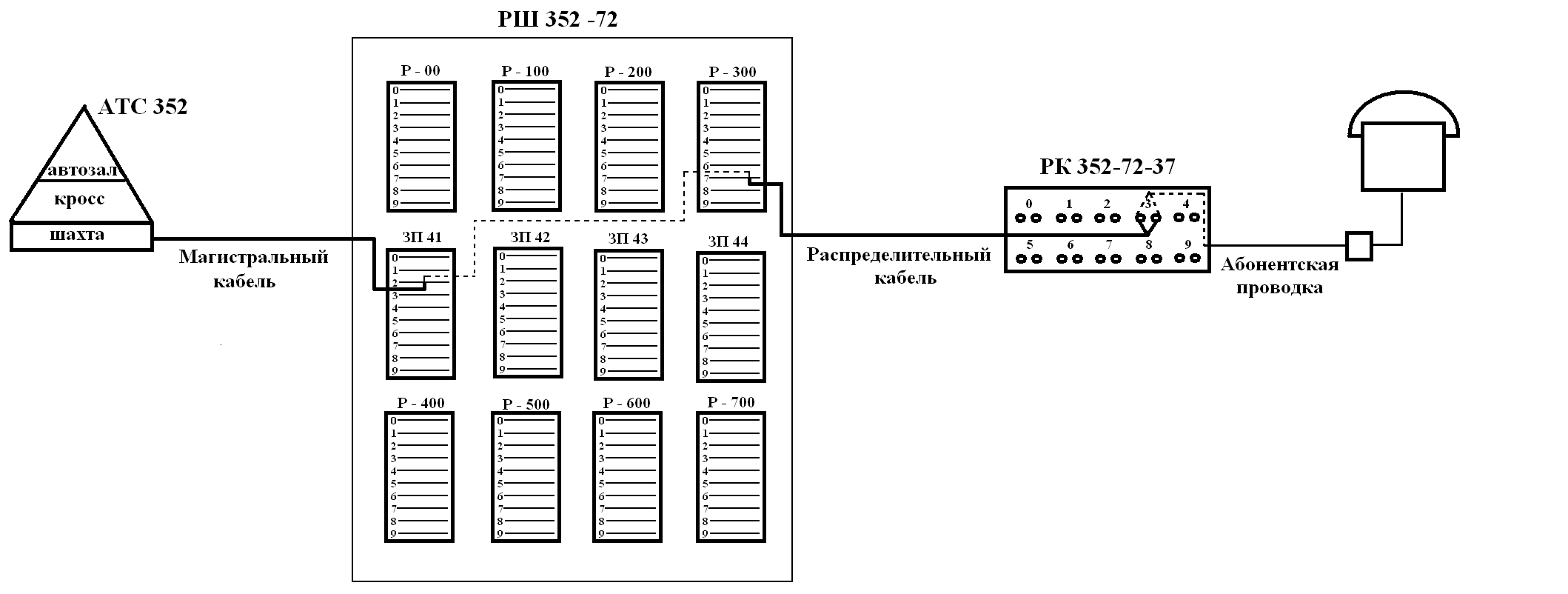
Каждому плинту 10Х2 в распределительном боксе соответствует десятипарная распределительная коробка или кабельный ящик, установленный в домовой сети. Пример распределения кабеля емкостью 100Х2, включенного одним концом в распределительный бокс, а другим в распределительные коробки домовой сети (рис 2). Пары зажимов в десятипарном плинте распределительные коробки нумеруют по горизонтали от 0 до 4 в верхнем и от 5 до 9 в нижнем ряду.

В кабельных ящиках нумерация пар ведется в зависимости от их емкости, например, в ящиках 20Х2 - по горизонтали, начиная с верхнего ряда; пары зажимов этого ряда имеют номера от 0 до 4, а зажимы этого ряда - от 5 до 9 в нижнем ряду. Счет пар в кабельном ящике ёмкостью 10Х2 также ведут сверху вниз, но по вертикале; зажимы, расположенные на левой стороне, имеют номера от 0 до 4, а на правой от 5 до 9.

Место включения пары жил каждой абонентской линии в распределительный бокс обозначают трехзначным числом, где первые две цифры показывают, в каком боксе и плинте включена данная пара, а третья - номер контактных зажимов, например, распределительную пару, обозначенную цифрой 373, надо искать в боксе номер 3 (находящемся на четвертом месте в шкафу), в седьмом плинте и в третьей паре зажимов (считая слева направо от нуля). Эта же абонентская пара на другом конце кабеля находиться в коробке №37 и включена в третью пару зажимов.

После установки распределительной коробки на ее корпус с помощью трафарета наносят номер, показывающий, в какую АТС, какой шкаф, бокс и плинт включена эта коробка. Например номер 352-72-37 означает, что распределительная коробка включена в семьдесят второй АТС 121, в первый бокс, во второй плинт.

Например: 352-72-41-27-373



**Задания к практической работе №1**

**Составить схему абонентской линии по линейным данным по шкафной системе**

1. **145-38-72-29-492**
2. **620-12-93-63-172**
3. **792-63-04-63-528**