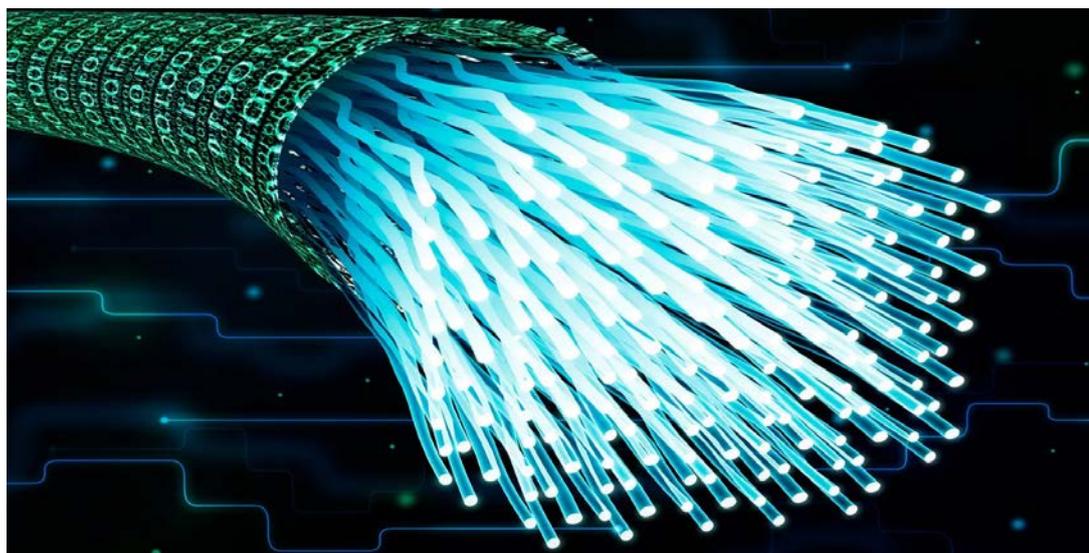


ХАБАРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИЙ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»
СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ (часть 1)

ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Конспект лекций по МДК 01.01 Монтаж и эксплуатация направляющих систем по специальности 11.02.015

«Инфокоммуникационные сети и системы связи»

Хабаровск
2021

М.В.Кузнецова Конспект лекций по МДК 01.01 **Монтаж и эксплуатация направляющих систем** для студентов среднего профессионального образования специальности 11.02.15 «Инфокоммуникационные сети и системы связи»
- г. Хабаровск, ХИИК ФГБОУ ВО СибГУТИ, 2021 г

В учебном пособии рассматриваются классификация линий связи, конструкция электрических и оптических кабелей связи, монтаж кабелей , способы соединения оптических волокон, кабельная телефонная канализация, параметры ВОЛС.

Рецензент – заведующий кафедрой МТСи ОПД
Прокопцев В.О

г. Хабаровск, 2021 г

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Классификация линий связи	4
1.1 Воздушные линии связи	4
2 Кабельные линии связи	6
2.1 Общая конструкция кабеля электрической связи.....	6
2.2 Конструктивные элементы кабеля.....	8
2.3 Маркировка кабелей связи.....	10
2.4 Кабели местных телефонных сетей.....	10
2.4.1 Тип Т.....	10
2.4.2 Тип ТП.....	11
2.5 Кабели СТС типа (КСПП и ППРПМ).....	13
2.6 Междугородные кабели (симметричные и коаксиальные).....	15
2.6.1 Тип МКС.....	15
2.7 Зоновый кабель.....	17
2.7.1 Зоновый кабель (тип ЗКП).....	17
2.7.2 Зоновый кабель (тип ЗКПА).....	17
2.8 Коаксиальные кабели.....	19
2.8.1 Тип КМ – коаксиальный, магистральный.....	19
2.8.2 Тип МКТС	20
2.8.3 Тип ВКПАП	22
2.9 Оптические кабели связи.....	22
3. Монтаж кабелей.....	28
3.1 Испытание кабеля.....	29
3.1.2 Разделка концов для монтажа.....	31
3.1.3 Соединение жил и восстановление изоляции.....	33
3.1.4 Восстановление оболочек.....	35
3.2 Материалы и инструменты применяемые для монтажа кабеля.....	37
3.3 Способы соединения оптических волокон.....	39
3.3.1 Сварка оптических волокон.....	40
3.3.2 Разъёмным соединители.....	42
3.3.3 Оптические разъемы (коннекторы).....	43
3.3.4 Механические соединители.....	44
4 Кабельная телефонная канализация	46
4.1 Типы трубопроводов.....	47
4.2 Смотровые устройства.....	48
5. Параметры волоконно-оптических линий связи.....	52
5.1 Распространение света по волокну.....	52
5.2 Типы оптических волокон.....	56
5.3 Затухание сигнала в волокне. Виды потерь в волокне	60
5.4 Дисперсия и полоса пропускания.....	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	

1 КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Линии связи классифицируются:

По типу:

1. Воздушные линии связи (ВЛС)
2. Кабельные линии связи (КЛС)
3. Радиолinéйные линии связи (РЛС)

По назначению:

1. Местных телефонных сетей (СТС, ГТС)
2. Междугородные линии связи

По виду передаваемых сигналов:

1. Оптические
2. Электрические

1.1 Воздушные линии связи

Воздушные линии связи состоят из проводов, подвешенных на опорах с помощью изоляторов и арматуры.

Конструктивные элементы воздушных линий связи:

Проволока:

Линейная:

- Медная ($d = 5,4; 3,5; 3; 2,5; 2$ мм)
- БСМ – биметаллическая сталемедная БСМ1 ($d = 3$ мм), БСМ2 ($d = 4$ мм)
- БСА – биметаллическая сталеалюминевая $d = 3,4; 5,1$ мм

Стальная:

- оцинкованная ($d = 2 - 5$ мм)
- медистая ($d = 2 - 5$ мм)

ПАБ – провод антенный, бронзовый. Используется при переходе через реки, овраги.

Перевязочная – для крепления линейного провода к изоляторам.

Спаечная проволока – для сращивания проводов.

Арматура воздушных линий связи:

Изоляторы – предназначены для крепления проводов и изоляции линейных проводов относительно друг друга и земли.

Марки изоляторов:

ТФ-12 (-16, -18, -20) – изолятор телефонный, фарфоровый, диаметром 12, 16, 18, 20мм.

ТСМ-12 (-16, -18, -20) – изолятор телефонный, стеклянный, малощелочной, диаметром 12, 16, 18, 20мм.

Крюки – предназначены для крепления изоляторов.

Марки крюков

КН – крюк низкочастотный;

КП – крюк подвесной;

КПД – крюк подвесной для деревянных траверс;

КПС – крюк подвесной для стальных траверс.

Траверсы – позволяют подвешивать большое количество проводов.

Бывают деревянные и стальные.

Штыри – предназначены для крепления изоляторов к траверсам.

Марки штырей

ШТС – штырь телефонный для стальных траверс,

ШТД – штырь телефонный для деревянных траверс.

Накладки – для крепления устройств скрещивания.

Опоры:

1. Деревянные (7,5 - 13 м);

2. Железобетонные ;

3. Железобетонные облегченные:

- с оттяжкой;

- с подпорой.

4. Промежуточные опоры устанавливаются на прямолинейном участке через определенное расстояние.

5. Угловые опоры устанавливаются на поворотах линии:

- с подпорой;
- с оттяжкой.

6. Сложные опоры устанавливаются :

- Анкерные (два столба с двумя подпорами или оттяжками);
- Полуанкерные (состоит из двух столбов);
- Усиленные опоры (противогололедные и противоветровые).

7. Кабельная опора – для соединения ВСЛ с кабельной линией.

Оборудуется: ступенями, кабельной площадкой, заземлением, молниеотводом, ЯКГ (ящик кабельный, городской).

8. Контрольная опора – предназначена для электрических измерений.

2 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ

2.1 Общая конструкция кабеля электрической связи

Кабель – направляющая система, состоящая из изолированных токопроводящих жил, скрученных в группу и помещенных во влагозащитную оболочку.

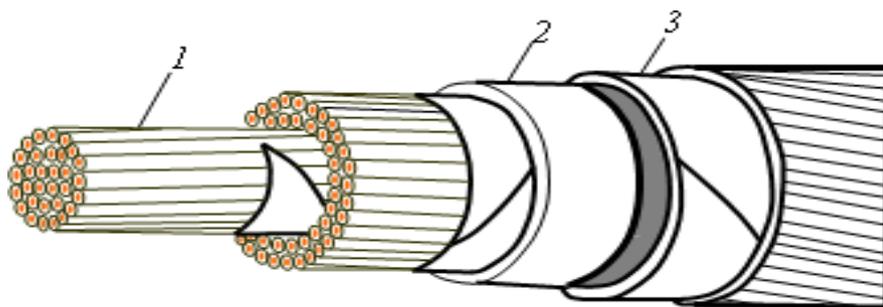


Рисунок 2.1 – общая конструкция кабеля связи

1 – сердечник; 2 – оболочка; 3 – броневой покров

Классификация кабелей связи :

По назначению:

1. Кабели ГТС;
2. Кабели МТС;
3. Кабели СТС.

По диапазону частот:

1. Низкой частоты;
2. Высокой частоты.

По способу прокладки:

1. Подземные;
2. Подводные;
3. Голые (прокладываются в КТК).

По конструкции цепи:

1. Коаксиальные;
2. Симметричные,

Коаксиальный кабель – один проводник расположен внутри другого внутренний проводник сплошной, внешний проводник медная трубка.

Симметричный кабель – жилы одинаковой конструкции расположены симметрично, относительно друг друга.

По материалу жил и способу их скрутки.

По материалу изоляции жил.

По материалу оболочки:

1. Пластиковые;
2. Металлические.

По конструкции бронепокрова:

1. Стальная лента;
2. Круглая проволока.

2.2 Конструктивные элементы кабеля

1. Жилы- выполняют роль направляющей среды передачи.

2. Изоляция жил:

Для симметричных кабелей:

- а. Сплошная полиэтиленовая;
- б. Бумажная;
- в. Кордельно-стерерофлексная.

Для коаксиальных кабелей:

- а. Шайбовая;
- б. Пористый полиэтилен;
- в. Полиэтиленовая болонного типа;

Скрутка жил

г. Парная – две изолированных жилы разной расцветки скручены в пары с шагом скрутки от 70 до 300 мм.

д. Звездная (четверочная) – 4 изолированные жилы, расположенные по углам квадрата, скрученные в четверку с шагом скрутки от 150 до 300 мм.

Изолированные жилы, скрученные в группы, образуют сердечник кабеля.

Виды скруток сердечника:

- Повивная;
- Пучковая.

Повивная – собирается из повивов ($n + 6$), счет ведется с красной жилы по часовой стрелке. В каждом последующем повиве, начиная от центрального будет на 6 групп (пар, четверок) больше.

Пучковая – собирается из пучков ($n + 4$).

3. Сердечник собирается из главных пучков. Элементы пучка состоят из десяти пар или пяти четверок. Главные пучки состоят из 50 пар или из 25 четверок.

Сердечник скрепляется поясной изоляцией.

4. Поясная изоляция - служит для скрепления сердечника и повышения сопротивления изоляции. Бывает:

- Бумажная;
- Полиэтиленовая.

5. Экран – служит для уменьшения внешних электромагнитных влияний (накладывается поверх поясной изоляции). Изготавливается из алюминиевой фольги в виде двух лент. У алюминиевой и свинцовой оболочки экрана нет так как роль экрана выполняет сама оболочка.

6. Экранная проволока – медная, луженая. $D = 0,1 - 0,2$ мм.

Назначение: обеспечивает целостность экрана и служит для прозвонки кабеля.

7. Оболочка – защищает сердечник от попадания влаги и механических повреждений.

- металлическая (стальная, свинцовая, алюминиевая);
- пластмассовая (полихлорвиниловая [цветная], полиэтиленовая [черная];
- металлопластмассовая:

Алпэт – алюминиево-полиэтиленовая;

Сталпэт – стальная полиэтиленовая.

8. Броня – защищает оболочку кабеля от механических повреждений. Состоит из трех слоев.

СЛОИ:

1. Подушка – защищает оболочку от повреждений при наложении брони (бумажная, резиновая, джут).

2. Броня – наносится поверх подушки (круглопроволочная – в реки, стальные ленты – в грунт).

3. Антикоррозийное покрытие (в виде шланга, джута).

2.3 Маркировка кабелей связи.

Т – телефонный НЧ кабель;

П – 1. полиэтиленовая изоляция жил (ТПП);

2. полиэтиленовая оболочка (ТПП).

А – алюминиевая (оболочка МКСА));

З – 1. звездная скрутка (по середине ТЗ);

2. зонный кабель (ЗКПБ).

Шп – шланг полиэтиленовый (МКСАШп);

Б – бронированный стальными лентами (КМБ);

С – кордельно-стирофлексная изоляция жил(МКСА);

Ст – стальная гофрированная оболочка(ТСт);

М – 1. междугородный (для симметричных кабелей МКСА);

2. магистральный (для коаксиальных кабелей КМБ);

3- Малогабаритный (для коаксиальных кабелей МКТА).

К – 1. Кабель (для симметричных кабелей МКСА);

2. Коаксиальный (пишется в начале маркировки КМБ);

3. Круглопроволочная броня (в конце маркировки КМК).

Г – голый (ТГ);

В – 1. Полихлорвиниловая оболочка (в конце маркировки ТПВ);

2. внутризоновый (в начале маркировки ВКП);

Р – распределительный (РК);

Ст (Пт) – стальной тросик.

2.4 Кабели местных телефонных сетей

2.4.1 Тип Т

Жилы медные ($d = 0,4; 0,5; 0,7$);

Бумажная (трубчато-бумажная) изоляция;

Скрутка жил – парная;

Скрутка сердечника – повивная, свыше 100 пар – пучковая;

Поясная изоляция – бумажная (несколько слоев кабельной бумаги);

Оболочка – свинцовая, стальная гофрированная.

Марки кабеля :

ТГ – кабель телефонный, с воздушно-бумажной изоляцией жил, в свинцовой оболочке, голый, используется для прокладки кабеля в КТК.

ТБ – кабель телефонный, с воздушно-бумажной изоляцией жил, в свинцовой оболочке, бронированный стальными лентами, используется для прокладки кабеля в грунт.

ТК – кабель телефонный, с воздушно-бумажной изоляцией жил, в свинцовой оболочке, бронированный круглой проволокой, используется для прокладки кабеля в грунт.

ТСтШп – кабель телефонный, с воздушно-бумажной изоляцией жил, в стальной оболочке со шланговым покрытием, используется для прокладки кабеля в КТК.

ТСтБпШп – кабель телефонный, с воздушно-бумажной изоляцией жил, в стальной оболочке со шланговым покрытием,, бронированный стальными лентами, используется для прокладки кабеля в грунт.

2.4.2 Тип III.

Кабель телефонный с полиэтиленовой изоляцией жил.

Жилы медные ($d = 0,32; 0,4; 0,5; 0,64$);

Изоляция жил сплошная полиэтиленовая;

Скрутка жил – парная или звездная;

Скрутка сердечника – повивная, свыше 100 пар – пучковая;

Поясная изоляция – полиэтиленовая;

Экран из двух лент алюминиевой фольги, экранная проволока;

Оболочка – полиэтиленовая, полихлорвиниловая, стальная гофрированная;

Емкость кабеля – от 10 до 1200 пар;

Марки кабеля:

ТПП – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией жил, в полиэтиленовой оболочке.

ТППБ – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией жил, в полиэтиленовой оболочке, бронированный стальными лентами, для прокладки в грунт.

ТППК – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией жил, в полиэтиленовой оболочке, бронированный круглой проволокой, для прокладки в воде.

ТПВ – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией жил, в полихлорвиниловой оболочке.

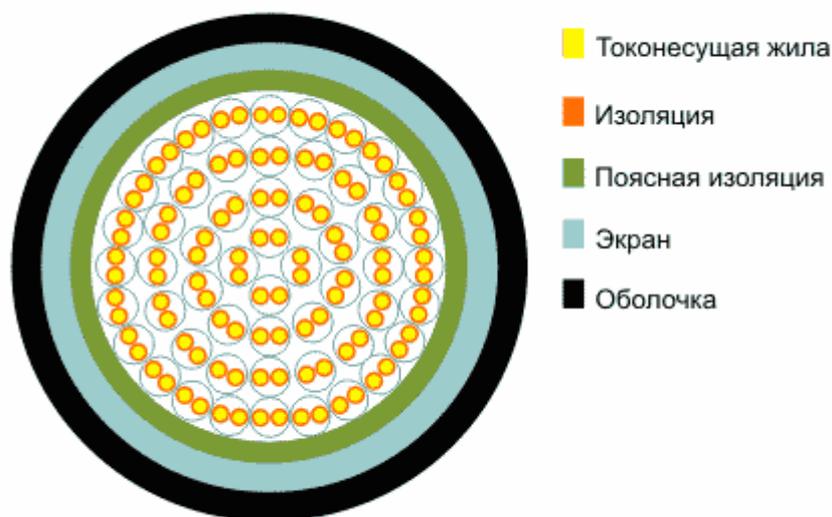
ТПВБ и ТПВК – аналогично.

ТПСтШп – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией жил, в стальной гофрированной оболочке, со шланговым покрытием.

ТПСтБШп – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией жил, в стальной гофрированной оболочке, бронированный стальной лентой, со шланговым покрытием.

ТПСтКШп – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией жил, в стальной гофрированной оболочке, бронированный круглой проволокой, со шланговым покрытием.

Сечение кабеля Т, ТП приведено на рисунке 2.2



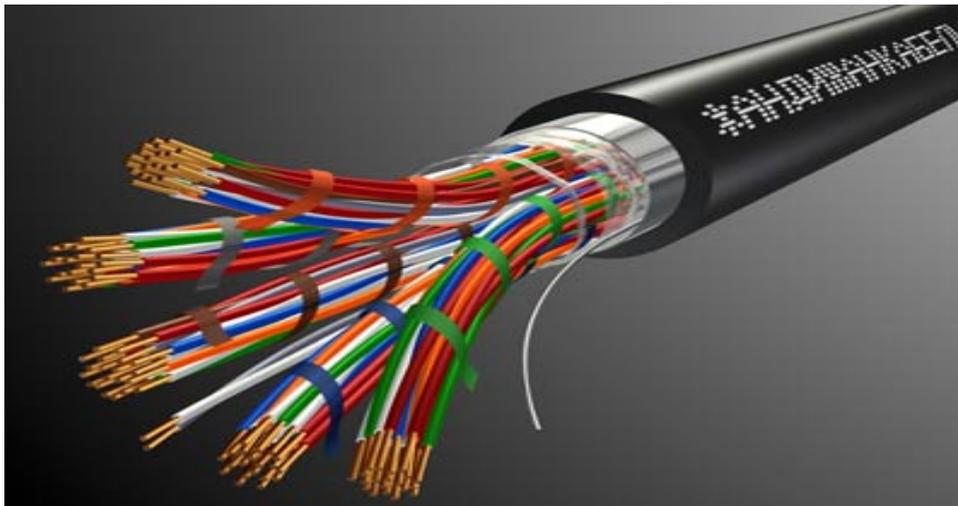


Рисунок 2.2

2.5 Кабели СТС типа (КСПП и ППРПМ).

КСПП – кабель сельской связи, с полиэтиленовой изоляцией жил, в полиэтиленовой оболочке.

Жилы медные ($d = 0,9; 1,2$ мм);

Сплошная полиэтиленовая изоляция жил;

Скрутка жил – звездная;

Емкость кабеля – 1x4; 2x4;

Поясная изоляция – полиэтиленовая (в виде трубки);

Оболочка – полиэтиленовая;

Экран, экранная проволока;

КСППБ – конструкция аналогична кабелю КСПП только добавляется броня из стальных лент под оболочкой.

Сечения кабеля КСПП представлен на рисунке 2.3

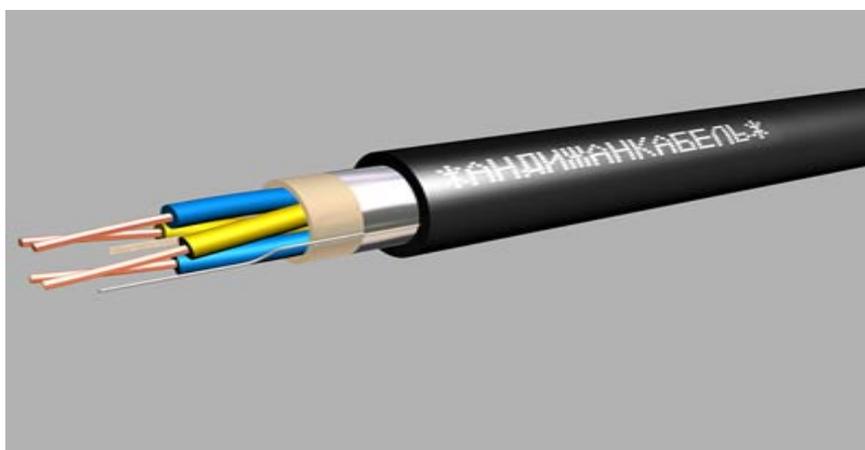
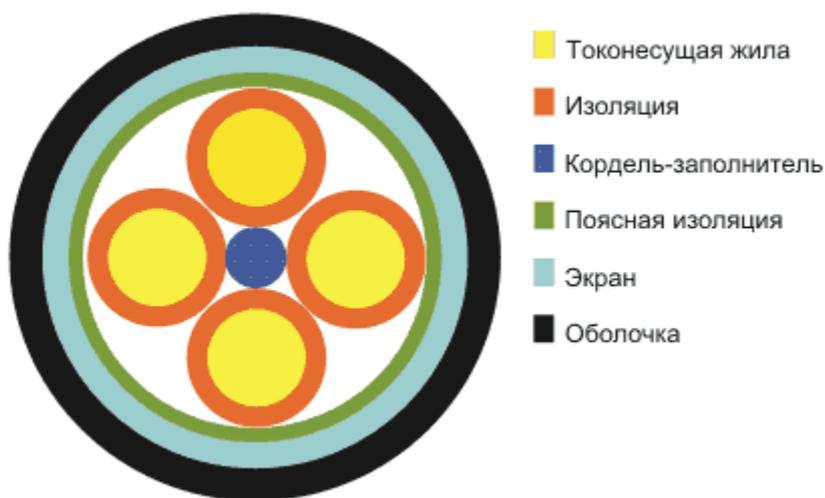


Рисунок 2.3 – Одночетверочный кабель сельской связи КСПП-1×4х 1,2:

ПРППМ – кабель, с полиэтиленовой изоляцией жил, в полиэтиленовой оболочке, жилы медные.

Жилы медные ($d = 0,8; 1; 1,2$ мм);

Жилы алюминиевые ($d = 1,6$ мм);

Емкость кабеля – 1X2

Сечения кабеля ПРППМ представлен на рисунке 2.4

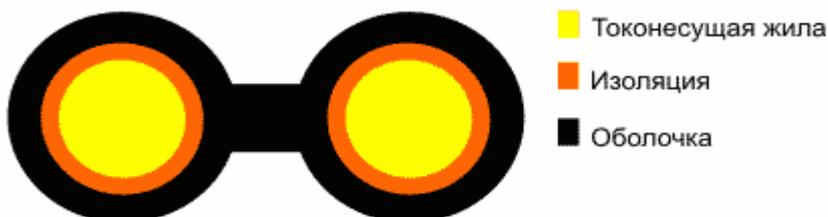
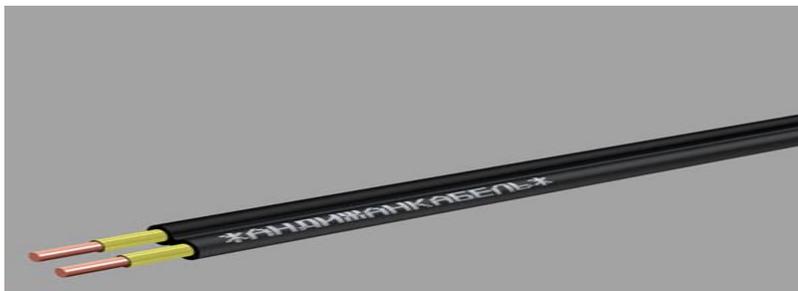


Рисунок 2.5 – Кабель связи телефонный распределительный

2.6 Междугородные кабели (симметричные и коаксиальные)

2.6.1 Тип МКС

МКС – междугородный кабель с кордельно-стерофлексной изоляцией жил, используется на магистральных и зонавых сетях.

Жилы медные ($d = 1,2$ мм);

Кордельно-стирофлексная изоляция (d корделя = 0,8 мм);

Скрутка жил – звездная;

Емкость кабеля – 1х4; 4х4; 7х4, каждая четверка охвачена хлопчатобумажной цветной ниткой. Для конца А: счет четверок ведется по часовой стрелке, (1 – красная, 2 – зеленая, 3 – синяя, 4 – желтая). Для конца Б – счет ведется против часовой стрелки с теми же цветами.

Поясная изоляция – несколько слоев кабельной бумаги;

Оболочка – свинцовая, алюминиевая, стальная гофрированная с экраном

Маркировка кабелей в свинцовой оболочке:

МКСГ – междугородный кабель с кордельно-стирофлексной изоляцией жил, в свинцовой оболочке, голый.

МКСБ – междугородный кабель с кордельно-стирофлексной изоляцией жил, в свинцовой оболочке, бронированный стальными лентами.

МКСК – междугородный кабель с кордельно-стирофлексной изоляцией жил, в свинцовой оболочке, бронированный круглой проволокой.

Маркировка кабелей в алюминиевой оболочке:

МКСАШп – междугородный кабель с кордельно-стирофлексной изоляцией жил, в алюминиевой оболочке, со шланговым покрытием.

МКСАБШп – междугородный кабель с кордельно-стирофлексной изоляцией жил, в алюминиевой оболочке, бронированный стальными лентами, со шланговым покрытием.

МКСАКШп – междугородный кабель с кордельно-стирофлексной изоляцией жил, в алюминиевой оболочке, бронированный круглой проволокой, со шланговым покрытием.

Сечения кабеля представлен на рисунке 2.6

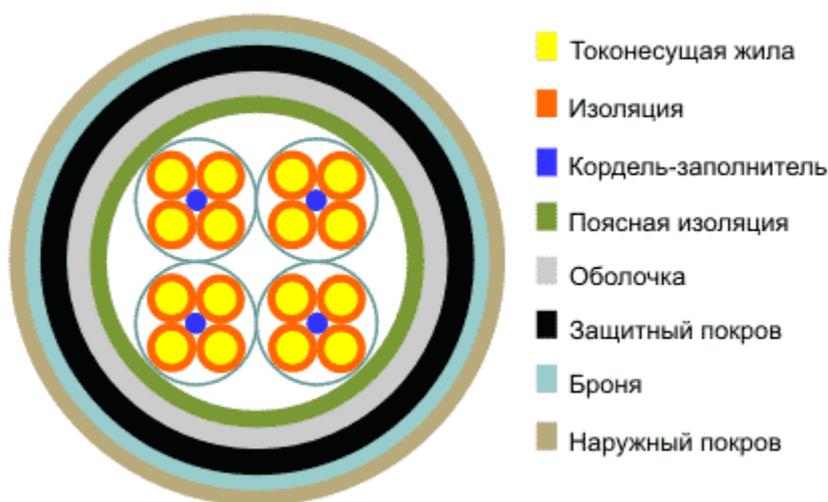


Рисунок 2.6– Сечение кабеля МКСАБШп-4x4:

2.7 Зоновый кабель

2.7.1 Зоновый кабель (тип ЗКП)

Жилы медные ($d = 1,2$ мм);

Сплошная полиэтиленовая изоляция жил;

Скрутка жил – звездная, в центре четверки находится полиэтиленовый кордель;

Поясная изоляция – полиэтиленовая;

Оболочка – полиэтиленовая, полихлорвиниловая;

Экран, экранная проволока;

Маркикабеля:

ЗКП(В) – зоновый кабель с полиэтиленовой изоляцией жил в полиэтиленовой (полихлорвиниловой) оболочке, голый прокладывается в кабельную телефонную канализацию (КТК).

ЗКП(В)Б – зоновый кабель с полиэтиленовой изоляцией жил в полиэтиленовой (полихлорвиниловой) оболочке, бронированный стальными лентами прокладывается в грунт.

ЗКПК – зоновый кабель с полиэтиленовой изоляцией жил в полиэтиленовой (полихлорвиниловой) оболочке, бронированный круглой проволокой прокладывается через водные преграды.

2.7.2 Зоновый кабель (тип ЗКПА).

Жилы медные ($d = 1,2$ мм);

Сплошная полиэтиленовая изоляция жил;

Скрутка жил – звездная, в центре четверки находится полиэтиленовый кордель;

Поясная изоляция – полиэтиленовая;

Оболочка – алюминиевая;

Экран отсутствует.

Марки кабеля:

ЗКПАШп - зонный кабель с полиэтиленовой изоляцией жил в алюминиевой оболочке голый со шланговым покрытием прокладывается в КТК

ЗКПАБШп - зонный кабель с полиэтиленовой изоляцией жил в алюминиевой оболочке бронированный стальными лентами со шланговым покрытием прокладывается в грунт.

ЗКПАКШп - зонный кабель с полиэтиленовой изоляцией жил в алюминиевой оболочке бронированный круглой проволокой со шланговым покрытием прокладывается через водные преграды.

Сечение кабеля представлено на рисунке 2.7

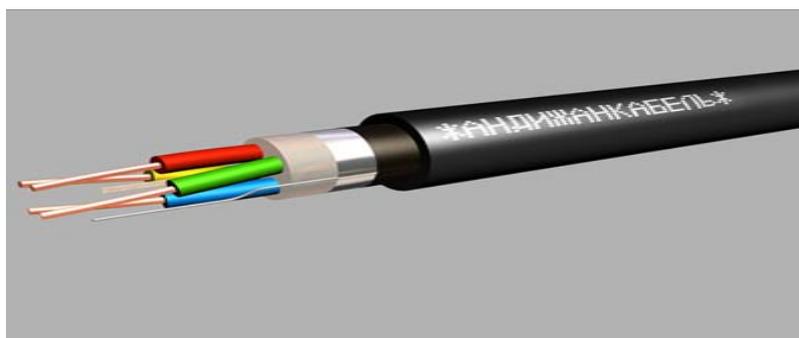
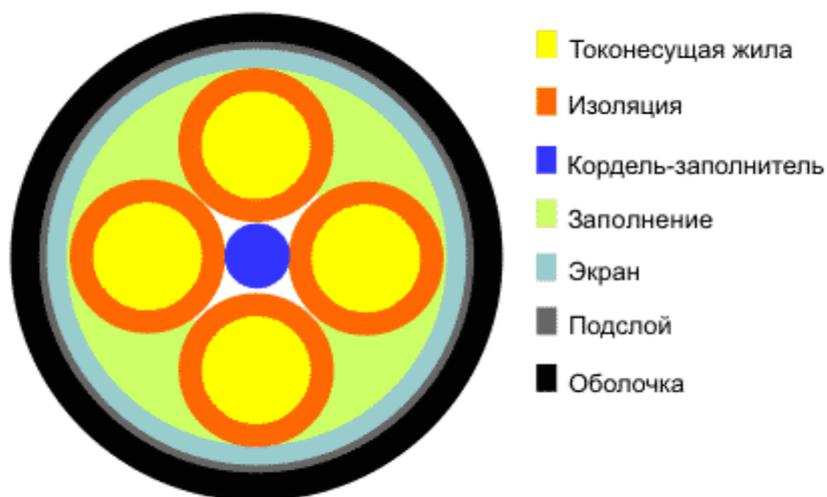


Рисунок 2.7 – Зонный кабель ЗКП-1×4:

2.8 Коаксиальные кабели.

2.8.1 Тип КМ – коаксиальный, магистральный.

Содержит 4 коаксиальные пары ($d = 2,6/9,4$ мм) и 5 симметричных четверок.

Конструкция коаксиальной пары:

Внутренний проводник медный, сплошной ($d = 2,6$ мм);

Внешний проводник – медная трубка с продольным швом ($d = 9,4$ мм);

Изоляция внутреннего проводника от внешнего – полиэтиленовая, шайбовая.

Каждая коаксиальная пара экранирована двумя стальными лентами и изолирована двумя бумажными лентами.

Назначение – организация многоканальной телефонной связи, телевидение.

Конструкция симметричных четверок:

Жилы медные, $d = 0,9$ мм.

Изоляция жил – кордельно-бумажная, сплошная полиэтиленовая.

Каждая четверка охвачена цветной ниткой, по цвету ведется счет четверок: 1 – желтая, 2 – красная, 3 – синяя, 4 – Белая, 5 – Коричневая/Черная. У первой четверки жилы эмалированные, по ней передаются сигналы телеконтроля и телесигнализации. Остальные четверки – для организации служебной связи.

Счет коаксиальных пар ведется в зависимости от номера четверки. 1 коаксиальная пара(К.П) находится – между красной и синей четверкой. 2 к.п. – между коричневой и белой. 3 к.п. – между синей и белой. 4 к.п. – между красной и коричневой.

Сердечник скреплен поясной изоляцией (несколько слоев кабельной бумаги)

Поверх поясной изоляции – свинцовая или алюминиевая оболочка.

Марки кабеля:

КМАШп – коаксиальный магистральный в алюминиевой оболочке со шланговым покрытием прокладывается в КТК.

КМАБШп - коаксиальный магистральный в алюминиевой оболочке бронированный стальными лентами со шланговым покрытием прокладывается в грунт.

КМАКШп - коаксиальный магистральный в алюминиевой оболочке бронированный круглой проволокой со шланговым покрытием прокладывается через водные преграды.

Сечение кабеля КМ представлено на рисунке 2.8

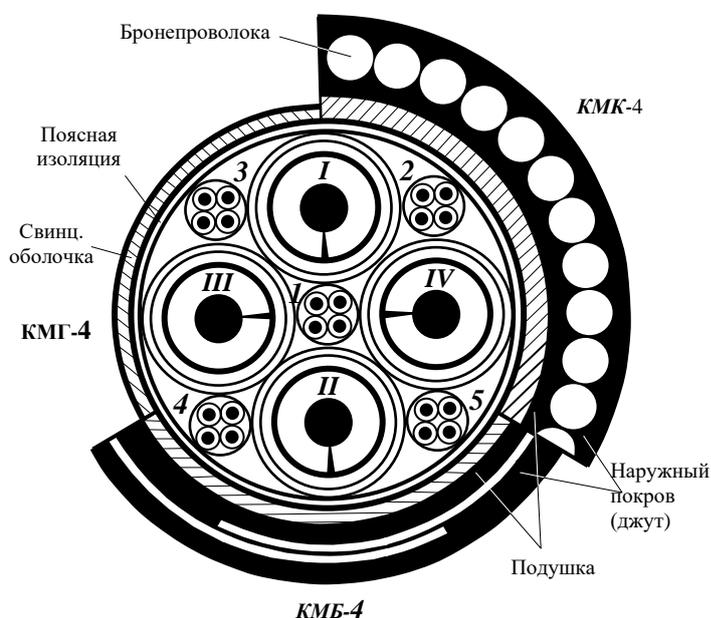


Рисунок 2.8 – Коаксиальный кабель КМ-4. расцветка со стороны четверок (со стороны А):

1 – желтая; 2 – красная; 3 – синяя; 4 – белая; 5 - коричневая

2.8.2 Тип МКТС.

Содержит 4 коаксиальные пары размером 1,2; 4,6; 5 симметричных пар и одну контрольную жилу.

Конструкция коаксиальной пары:

Внутренний проводник – медный, $d = 1,2$ мм;

Внешний проводник – медная трубка с продольным швом.

Изоляция внутреннего проводника от внешнего – полиэтиленовая.

Каждая коаксиальная пара экранирована двумя стальными лентами и изолирована двумя полиэтиленовыми лентами.

Назначение – для организации многоканальной телефонной связи

Конструкция симметричных пар:

Жилы медные, $d = 0,7$ мм.

Изоляция жил – сплошная полиэтиленовая.

Счет пар: 1 – красная пара, 2 – зеленая, остальные – синие (по кругу).

Служат для организации служебной связи.

Конструкция контрольной жилы:

Жила медная, $d = 0,5$ мм.

Изоляция – полиэтиленовая, пористая.

Поясная изоляция – несколько слоев кабельной бумаги.

Оболочка – свинцовая или алюминиевая.

Маркировка кабелей для свинцовой оболочки:

МКТСГ - малогабаритный, коаксиальный, телефонный, в свинцовой оболочке голый, прокладывается в КТК.

МКТСБ - малогабаритный, коаксиальный, телефонный, в свинцовой оболочке бронированный стальными лентами, прокладывается в грунт.

МКТСК - малогабаритный, коаксиальный, телефонный, в свинцовой оболочке бронированный круглой проволокой, прокладывается через водные преграды.

Маркировка кабелей для алюминиевой оболочки:

МКТАШп - малогабаритный, коаксиальный, телефонный, в алюминиевой оболочке голый со шланговым покрытием, прокладывается в КТК.

МКТАБШп - малогабаритный, коаксиальный, телефонный, в алюминиевой оболочке бронированный стальными лентами со шланговым покрытием, прокладывается в грунт.

МКТАКШп -малогабаритный, коаксиальный, телефонный, в алюминиевой оболочке бронированный круглой проволокой со шланговым покрытием, прокладывается через водные преграды.

2.8.3 Тип ВКПАП

ВКПАП - внутризональный, коаксиальный (однокоаксиальный), с полиэтиленовой изоляцией жил с алюминиевым внешним проводником в полиэтиленовой оболочке, либо со шланговым покрытием.

Конструкция:

Внутренний – медный, сплошной, $d = 2,1$ мм.

Внешний – алюминиевая трубка, $d = 9,7$ мм.

Изоляция внутреннего проводника от внешнего – полиэтиленовая, сплошная.

2.9 Оптические кабели связи

Волоконно-оптический кабель – группа оптических волокон (ОВ), оформленных в единую конструкцию, отвечающую комплексу оптических и механических требований, а также условиям окружающей среды

Конструкция ОК должна обеспечить:

1. Защиту ОВ от внешних воздействий (механических, климатических и т.д.);
2. Защиту ОВ от обрывов при растяжении;
3. Защиту от статического усталостного разрушения;
4. Защиту ОВ от микроизгибов;
5. Стабильность характеристик ОВ;
6. Простоту и низкую стоимость строительно-монтажных (СМР), эксплуатационных и аварийно-восстановительных работ (АВР).

Основные элементы конструкции ОК:

1. **оптические волокна** – основной конструктивный элемент

оптического кабеля, выполняющий роль направляющей среды передачи.;

2. оптические модули (ОМ) – элемент, который содержит одно или несколько оптических волокон. Выполняет роль защитного элемента. (полимерные трубки для укладки в них ОВ);

Оптический сердечник – формируется из одного или нескольких оптических модулей. Повышает механическую прочность и защищает оптическое волокно от изгибов.

3. упрочняющие силовые элементы - обеспечивают требуемую механическую прочность (стеклопластиковый пруток, арамидные нитки (кевларовые)). (стальные тросы, проволоки, броневые покровы, стеклопрутки, синтетические нити и т.д.);

Силовой элемент может быть:

- центральным – обеспечивает большую гибкость и нагрузку на разрыв.
- на периферии (сбоку) – обеспечивает стойкость кабеля к ударам и растягивающим нагрузкам.

4. гидрофобный наполнитель для защиты от влаги при частичном повреждении ОК (при попадании влаги создает пробку);

5. хлопчатобумажные ленты – для защиты от вибраций (демпфирования);

6. полимерные оболочки (обычно полиэтиленовые) для защиты от влаги;

7. кордели – используются вместо модулей, если не требуется большого количества ОВ;

8. металлические элементы – медные жилы для дистанционного питания аппаратуры, алюминиевые проволоки в стальной броне для уменьшения сопротивления брони.

9. броня – повышает механические свойства и защитные функции оптического кабеля.

В зависимости от условий прокладки ОК делятся:

на станционные (внутриобъектовые) и линейные.

Линейные ОК в зависимости от назначения делятся на городские,

зоновые и магистральные.

В зависимости от условий прокладки линейные ОК делятся:

- для прокладки в канализации и коллекторах;
- для задувки в защитные полимерные трубки (ЗПТ);
- для укладки в грунт;
- для подвески на опорах (самонесущие);
- для навивки на тросы и провода;
- подводные ОК.

В зависимости от *тягового усилия* различают 5 категорий ОК:

- 1) до 2,7 кН (270 кг) – канализация, здания;
- 2) до 4,0 кН (400 кг) – легкий грунт;
- 3) до 7,0 кН (700 кг) – грунт средней категории;
- 4) до 20,0 кН (2 т) – грунт тяжелой категории;
- 5) до 80,0 кН (8 т) – специальные ОК(подводные, шахтные, самонесущие и т.д.).

Максимально допустимое раздавливающее усилие на 1 см длины:

- для стационарных ОК – 50 Н (5 кг);
- для линейных ОК – 1 кН (100 кг).

Типовой диапазон рабочих температур:– 40 ... + 50° С.

Для некоторых типов ОК (например, для встроенных в грозотрос):– 60 ... + 70° С.

Диапазон температур ограничен различием коэффициентов линейного расширения ОВ и ПЗУП. При повышении или понижении температуры возникают изгибы ОВ, что может привести к появлению микротрещин в оболочке ОВ

Срок службы ОК – 25 лет. Он определяется, в первую очередь, временем старения полиэтиленовых элементов конструкции

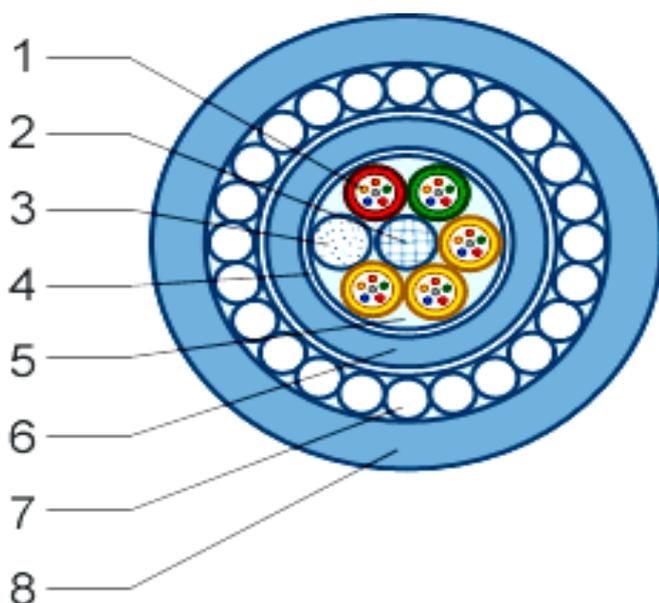
Ведущие производители ОК:

1. «Электропровод» - Москва (1785, с 1990 - ОК);
2. «Эликс-кабель» - Москва, Казань, Пермь (1990);
- 3.«ОФС Связьстрой-1 ВОКК» - Воронеж (1999);

- 4.«Москабель-Фуджикура» - Москва (1999);
- 5.«Оптен» - С.Петербург (1991);
- 6.«Самарская Оптическая Кабельная Компания» (1997);
- 7.«Сарансккабель-Оптика» - Саранск (1998);
- 8.«Севкабель-Оптик» - С.Петербург (1879, с 1990 - ОК);
- 9.«Трансвок» - Московская область (1996).

Классификация оптических кабелей по виду конструкции

Сечение оптического кабеля приведено на рисунке 2.9



1. Оптические волокна;
2. Центральный силовой элемент (стальной пруток или стеклопруток);
3. Кордели (ПЭ);
4. Поясная изоляция (лавсановая лента);
5. Гидрофобный гель;
6. Внутренняя оболочка (ПЭ);
7. Броня (стальные оцинкованные проволоки);
8. Наружная оболочка (ПЭ).

Рисунок 2.9 – оптического кабеля

В настоящее время нет единой системы маркировки ОК, производимых в РФ, т.к. производители являются совместными предприятиями с иностранными

фирмами, каждая из которых имеет свою маркировку. Пример: «Самарская оптическая кабельная компания» («СОКК») – совместное предприятие с фирмой «Corning inc.» (США)

Маркировка ОК «СОКК»:

« NNNN-а-б-в-г/д-е/ж-з/и-к

«а» - конструкция сердечника («01» - модульная конструкция с ЦСЭ из стеклопластика, «02» - то же с ЦСЭ в виде стального троса в полиэтиленовой оболочке);

«б» - число элементов в повиве (модулей и корделей);

«в» - общее количество ОВ в ОК;

«г/д» - диаметры сердцевины и оболочки ОВ в мкм;

«е/ж» - километрическое затухание ОВ на длинах волн 1,31 и 1,55 мкм (в дБ/км);

«з/и» - хроматическая дисперсия ОВ на длинах волн 1,31 и 1,55 мкм (в пс/нм·км);

«к» - допустимая растягивающая нагрузка в кН.

Марки ВОК различных производителей:

ОКБ-М8П-10-022-32

1. ОК – оптический кабель;
2. Б – бронированный круглой проволокой;
3. М8 – количество оптических модулей (8);
4. П – тип центрального силового элемента (П - стекловолоконный прут, Г – стальной тросик);
5. 10 – тип волокна (10 – стандартное волокно G-652, 8 – многомодовое);
6. 022 – рабочее затухание волокна (0,22);
7. 32 – качество оптических модулей.

DAY-012E-004H

1. D – диэлектрический сердечник;
2. A – алюмополиэтиленовая лента;
3. Y – усилен круглопроволочной броней;

4. 012E – 12 стандартных волокон (E – стандарт);
5. 004N – 4 оптических волокна с ненулевой (N) дисперсией;

Сев-ДАС-036Е-06-06-М4

1. Сев – завод изготовитель «Сев-кабель»;
2. Д – тип центрального силового элемента (Д – диэлектрический);
3. А – тип внутренней оболочки (А – алюминиевая);
4. С – тип наружного покрова (С – стальная проволока);
5. 036 – количество оптических волокон;
6. Е – тип волокна (Е – стандартное);
7. 06 – максимальное количество оптических волокон в модуле;
8. 06 – количество модулей;
9. М4 – количество медных жил.

тип ОКС-М8П-10-0,35-32

1. Оптический кабель с полиэтиленовой оболочкой, броня из стальных гофрированных лент;
2. Количество модулей (М8);
3. П – тип центрального силового элемента (стеклопластиковый пруток);
4. 10- тип оптического волокна стандартное одномодовое;
5. 0,35 коэффициент затухания на длине волны $\lambda=1,33\text{мкм}$,
 $a=0,35\text{дБ/км}$; $\lambda=1,55\text{мкм}$, $a = 0,22 \text{ дБ/км}$;
6. 32-количество оптических волн.

тип ОКБА-0,22-6

1. Оптический кабель;
 2. Броня кругло-проволочная;
 3. Алюмополиэтиленовая лента (поверх сердечника)
- Километрическое затухание 0,22 дБ/км
 - 6 оптических волокон

Тип кабеля ОКСН- М8(3.0)П-50-1.0-32/4

Кабель с оболочкой из полиэтилена, не распространяющего горение, с броней из стальной гофрированной ленты, центральный силовой элемент из стеклопластикового прутка, вокруг которого скручено восемь элементов скрутки диаметром 3,0 мм, в том числе 4 служебные жилы и четыре оптических модуля с 32 многомодовыми оптическими волокнами с диаметром сердцевины, коэффициент затухания ОВ до 1 дБ/км на длине волны 1300нм

Тип кабеля ОКЛ-Н-01-6-24-10/125-0,36/0,22-3,5/1,8-1,0

Кабель с оболочкой из полиэтилена, не распространяющего горение и оптический сердечник с ЦСЭ из стеклопластикового стержня, вокруг которого скручено шесть элементов. 24 одномодовых оптических волокна, коэффициент затухания ОВ 0,36 дБ/км на длине 1.31 мкм и дисперсии 3,5 пс/(нм*км), коэффициент затухания ОВ 0,22 дБ/км на длине 1.55 мкм дисперсии 18 пс/(нм*км), допустимое растягивающее усилие кабеля 1,0кН

3. МОНТАЖ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Монтаж кабелей – это место соединения двух строительных длин кабелей

Требования предъявляемые к монтажу кабелей:

- место соединения двух строительных длин должно иметь неменьшую механическую прочность, чем сам кабель;
- при сращивании жил, сопротивление жил не должно увеличиваться;
- при восстановлении изоляции жил, сопротивление жил не должно уменьшаться;
- при восстановлении оболочки кабеля, должна быть обеспечена её полная герметичность;
- сращивание жил выполняется повив с повивом, пучок к пучку, и цвет

в цвет.

3.1 Испытание кабеля

Для проверки качества кабеля и выполненного монтажа производят испытание соединяемых концов. Испытанию подвергаются оболочки, жилы и изоляция, а также парность соединения жил. Оболочку испытывают на герметичность. Перед монтажом испытывается каждая строительная длина, а в процессе монтажа – смонтированные участки длиной около 500 м и после окончания монтажа – вся кабельная линия в целом. Испытанию на герметичность подвергают все освинцованные кабели, магистральные и соединительные. Кабели с полиэтиленовыми оболочками проверяют на герметичность при емкости 100 пар и более.

Герметичность проверяют избыточным давлением. Если строительная длина и смонтированный участок были поставлены под избыточное давление ранее, то необходимо лишь проверить наличие давления воздуха в кабеле. Если избыточного давления воздуха под оболочкой не оказалось, то требуется провести сначала проверку изоляции.

Для накачки воздуха в конец кабеля впаивается автомобильный вентиль или трубка. При пайке вентиля резиновый ниппель вынимают. В кабеле с полиэтиленовой оболочкой воздух подается через колпачок с заделанным в него вентиляем. Для нагнетания воздуха могут быть использованы автомобильный насос в комплекте с осушителем, переносные или стационарные компрессоры или баллоны с жатым воздухом. Воздух, подаваемый под оболочку, должен быть пропущен через камеру с осушителем (хлористый кальций, силикагель). Величина избыточного давления для строительной длины и участков по 500 м установлена в пределах 98÷78 кПа (1 килопаскаль (кПа) = $1,02 \cdot 10^{-2}$ кгс/см²) при времени испытания до 12 ч и в пределах 49÷59 кПа при испытании в пределах 24 ч. Полиэтиленовая оболочка испытывается давлением 29÷49 кПа. Падение давления допускается не более 4,9 кПа. Нагнетать воздух под оболочку можно с одного конца (короткие

участки и строительные длины) или с двух концов (длинные участки). Если обнаружена негерметичность оболочки, отыскивают место утечки воздуха и устраняют негерметичность.

Жилы испытывают *на обрыв* прозвонкой по схеме рис. 3.1а. Для испытания жилы освобождают от оболочки на 8-35 см в зависимости от типа и

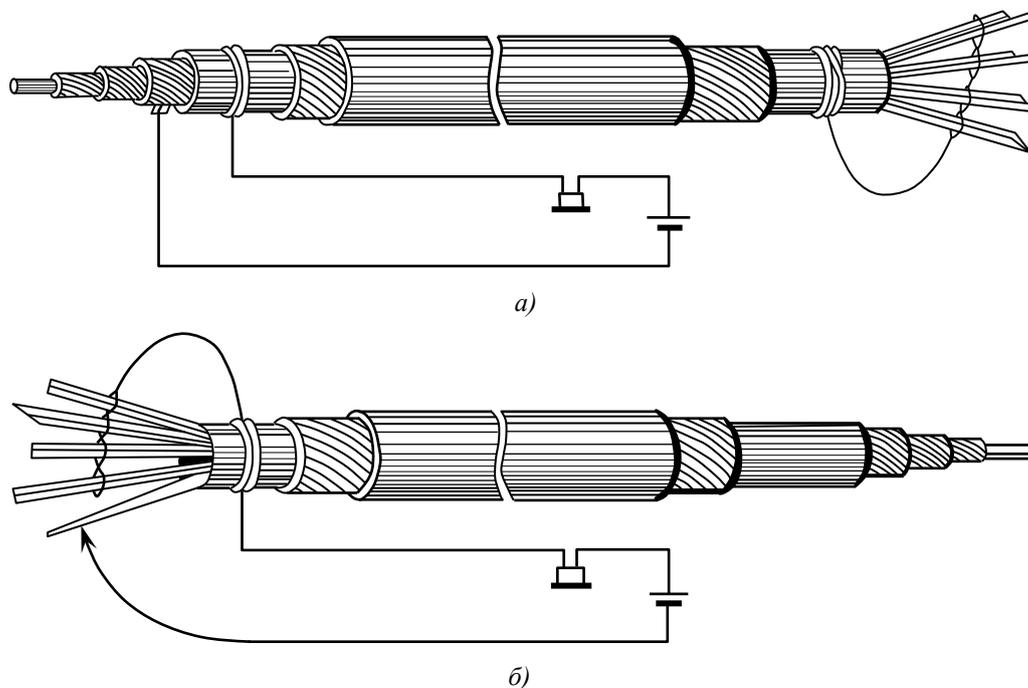


Рисунок 3 - Прозвонка кабеля

а) – на обрыв; б) – на сообщение кабельных жил

емкости кабеля. С одного конца пучок жил крупных кабелей заделывают на пирамиду, при которой все жилы оказываются изолированными друг от друга. В кабелях с небольшим числом пар (10-30) пирамиду можно не делать, следует лишь разделить жилы так, чтобы они не соприкасались друг с другом. С другого конца жилы освобождают от изоляции (2,0 – 2,5 см), разделяют на пучки (10 – 20 пар) и электрически соединяют голый медной проволокой между собой, а также с металлической оболочкой или экраном. В качестве индикатора используют телефон, источником электроэнергии служит батарея из двух трех элементов – 165, 145 (2С) или 68-АМЦ-Х-0,6 (БАС-60).

При отсутствии обрыва (жила исправна) при касании проводником *A* жилы создается замкнутая электрическая цепь и в телефоне будет слышен характерный звук (щелчок). При обрыве цепь окажется разомкнутой, в телефоне звука не будет.

Изоляцию также испытывают прозвонкой по схеме рис. 1б. Различают три разновидности повреждения: *короткое* – нарушение изоляции между жилами одной пары, *сообщение* – нарушение изоляции между жилами разных пар и *земля* – нарушение изоляции между жилой и оболочкой (или экраном). Часто изоляция жил имеет повреждение в различных сочетаниях двух или более видов.

При проверке проводником *A* касаются отделенной ото всех жилы. В случае отсутствия повреждения изоляции цепь окажется разомкнутой, в телефоне звука не будет. Наличие звука указывает на повреждение изоляции. Так по очереди проверяют все жилы.

Жилы с обрывом или с поврежденной изоляцией отбираются, затем уточняется характер их повреждения. Пары с поврежденными жилами и изоляцией регистрируются с указанием повива, номера, и характера повреждения. Поврежденные пары отделяют от общего пучка и перевязывают. В зависимости от их количества и характера повреждений принимают решение о возможности дальнейшего монтажа.

3.1.2 Разделка концов для монтажа.

Концы монтируемых кусков кабеля укладывают по месту расположения и размечают положение муфты. Разметку осуществляют в зависимости от марки кабеля и назначения муфты. Для обычной промежуточной (прямой) спайки разметку делают в соответствии с рис. 2. Размер *a* определяется длиной муфты. Размер *b* берется меньше длины муфты с таким расчетом, чтобы края обреза оболочки находились внутри муфты. Размер *v* составляет 10-15 мм для кабеля ТПП. Оболочку с конца кабеля снимают с длины *z* превышающей длину муфты на 100-300 мм.

Перед тем, как снять оболочку, по обе стороны отметки *a* края муфты

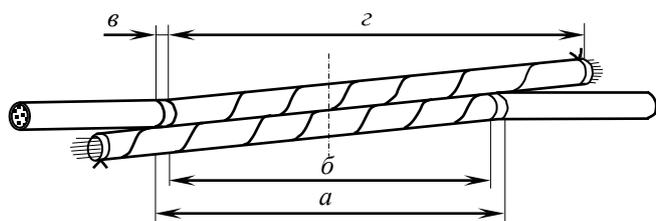


Рисунок – 3.2. Разметка концов кабеля

делается зачистка. Свинцовую оболочку крупных кабелей снимают, как показано на рис. 3.2 Для кабелей емкостью до 100 пар можно снимать оболочку без продольного надреза, соблюдая осторожность, чтобы не

повредить поясную изоляцию и изоляцию жил.

При разделке пластиковых оболочек стягивать оболочку не допускается. Для удаления ее достаточно сделать один или несколько продольных разрезов, причем очень аккуратно, чтобы не повредить экран. Полиэтиленовую оболочку рекомендуется предварительно нагреть паяльной лампой. Поясную изоляцию, ленты экрана и экранную проволоку сохраняют, осторожно скрутив и привязав их к краю оболочки.

В необходимых случаях делают пропитку бумажной изоляции (кабель Т) пропиточной (прошпарочной) массой. Пропитка устраняет гигроскопичность бумаги и закрепляет бумажную ленту. Пропитка допускается в условиях особо повышенной влажности и для укрепления изоляции старых кабелей, жилы которых изолированы так называемым треугольником.

На подготовительные концы надвигают муфту или ее части. Затем пары (четверки) каждого повива разделяют на пучки, плавно отгибают и временно крепят к оболочке. Для

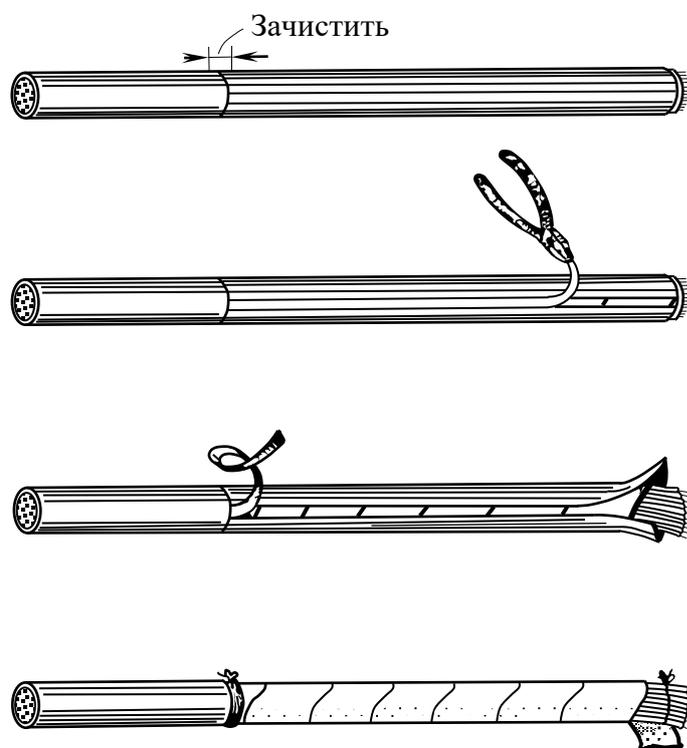


Рисунок – 3. 3Снятие свинцовой оболочки

сохранения пар пучков и повивов

рекомендуется пары на концах скручивать, а пучки и повивы перевязывать.

Разделку концов бронированных кабелей производят в котловане.

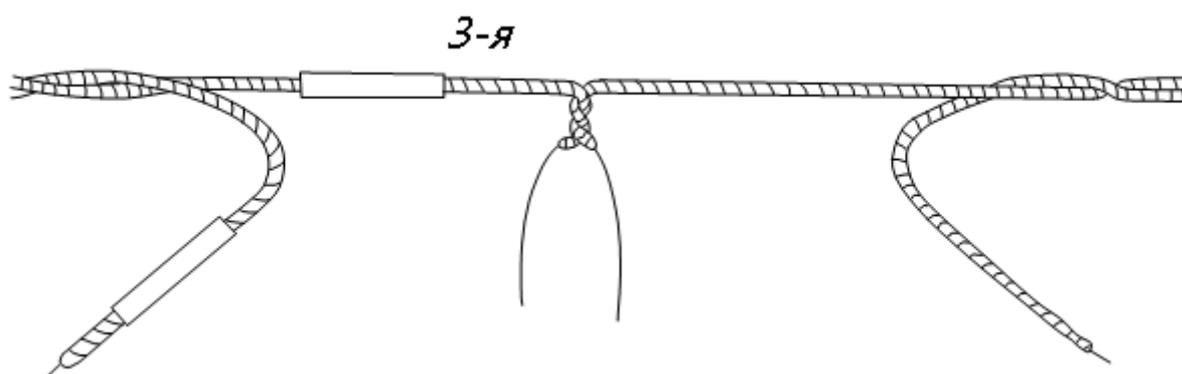
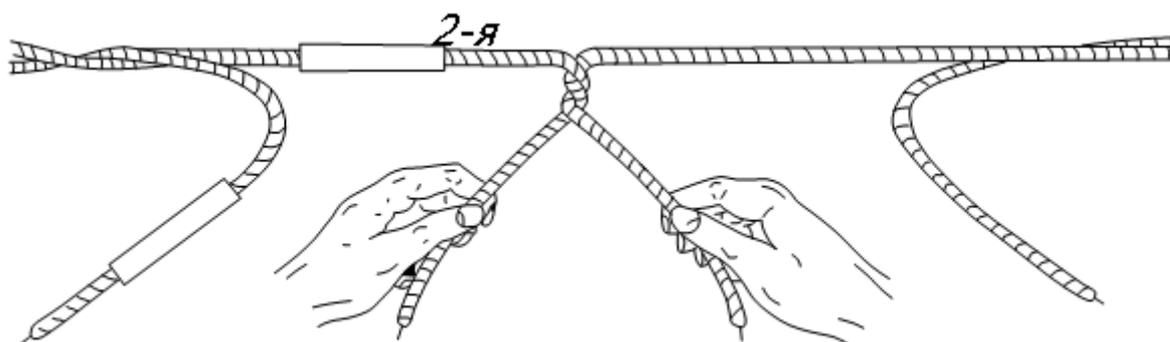
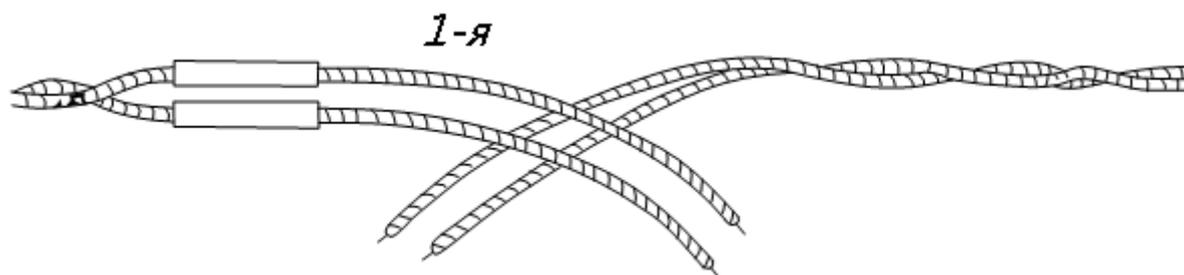
3.1.3 Соединение жил и восстановление изоляции.

Жилы соединяют попарно (или почетверчно) цвет в цвет, кроме случая скрещивания по операторам. Повивы необходимы сохранять. Контрольные пары соединяют с контрольными. Поврежденные пары соединяют в последнюю очередь. Избыточные пары (при неодинаковом числе пар) выводят на поверхность сростка и изолируют. Жилы соединяют скруткой, с захватом двух трех оборотов бумажной изоляции. Последовательность соединения жил изображена на рисунке 3.3 Пайку применяют при скрутке жил разного диаметра, используя припой ПОС-40. Место скрутки изолируют бумажной или полиэтиленовой гильзой соответствующего размера. Пару (четверку) гильз укрепляют или суровой ниткой при бумажно-трубчатой изоляции или групповыми кольцами при кордельной и полиэтиленовой изоляции. Во избежание значительного утолщения сростка пары (четверки) соединяют равномерно по длине его. Каждую последующую пару гильз (или четверку) размещают "уступом" на $\frac{1}{2}$ длины гильзы или рядами.

В строительных трестах рекомендован к применению так называемый парный способ монтажа. Сущность способа заключается в одновременной скрутке обеих жил кабеля. Для парного монтажа необходим определенный навык.

После окончания сращивания всех жил, изолированных бумагой, сросток просушивается горячим воздухом от паяльной лампы или газовой горелки (с использованием металлического кожуха). Пластмассовую изоляцию просушивать не следует, так как она не термостойка и негигроскопична. Затем восстанавливают поясную изоляцию. Сросток обматывают двумя-тремя слоями бумажной или миткалевой ленты (кабели Т, ТЗ) или пластикатовой ленты (кабели ТП). Кроме того, необходимо восстановить электрическую целостность экрана. Для этого сросток обматывают сохраненными экранными

лентами металлизированной бумаги или фольгой. Концы лент металлизированной бумаги соединяют в "замок", чтобы обеспечить электрический контакт. Ленты фольги соединяют кровельным швом. Экранную проволочку соединяют скруткой на длине 15-20 мм.



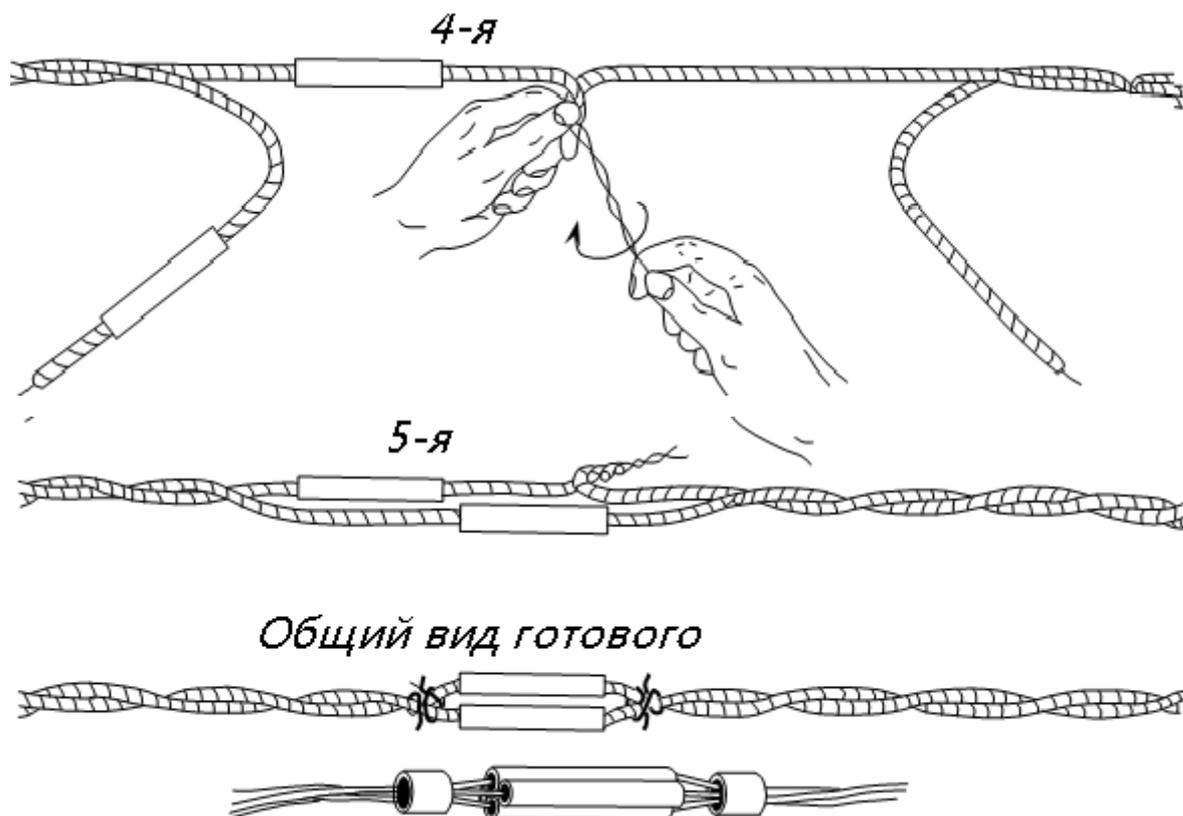


Рисунок 3.3 - Последовательность соединения жил

Соединение жил с кордельно-полистирольной изоляцией производят с особой предосторожностью, так как при нагреве свыше 70°C полистирол "плавает" и спекается.

3.1.4 Восстановление оболочек

Оболочку в месте сращения жил восстанавливают с помощью *муфт*. Муфты по конструкции бывают цельные (одинарные) с одним конусом, разрезные (двойные), состоящие из двух половин, и цельные с двумя конусами и продольным разрезом. Для кабелей ТГ емкостью 10-100 пар применяют одинарные муфты рисунке 3.4, 3.5 Для кабелей ТГ емкостью свыше 100 пар применяют двойные муфты с поперечным разрезом (рис. 3.4). Основные размеры даны в табл. 2. Для кабелей ТБ применяют такие же муфты или с продольным разрезом.

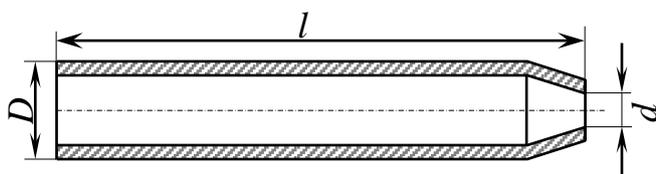


Рисунок –3.4. Цельная
одинарная свинцовая муфта

Для кабелей ТПВ применяют поливинилхлоридные муфты (рис. 3.5, б). Для кабелей ТПП применяют полиэтиленовые муфты (рис. 3.5).

Для кабелей ТЗ и МКС применяют муфты, размеры которых определяются емкостью (количеством четверок). В условия эксплуатации при ремонте муфт иногда применяют цельную муфту с продольным разрезом. Такие муфты могут также применяться при монтаже бронированных кабелей.

Соединяют свинцовую муфту с оболочкой и части муфты между собой пайкой (припой ПОССу-30-2 (30% олова, 68% свинца, 2% сурьмы). В качестве флюса берут стеарин, припой разогревают паяльной лампой или газовой горелкой. Припой ПОС является сплавом олова и свинца. Большинство припоев при температуре свыше 183°С начинают расплавляться и затем переходить в жидкое состояние. Припой ПОССу-61-2 (61% олова) почти не имеет интервала кристаллизации. Это значит, что припой, минуя пластичное состояние переходит из твердого в жидкое и наоборот. Этот припой жидкотекучий и хорошо заполняет все зазоры при пайке. Припой ПОССу-40-2 (40% олова) имеет небольшой интервал кристаллизации и дает качественную пайку меди.

Припой ПОССу-30-2 (30% олова) имеет значительный интервал кристаллизации – около 73°С. Этот припой начинает размягчаться при 183°С, а при 256°С переходит в жидкое состояние (течет). В пластичном состоянии припой имеет мелкозернистую структуру. Он хорошо разглаживается, уплотняется, что дает возможность получить качественную спайку, достаточно плотную и прочную.

Припой с меньшим содержанием дорогостоящего олова (ПОССу-18-2)

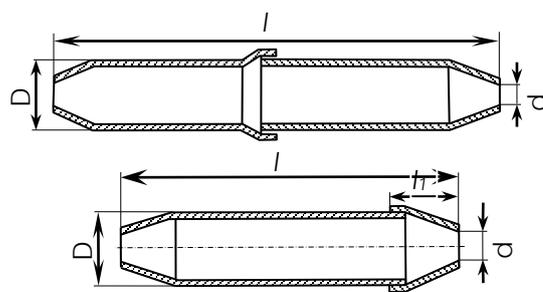


Рисунок – 3.5. Двойная
разрезная муфта: а) свинцовая;
б) поливинилхлоридная

дает крупнозернистую структуру и высокую температуру растекания, близкую к расплавлению свинца. Такой припой для пайки муфт обычно не применяют.

Для лучшего сцепления свинца и припоя поверхности оболочки и муфты должны быть тщательно зачищены, умеренно прогреты, смазаны стеарином и залужены тонким слоем жидкого припоя при температуре, близкой к 260°C. затем производят запайку швов вначале пропитывают на муфте поперечный или продольный шов, а потом запаивают швы между муфтой и оболочкой. Запайку швов формируют в интервале пластичности. Необходимую температуру поддерживают, направляя пламя на припой. Чтобы не загрязнить место пайки, пламя должно быть "чистое" и синего цвета, что означает полное сгорание бензина или газа. При пайке перемещать муфту нельзя. Окончив пайку, ее охлаждают стеарином и осматривают. Поверхность не должна иметь трещин, наплывов, шероховатостей.

Залуживание алюминиевой оболочки производится с помощью цинково-оловянного припоя ЦОП (40% цинка, 60% олова).

Соединение пластиковых муфт и оболочек осуществляют "холодным" или "горячим" способами. "Холодным" способом монтируют кабели внутри сухих помещений. Стык между муфтой и оболочкой распределительных кабелей допускается обматывать липкой лентой, соответствующей материалу оболочки. Для кабелей емкостью 10×2 и 20×2 допускается обмотка сростка липкой лентой без применения муфты и оболочки с помощью клеящих составов, однако склеивание еще не получило распространения. Одной из причин этого является наличие вредных веществ в составе клея (дихлорэтан, циклогексанон, эпоксидные смолы и др.). К "горячим" способам относится сварка вкладышами и под стеклолентой.

3.2 Материалы и инструменты применяемые для монтажа кабеля

Муфты – это место соединения двух строительных жил кабеля.

Муфты Классифицируются:

По материалу : полиэтиленовые/свинцовые;

По конструкции: прямые/цилиндрические/тупиковые;

По назначению:

- прямая (для соединения жил «напрямую»);
- газонепроницаемые (устанавливаются на концах кабельных линий):

ГМС – газонепроницаемая муфта симметричная (состоит из цилиндра; и лаливается эпоксидным компаундом);

ГМСИ - газонепроницаемая муфта симметричная изолирующая(предназначена для ограничения тока протекающего по оболочке кабеля);

ОГКМ – оконечная газонепр-я коаксиальная муфта (устанавливается на стойках) стойка водно-кабельного оборудования (состоит из линейно-штепсельного разъёма);

МКИР – муфта кабельная изолирующая с продольным разрезом (состоит из двух корпусов);

МИСс – муфта изолирующая свинцовая (для симметричных);

МИСк - муфта изолирующая свинцовая (для коаксиальных).

- разветвительные муфты (они же перчаточные) – служат для разветвления кабелей большой ёмкости на несколько кабелей меньшей ёмкости.

- Чугунные муфты – нужны для защиты бронированных кабелей от механических повреждений.

- Симметричные муфты – в них соединение жил происходит по оператору, для уменьшения взаимных влияний между цепями.

- Конденсаторные муфты – для уменьшения взаимных влияний между цепями, отличие в наличии конденсатора.

Припой:

- ПОССу – 30-2 (припой оловянно-свинцовый с использованием сурьмы.

30% олова, 2% сурьмы) для залуживания свинцовой оболочки;

- ПОССу – 40-0,5 (30% олова, 0,5% сурьмы) Для залуживания медных жил

диаметром более 0,7 мм;

- ПОССу – 60-0,5/61-0,5 (для залуживания и запайки коаксиальных пар);
- ЦОП – цинково-оловянный припой (для залуживания алюминиевой оболочки).

Флюсы:

К флюсам относится канифоль (для залуживания медных жил), паста ПМКМ, стеарин (типа парафина) применяется для охлаждения места пайки.

- ПБК – паста безкислотная (для залуживания стальной брони);
- ПМКН – паста морозостойкая кабельная негорючая.

Соединители:

- МСЖ – механические соединительные жимы;
- Гильзы.
- ТУТ – термоусаживаемая трубка ;
- Модули.

Инструменты применяемые для монтажа:

- Паяльная лампа, газовая горелка (исп. для запайки муфт);
- Бокорезы (для удаления п/э изоляции);
- Напильник ;
- Киянка (деревянный молоток) для зачिकанивания конусов свинцовой муфты;
- Ножовка по металлу;
- Кабельный нож;
- Стаканчиковый паяльник (для залуживания медных жил);
- Вилка (оплавление стерофлексной изоляции жил).

3.3 Способы соединения оптических волокон

Все соединители оптических волокон подразделяются на:

- разъёмные;
- не разъёмные. Применяется на стационарных кабельных линиях прокладываемых на длительное время. К ним относится сварка.

3.3.1 Сварка оптических волокон

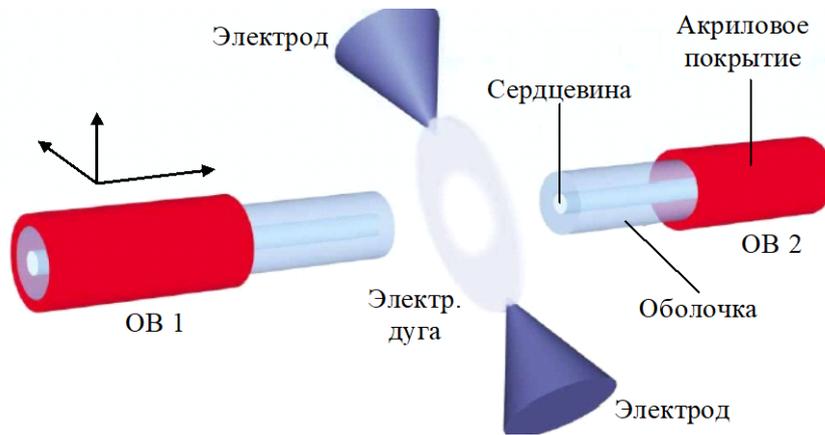
Соединение оптических волокон с помощью сварки является сегодня наиболее распространенным методом получения неразъемных соединений. Благодаря в достаточной мере совершенной технологии этот метод позволяет получать качественные соединения с низкими показателями вносимых потерь (порядка 0,01 до 0,03 Дб/км), что обуславливает его применение на линиях связи, где этот показатель входит в приоритетные - магистральные, зонные и другие - высокоскоростные ВОЛС.

Сваривание оптических волокон предусматривает оплавление концов волоконных световодов путем помещения их в поле мощного источника тепловой энергии, как, например, поле электрического разряда, пламя газовой горелки, зона мощного лазерного излучения. Каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства и недостатки.

Достоинством метода сварки с помощью лазера можно считать возможность получения чистых соединений из-за отсутствия в них сторонних примесей, и, как следствие, достаточно малых вносимых потерь (0,1 дБ и менее). Как правило, в качестве источника лазерного излучения высокой мощности (до 5 Вт) используются газовые лазеры на CO₂.

К достоинствам метода сварки с помощью газовой горелки следует также отнести возможность получения соединений оптических волокон, отличающихся высокой прочностью мест сращивания. В качестве источника пламени используют смесь пропана с кислородом или соединение кислорода, хлора и водорода. Этот метод распространен по большей части для сварки многомодовых оптических волокон.

Основным достоинством сварки в поле электрического разряда является быстрота и технологичность. Этот метод в настоящее время приобрел наибольшую популярность для сварки одномодовых и многомодовых волокон. Принцип сварки представлен на рисунке 3.6



Принцип сварки ОВ

Рисунок 3.6

Процесс сварки заключается в сближении волокон с предварительно подготовленными торцевыми поверхностями на заданное расстояние, юстировке и последующей подаче дугового разряда между электродами.

Последний обеспечивает нагрев волокон в зоне обжига до температуры плавления кварца ($1600^{\circ}\text{C} \dots 2000^{\circ}\text{C}$). Это приводит к возникновению сил поверхностного натяжения, которые уменьшают имеющееся смещение осей срачиваемых ОВ и формируют зону стыка.

При сварке оптических волокон в поле электрического разряда можно выделить следующие технологические этапы:

1. надевание защитной термоусаживаемой гильзы на одно из соединяемых волокон;
2. подготовка концов срачиваемых ОВ (удаление остатков гидрофоба, грязи и снятие акрилового покрытия, протирание с помощью безворсовой салфетки, смоченной спиртом, до характерного скрипа);
3. скол (отклонение от нормали не более чем на 2°);
4. размещение волокон в V-образных канавках юстировочных кареток сварочного аппарата;
5. юстировка;

6. предварительное оплавление торцов оптических волокон (fire cleaning) с целью ликвидации микронеровностей, возникающих в процессе скалывания;
7. непосредственное сваривание оптических волокон;
8. анализ качества полученного соединения;
9. защита зоны стыка с помощью гильзы, размещение в гребенке и укладка запаса ОВ в кассету;
10. окончательная оценка качества сварки с помощью рефлектометра.

Разъёмные соединители используются на мобильных линиях, где часто приходится соединять/разъединять линию.

3.3.2 Разъёмные соединители(метод склеивания).

1. Метод склеивания оптических волокон был разработан практически одновременно с методом сварки. Для получения клеевых соединений используют совмещение и фиксацию оптических волокон: в капилляре, в трубке с прямоугольным сечением, с помощью V-образной канавки и с помощью трех стержней в качестве направляющих. Оптические волокна соединяются поодиночке.

Технология получения таких соединений состоит из следующих этапов:

- подготовка оптических волокон к соединению (очистка, снятие буферных покрытий, скалывание);
- ввод оптического волокна в капилляр;
- наполнение иммерсионной жидкостью, гелем или клеем; – регулирование соединения, юстировка оптических волокон;
- нанесение адгезивного вещества;
- цементирование адгезивного вещества с помощью ультрафиолетового излучения.

Клей, используемый для оптических волокон, должен иметь коэффициент преломления, близкий к коэффициенту преломления волокон. Он должен обеспечивать фиксированное положение соединенных оптических

волокон, защищать место сращивания от воздействий окружающей среды, гарантировать прочность сращения при воздействии нагрузок в осевом направлении. К достоинствам этого метода следует отнести оперативность и отсутствие деформации сердцевин соединяемых оптических волокон. Это способствует тому, что в области стыка - малые потери, обеспечиваются хорошие механические свойства и т.п. Однако ограниченный срок службы и нестабильность во времени, а также весьма высокая чувствительность к повышению температуры и воздействию влажности являются факторами, сдерживающими распространение этого метода получения неразъемных соединений. В настоящее время он уступил свои позиции методу соединения оптических волокон с помощью механических соединителей.

3.3.3 Оптические разъемы (коннекторы).

Для многократного и простого подключения оптических устройств ОВ могут оконцовываться оптическими коннекторами, что представляет собой непростую задачу. Чтобы обеспечить сохранность хрупкого волокна при многократном совмещении, их оконечные отрезки помещают в керамические, пластмассовые или стальные наконечники. Большинство наконечников имеют цилиндрическую форму с диаметром 2,5 мм. Встречаются конические конструкции, а коннекторы LC имеют наконечник диаметром 1,25 мм. Внутри наконечников существует канал, в который вводится и фиксируется химическим или механическим способом очищенное от оболочки ОВ. При удалении защитного покрытия могут использоваться как специальные механические инструменты, так и химически активные растворы. Внутри наконечника волокно может фиксироваться как по всей длине канала (чаще это методы на основе клея), так и в точке ввода волокна в наконечник (механические методы). Процесс механической фиксации занимает гораздо меньше времени (до нескольких минут) и основан на "придавливании" волокна с помощью полимерных материалов. Но он является менее надежным и недолговечным. Химический способ говорит сам за себя. Чаще всего

фиксирующим составом в данной технологии выступают эпоксидные растворы, как наиболее надежные. Однако период полного загустевания такого состава весьма продолжителен - до суток. Поэтому при необходимости более быстрого монтажа коннекторов могут применяться другие компоненты или специальные печи для сушки. Рисунок 3.7

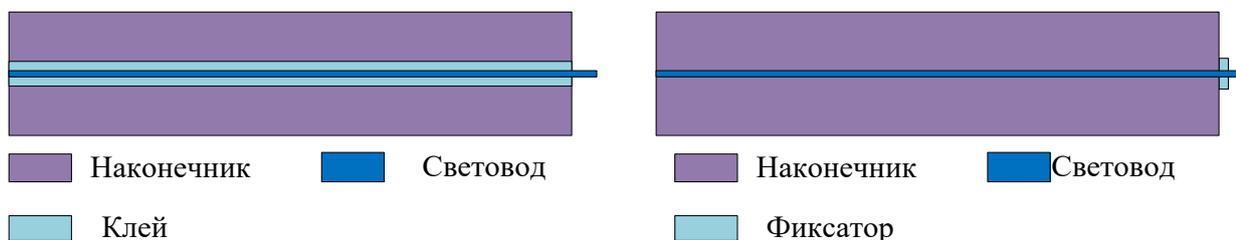


Рисунок 3.7

После установки волокна в коннектор необходимо отшлифовать торец наконечника. Выступающий излишек волокна удаляется специальными инструментами. Основной принцип заключается в надрезе и обламывании световода, после чего можно приступать к непосредственной полировке поверхности.

3.3.4 Механические соединители

Механический соединитель конструктивно представляет собой пластину с концевыми направляющими капиллярами и прецизионной V-образной канавкой между ними, заполненной иммерсионной жидкостью (гелем), показатель преломления которого практически равен показателю преломления кварца, что существенно уменьшает отражение, по сравнению с оптическим разъемом. В V-образные канавки с двух противоположных сторон вводят подготовленные к соединению (снятие акрила, скол) соединяемые ОВ. После касания торцов волокна фиксируют соответствующим прижимным механизмом (пресс, вращение).

Процедура монтажа оптических соединителей является частью процедуры монтажа промежуточного или окончательного устройства - кабельной

муфты, бокса или стойки. Размеры и форма оптических соединителей позволяют устанавливать их в кассету муфты или бокса аналогично срезкам оптических волокон, полученных путем сварки.

Процедура монтажа включает в себя следующие технологические операции:

- разделка кабелей;
- очистка оптических волокон от гидрофобного геля (при его наличии);
- снятие буферных покрытий соединяемых оптических волокон на участках длиной, рекомендуемой производителями оптических соединителей конкретного типа;
- скалывание оптических волокон;
- проверка качества скола волокон;
- введение соединяемых волокон в отверстия с направляющими;
- позиционирование волокон в соединителе для достижения оптимальных параметров соединения;
- фиксация оптических волокон в соединителе;
- тестовые измерения соединения.

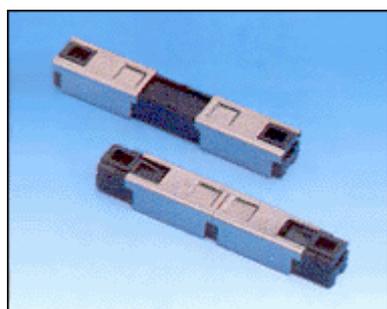
Механические соединители представлены на рисунке 3.8



CamSplice (Corning)



CoreLink (AMP)



LG



Fujikura FMS025

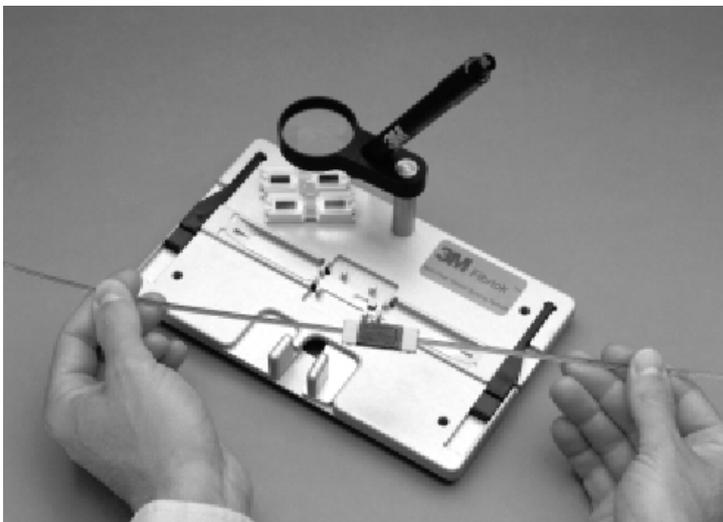


Рисунок 3.8

Применение механических соединителей является наиболее быстрым способом соединения оптических волокон. При этом вносимое затухание практически не отличается от затухания, создаваемого сварным соединением.

Сегодня использование механических соединителей наиболее удобно при проведении аварийного ремонта волоконно-оптических линий для технологической операции организации временной вставки.

Затухание для всех разъёмных линиях составляет от 0,1 до 0,3 Дб/км

4. КАБЕЛЬНАЯ ТЕЛЕФОННАЯ КАНАЛИЗАЦИЯ

Назначение: облегчает выполнять осмотр, затягивание кабелей, монтаж, электрические измерения без вскрытия грунта.

КТК прокладывается в черте города, под пешеходной частью улицы, реже – под проезжей.

Требования:

1. Должна быть механически прочной
2. Долговечной
3. Влагонепроницаемой
4. Дешевой

4.1 Типы трубопроводов

1. Бетонные: длиной 1; 2 метра, одно-, двух-, трехотверстные.

В одно отверстие можно положить три кабеля. Между собой соединяются стык в стык и обмазываются цементом.

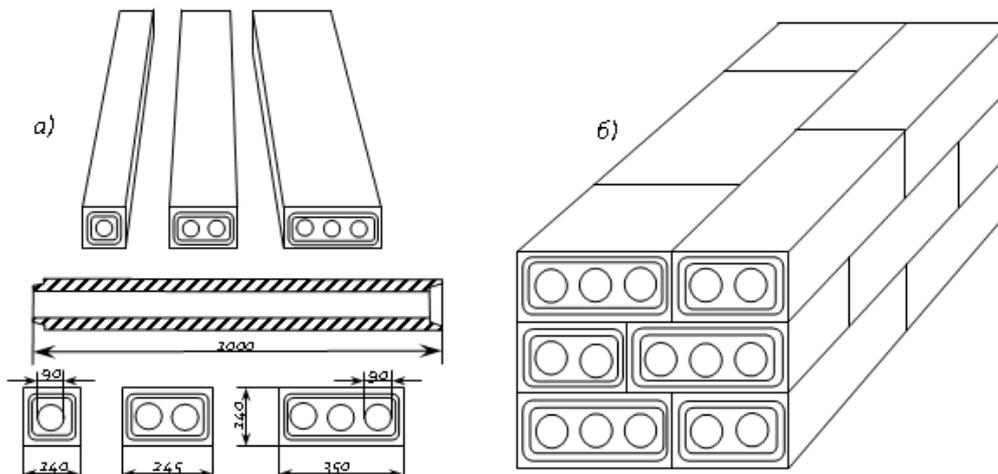


Рисунок 4.1 - Бетонные трубы телефонной канализации

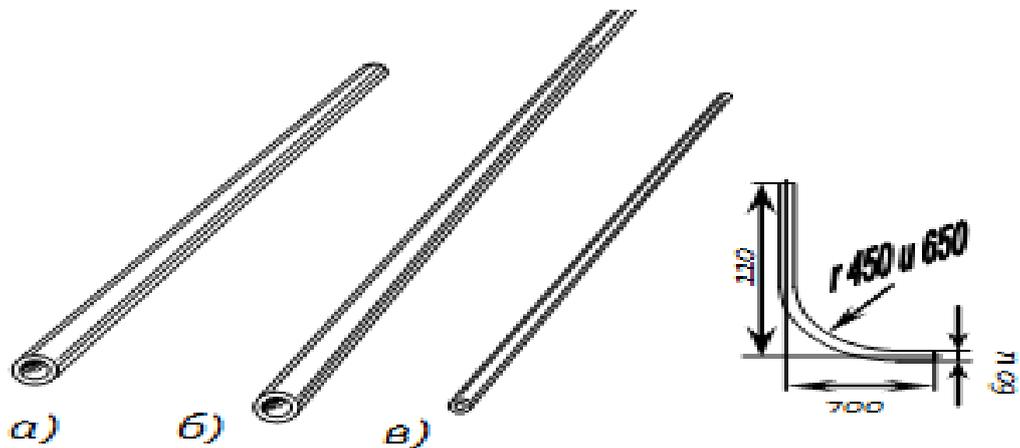
2. Асбестоцементные: длиной 2 – 3 метра, одноотверстные, стыкуются стальным монтажом или полиэтиленовой муфтой.

3. Полиэтиленовые (пластмассовые): одноотверстные.

При $d = 110$ мм, длинна до 6 м;

При $d = 63$ мм, длинна до 200 м.

4. Стальные изогнутые – для ввода кабеля в здания, распределительный шкаф.



а – асбестоцементные

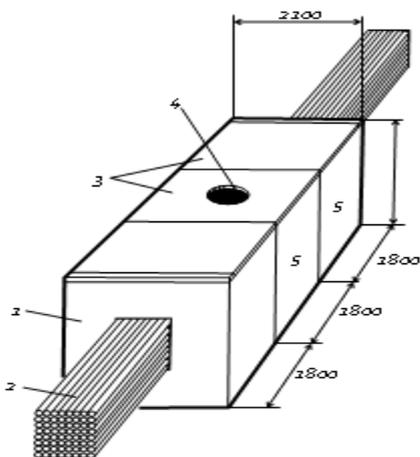
б – полиэтиленовые

в – стальные изогнутые

Рисунок 4.2 - Трубы телефонной канализации

4.2 Смотровые устройства

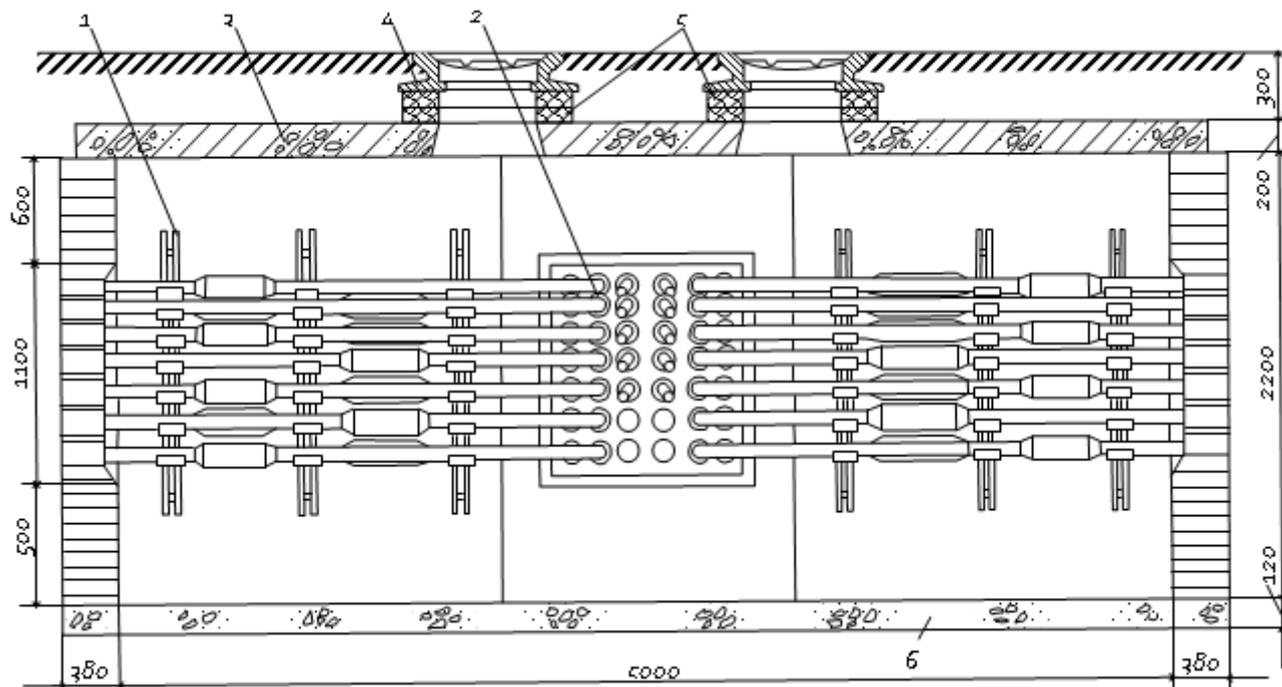
1. Колодца кабельной связи



1 – трубопровод; 2 – торцевая стенка; 3- плиты перекрытия; 4 – отверстия для люка; 5 – стеновые блоки.

Рисунок 4.3 - Колодец для трубопроводов

2. Коллекторы и туннели



1 – кронштейны; 2 – трубопровод; 3 – перекрытие; 4 – люк; 5 – железобетонные подкладочные кольца; б - днище

Рисунок 4.4 - Коллектор на 10000 номеров:

Колодцы кабельной связи классифицируются:

I. По назначению:

1. Промежуточные (проходные) – устанавливаются на прямолинейных участках через определенное расстояние.

2. Угловые колодцы – на поворотах линии.

3. Разветвительный – на разветвлении линии.

4. Станционные – возле станции.

II. По материалу:

1. Железобетонные

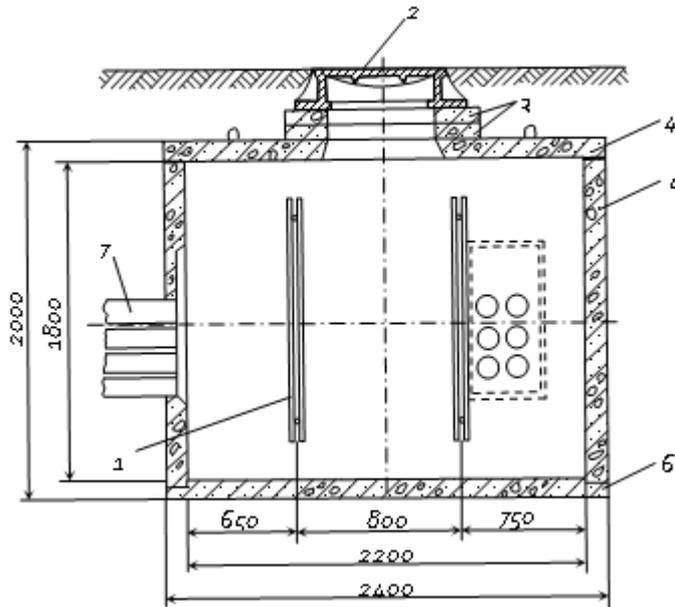
а. Сборные

б. Монолитные

2. Кирпичные (временные)

III. По емкости:

1. ККС-1 – коробка малого типа (на 1 канал)
2. ККС-2 – коробка большого типа (на 2 канала)
3. ККС-3 – колодец малого типа (на 6 каналов)
4. ККС-4 – колодец среднего типа (до 12 каналов)
5. ККС-5 – колодец большого типа (до 24 каналов)



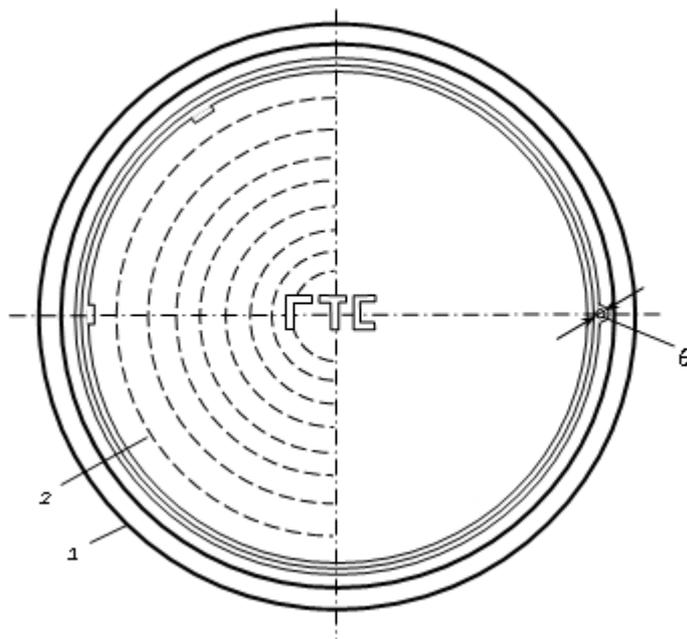
- 1- кронштейны, 2 – люк; 3 – железобетонные кольца; 4 – перекрытия;
5 – стенка; 9 – днище ; 7 – трубопровод

Рисунок 4.5 - Колодец железобетонный типа ККС – 4

Счет в трубопроводе ведется слева направо снизу вверх.

Оборудование смотровых устройств:

1. Люк (легкого типа – 40 кг, тяжелого типа – 60 кг)
2. Стальные кронштейны (для крепления консолей)
3. Консоль – для раскладки кабелей
4. Серьга стальная – ввинчивается на дно колодца для затягивания
кабеля
5. Пробки деревянные (железобетонные) – для закупорки каналов



1 – корпус; 2- верхняя крышка; 3 – нижняя крышка;
 4 – запорное приспособление; 5 – ручка; 6- отверстие для проверки
 загазованности колодца.

Рисунок 4.6 - Люк тяжелого типа

Нумерация смотровых устройств:

Шахты и тоннели – от 1 до 100

Колодцы большого типа – от 101 до 300

Колодцы среднего типа – от 301 до 600

Колодцы малого типа – от 601 до 1200

Коробка большого типа – от 1201 до 7000

Коробка малого типа – от 7001 до 10 000

5. ПАРАМЕТРЫ ВОЛОКОННО ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Преимущества ВОЛС:

I широкая полоса пропускания, $F=10$ ГГц

II малое затухание светового сигнала в волокне

III экономически выгодно (относительно дешёвые материалы + не нужны регенераторы => до 100 км дальность действия)

IV малый вес и объём

V высокая защищённость от несанкционированного доступа

VI взрыво-, пожаро- безопасность

VII длительный срок эксплуатации (25 лет)

Недостатки ВОЛС:

I высокая стоимость интерфейсного оборудования

II очень дорогая сварка

5.1 Распространение света по волокну

Известно, что скорость света v в прозрачном веществе меньше скорости света

$c = 300\,000$ км/с в вакууме. Отношение $c/v = n$ - это есть показатель преломления света в веществе.

Луч света, распространяющийся в среде с показателем преломления n_1 , и падающий на границу со средой, имеющей меньший показатель преломления n_2 , преломится и продолжит своё движение во второй среде (рисунок 5.1, луч 1).

Если угол падения светового луча φ_1 увеличить, то увеличится и угол преломления φ_2 . При $\varphi_2 = 90^\circ$ преломленный луч будет скользить вдоль границы раздела двух сред. Угол падения, при котором это происходит, называется углом полного внутреннего отражения (луч 2 на рисунке 5.1). Если угол падения больше угла полного внутреннего отражения, то световой луч

(луч 3) не заходит в среду с меньшим показателем преломления, а полностью отражается вовнутрь. Именно этот принцип полного внутреннего отражения позволяет оптическим волокнам проводить свет.

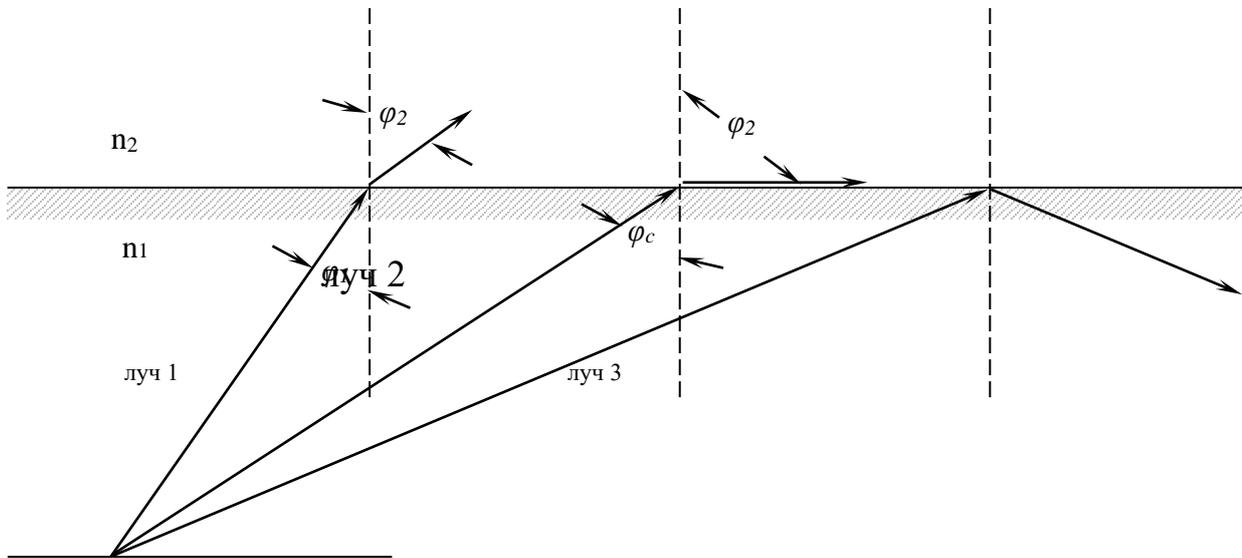


Рисунок 5.1

Волокно состоит из сердцевины (сердечника) и оболочки. Оболочка окружает оптически более плотную сердцевину, являющуюся светонесущей частью волокна.

Показатель преломления сердечника n_1 , а оболочки n_2 , причем всегда $n_1 > n_2$.

Рассмотрим ход лучей света в волокне (рисунок 5.2):

Предположим, что θ_1 – угол падения луча света, а θ_2 – угол преломления этого луча.

Так как $n_1 > n_2$, то существует **критический угол падения** $Q_1 = \theta_c$, при котором угол преломления Q_2 будет равен 90 градусов ($\sin 90 = 1$), при этом свет не будет выходить в оболочку.

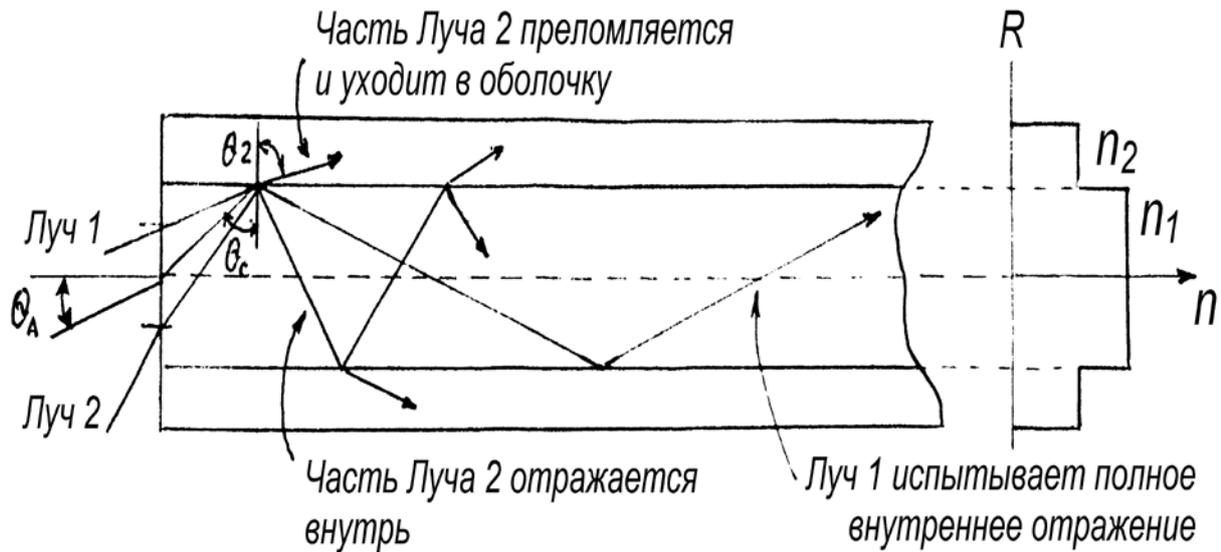


Рисунок 5.2 – Ход лучей света в волокне

Тогда согласно закону Снеллиуса :

$$\frac{\sin Q_1}{\sin Q_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (5.1)$$

$$\theta_c = \arcsin (n_2 / n_1) \quad (5.2)$$

Если угол падения на границе раздела меньше критического угла падения (Луч 2), то при каждом внутреннем отражении часть энергии рассеивается наружу, что приводит к затуханию света.

Необходимо учесть, что свет вводят в торец волокна, При этом на боковую поверхность волокна будет падать луч, преломлённый его торцом. И падать он должен так, чтобы полностью отражаться от боковой поверхности. Возникает вопрос, под каким же углом надо вводить луч в волокно?

Режим полного внутреннего отражения предопределяет условие подачи света на входной торец ОВ, так как ОВ пропускает лишь свет, заключённый в пределах телесного угла θ_A . Этот телесный угол характеризуется апертурой.

Апертура – это угол между оптической осью и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волокна, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения.

Угол ввода светового потока в оптическое волокно должен быть меньше апертурного.

Таким образом, апертура световода – это максимальный возможный угол ввода лучей на торец световода. Обычно пользуются понятием **числовой апертуры**:

$$NA = n_0 \cdot \sin \theta_A. \quad (5.3)$$

Для воздуха $n_0 = 1$. Для волокна со ступенчатым профилем значение числовой апертуры выражается через показатели преломления:

$$NA = \sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (5.4)$$

Для кварца $n_1 \approx 1,47$, $n_2 \approx 1,46$, $NA = 0,17$, $\theta_A \approx 10^\circ$.

Один из важнейших параметров, характеризующий волокно, это – **относительная разность показателей преломления Δ**

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 \quad (5.5)$$

В волоконном световоде могут существовать три типа волн – направляемые, излучаемые и вытекающие. Лучи, траектории которых полностью лежат в оптически более плотной среде, называются **направляемыми**. Энергия направляемых лучей не рассеивается наружу, и такие лучи могут распространяться на большие расстояния. **Излучаемые** волны возникают за счёт лучей, введённых вне апертуры, и уже вначале линии они излучаются в окружающее пространство. **Вытекающие** волны (лучи оболочки) частично распространяются вдоль световода, а часть излучается в окружающее пространство.

В современных волокнах обычно показатель преломления оболочки n_2 меньше n_1 (показателя преломления сердцевины) на 0,36%, то есть:

$$n_2 = n_1 \times (1 - 0.0036)$$

Режим работы ОВ зависит от **нормированной частоты v** , значение которой рассчитывается по формуле:

$$v = \frac{2\pi a_c NA}{\lambda} \quad (5.6)$$

где : a_c - радиус сердцевины ОВ.

В случае, если $v < 2.405$ - то в волокне будет распространяться только одна мода (**одномодовый режим**). С увеличением значения нормированной частоты число распространяющихся мод в ОВ возрастает, т. е, при $v > 2,405$ - **режим многомодовый**.

В случае, если: $2.405 < v < 3,832$ – то в ОВ распространяется 4 моды.

Минимальная длина волны, при которой в волокне распространяется только одна мода, называется волоконной **длиной волны отсечки**, значение которой определяется из выражения как:

$$\lambda_{CF} = 2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / 2,405 \quad (5.7)$$

Если рабочая длина волны меньше длины волны отсечки, то имеет место многомодовый режим распространения света.

5.2 Типы оптических волокон

Некоторые свойства оптического волокна как световода напрямую зависят от диаметра сердцевины. По этому параметру оптоволокно делится на две категории:

многомодовое (MMF) и одномодовое (SMF).

Многомодовые волокна подразделяются на ступенчатые и градиентные.

Одномодовые волокна подразделяются на ступенчатые одномодовые волокна или стандартные волокна (SF), на волокна со смещённой дисперсией (DSF), и на волокна с ненулевой смещённой дисперсией (NZDSF).

Многомодовое оптоволокно.

У этой категории оптоволокон диаметр сердцевины относительно большой по сравнению с длиной волны света, излучаемого передатчиком. Диапазон его значений составляет 50--1000 мкм при используемых длинах волн около 1 мкм. Однако наиболее широкое распространение получили волокна с диаметрами 50 и 62,5 мкм. Передатчики для такого оптоволокон

излучают импульс света в некотором телесном угле, т. е. лучи (моды) входят в сердцевину под разными углами. В результате лучи проходят от источника к приемнику неравные по длине пути и, следовательно, достигают его в разное время. Это приводит к тому, что ширина импульса на выходе оказывается больше, чем на входе. Такое явление называется **межмодовой дисперсией**. В ступенчатом ОВ, более простом для изготовления, коэффициент преломления изменяется ступенчато на границе сердцевины с оболочкой. Ход лучей в таком волокне показан на рисунке 5.3.

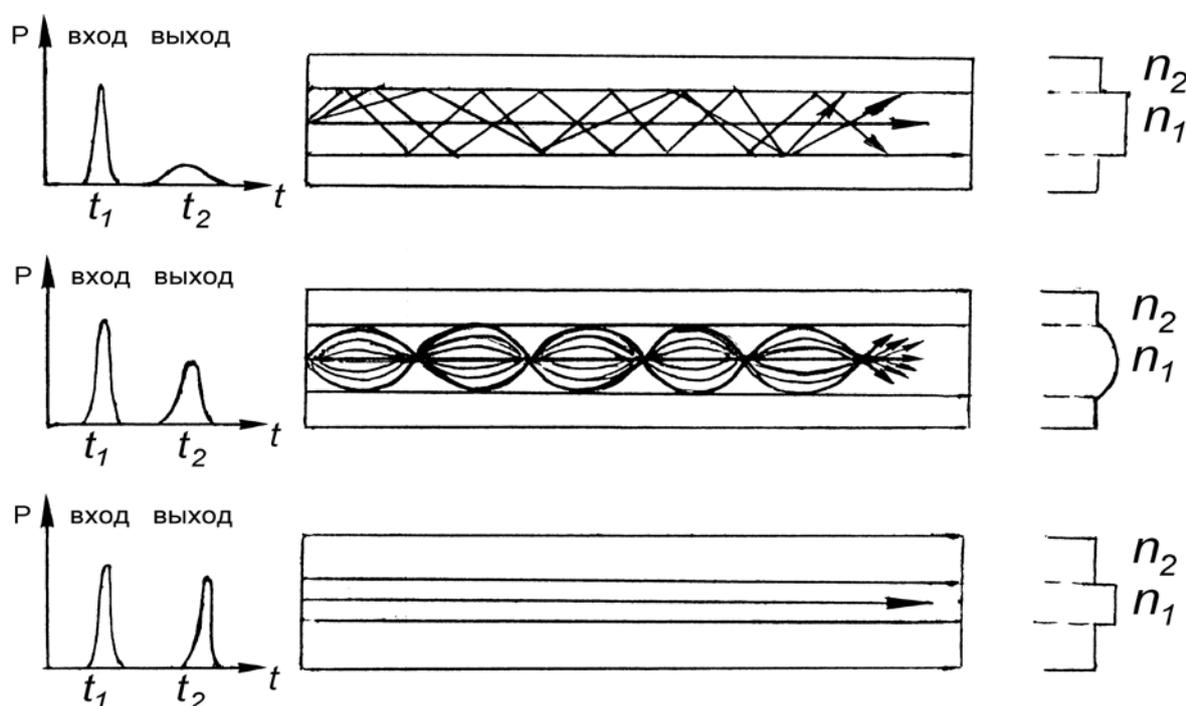


Рисунок 5.3 – Ход лучей света в волокне

В градиентном ОВ коэффициент преломления плавно понижается от центра границы. Лучи света, пути которых проходят в периферийных областях с меньшим коэффициентом преломления, распространяются быстрее, чем те, которые проходят вблизи центра, что в итоге компенсирует разницу в длинах путей. В таком оптоволокне эффект межмодовой дисперсии намного ниже, чем в ступенчатом (рисунок 5.3).

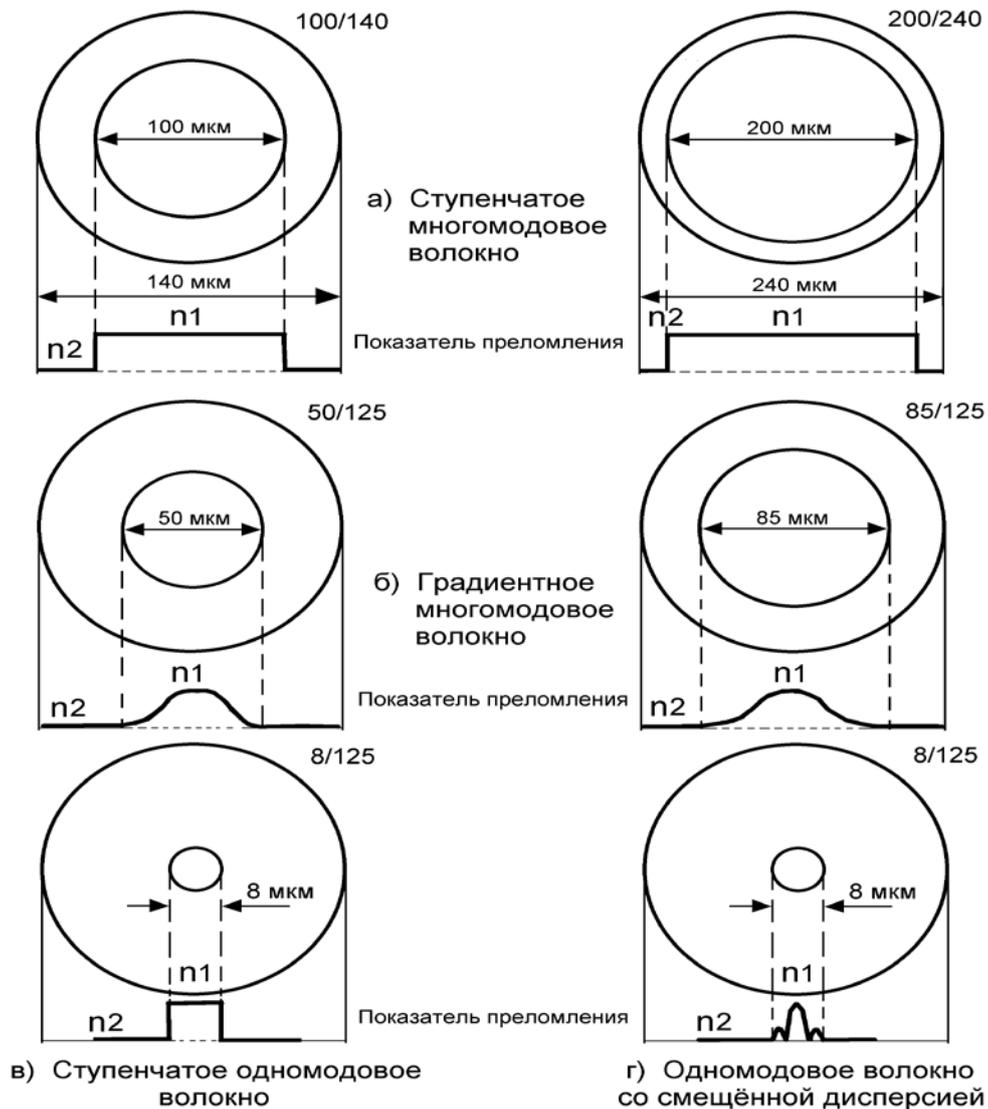


Рисунок 5.4 – Конструкции различных волокон

Уширение сигнала устанавливает предел числу передаваемых в секунду импульсов, которые все еще могут быть безошибочно распознаны на принимающем конце канала. Это, в свою очередь, ограничивает полосу пропускания многомодового волокна.

Очевидно, что величина дисперсии на приемном конце зависит также и от длины кабеля. Поэтому пропускная способность для оптических магистралей определяется на единицу длины. Для оптоволокна со ступенчатым профилем коэффициента преломления она в типичном случае составляет 20-30 МГц на километр (МГц/км), в то время как для градиентных ОВ она находится в диапазоне 100-1000 МГц/км.

Многомодовое оптоволокно может иметь стеклянный стержень и пластиковую оболочку. Такому оптоволокну присущи ступенчатый профиль

коэффициента преломления и полоса пропускания 20-30 МГц/км.

Одномодовое оптоволокно

Основным отличием такого волокна, во многом определяющим его свойства как световода, является диаметр сердцевины. Он составляет всего от 7 до 10 мкм, что уже сравнимо с длиной волны светового сигнала. Малая величина диаметра позволяет сформировать только один луч (моду), что и нашло отражение в названии (рисунок 5.4).

Достоинства многомодовых ОВ по сравнению с одномодовыми:

1) Из-за большого диаметра сердцевины многомодового ОВ снижаются требования к источникам излучения, так как для ввода излучения могут применяться более дешевые и вместе с тем более мощные полупроводниковые лазеры, и даже светодиоды. Для электропитания светодиодов применяют очень простые схемы, что упрощает устройство, и уменьшает стоимость ВОСП.

2) В приемном оптическом модуле могут применяться фотодиоды с большим диаметром фоточувствительной площадки. Такие фотодиоды имеют низкую стоимость.

3) При сращивании многомодовых ОВ требуемая точность совмещения торцов на порядок ниже, чем в случае сращивания одномодовых ОВ.

4) Оптические разъемы для многомодовых ОВ по тем же причинам имеют на порядок менее жесткие требования, чем оптические разъемы для одномодовых ОВ.

Недостатки многомодовых ОВ:

1) В многомодовых ОВ распространяются сотни мод, минимальное затухание имеют центральные моды и моды низких порядков, а с повышением порядка затухание мод увеличивается, в результате затухание многомодовых ОВ больше, чем одномодовых (от 0.6 до 5 дБ на км).

2) В процессе распространения импульсы света расплываются и даже начинают перекрывать друг друга. Такое уширение импульсов называется **дисперсией**.

Дисперсия многомодового ОВ много больше, чем одномодового. **Чем меньше значение дисперсии, тем больше поток информации может быть передан по ОВ.**

Вывод: Повышенное затухание и малая полоса пропускания являются причиной того, что на основе многомодовых ОВ строятся, главным образом, местные, локальные и внутриобъектовые относительно низкоскоростные ВОСП.

Достоинства одномодовых ОВ:

- 1) Малое затухание (от 0,22 до 0,35 дБ/км)
- 2) Небольшая дисперсия, а значит, широкая полоса пропускания.

Вывод: Одномодовые ОВ применяют в подавляющем большинстве современных ВОСП, работающих чаще всего на базе аппаратуры SDH, благодаря чему имеется возможность создавать высокоскоростные высоконадежные магистральные и местные цифровые сети.

Волоконные световоды характеризуются **двумя важнейшим параметрами: затуханием и дисперсией.** Чем меньше затухание (потери), и чем меньше дисперсия распространяемого сигнала в волокне, тем больше расстояние между повторителями (длина регенерационного участка). Кроме того, дисперсия приводит к ограничению полосы передачи по световоду.

5.3 Затухание сигнала в волокне. Виды потерь в волокне

Свет по мере распространения в оптическом волокне постепенно ослабевает. Это явление называется затуханием ОВ.

Затухание светового сигнала определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{10}{l} \cdot \lg \frac{P_{вх}}{P_{вых}}, \text{дБ/км.} \quad (5.7)$$

где: l – длина световода;

$P_{вх}$ - мощность светового сигнала на входе ОВ;

$P_{вых}$ - мощность светового сигнала на выходе ОВ.

Чем выше затухание, тем меньше дальность передачи сигнала по ОВ.

Ослабление сигнала в ОВ $a = a_c + a_k$, обусловлено

собственными потерями a_c и **дополнительными потерями** (кабельными) a_k .

Кабельные потери обусловлены непостоянством размеров поперечных сечений сердцевины ОВ по длине и неровностями границы раздела сердцевина-оболочка, они связаны также с наличием микро и макроизгибов ОВ.

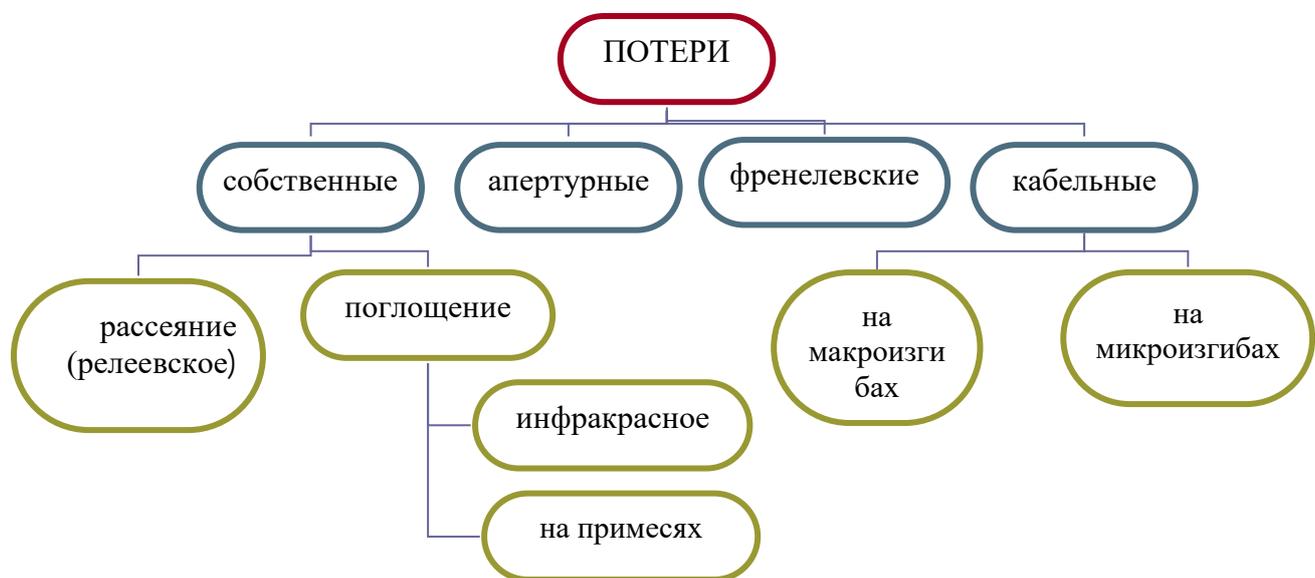


Рисунок 5.5 – Классификация потерь в оптическом волокне

Макроизгибы обусловлены скруткой ОВ вдоль всего оптического кабеля. На изгибе нарушается условие полного внутреннего отражения. Такой луч преломляется и рассеивается в окружающем пространстве (оболочке).

Потери от **микроизгибов** возникают в результате случайных отклонений волокна от его прямолинейного состояния. Размах таких отклонений составляет менее 1 мкм, а протяженность - менее миллиметра. Подобные случайные отклонения могут появляться в процессе наложения защитного покрытия и изготовления из стекловолокон кабеля, в результате температурных расширений и сжатий непосредственно волокна и защитных покрытий.

Собственные потери a_c состоят из трёх составляющих:

$$a_c = a_n + a_{np} + a_p. \quad (5.8)$$

a_n - ослабление за счёт поглощения;

a_{np} - ослабление за счёт наличия в материале ОВ постоянных примесей;

a_p - ослабление за счёт потерь на рассеяние.

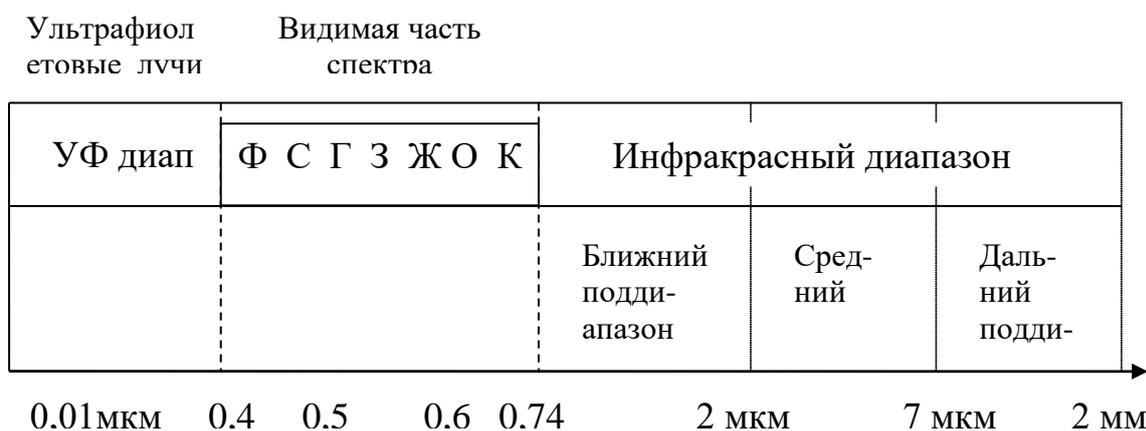


Рисунок 5.6 – Спектр света

Для того, чтобы понять природу потерь на поглощение, надо вспомнить чем представлен спектр света (рисунок 5.6). Спектр света представлен инфракрасными лучами, видимым светом и ультрафиолетовыми лучами. Инфракрасная часть спектра оптического сигнала делится на 3 поддиапазона: ближний, средний и дальний. К среднему относится тепловое излучение, которое создаётся любым нагретым объектом (солнцем, отопительными приборами, теплокровными существами.) В электронике и связи чаще всего используют ближнюю часть инфракрасного диапазона (см. рисунок 5.6)

Как известно, стекло очень сильно поглощает ультрафиолетовые лучи. Потери света в видимом диапазоне меньше, чем в ультрафиолетовом, но ещё достаточно велики, что не позволяет использовать их для передачи по оптическому кабелю. Так называемое ультрафиолетовое поглощение простирается вплоть до длины волны 1,3 мкм, где оно имеет минимальное значение.

На длинах волн меньших 1,3 мкм имеет место *ультрафиолетовое*

поглощение, а на длинах волн, больших 1,3 мкм - *инфракрасное поглощение*, которое с увеличением длины волны растет. При длине волны излучения выше 1,6 мкм обычное кварцевое стекло становится непрозрачным

Таким образом, **минимальное** затухание в ОВ имеет оптический сигнал в диапазоне **0,8 – 1,7 мкм** (в ближнем поддиапазоне инфракрасного диапазона).

Поскольку свет является электромагнитной волной, то механизм поглощения связан с поведением диэлектрика в электрическом поле (диэлектрической поляризацией).

Это означает, что под действием света происходит поворот связанных зарядов молекул стекла относительно центров связи, на что затрачивается энергия световой волны, этим обусловлены потери на поглощение.

Для изменения показателя преломления волокна используются различные легирующие добавки. Некоторые из них, например, бор (B_2O_3) имеют большее естественное поглощение, а некоторые, например, германий (GeO_2) - меньшее. В настоящее время при производстве стекловолокон используют легирующие добавки с низкими потерями на поглощение.

Потеря энергии также существенно возрастает из-за наличия в материале ОВ постоянных **примесей** a_{np} , таких, как ионы металлов Fe, Ni, Cr, V, Cu и других включений.

Более существенной в отношении поглощения примесью является вода, присутствующая в виде ионов OH^- . На содержание ионов OH^- в стекле влияет процесс его изготовления. Примесями вызваны максимумы потерь на длинах волн **0,95 и 1,39 мкм** (рисунок 2.8).

На ранних этапах развития оптических волокон большую часть примесей составляли ионы металлов. Но в настоящее время эти примеси существенно малы в современных высококачественных волокнах, и единственной оставшейся значительной примесью является гидроксильная группа OH .

Рассеяние света в волоконном световоде в основном обусловлено наличием в материале сердечника мельчайших (около одной десятой доли

длины волны) случайных неоднородностей. Эти неоднородности рассеивают свет во всех направлениях (рисунок 5.7). Часть рассеянного света выходит из сердцевины волокна, а часть может отразиться назад к источнику. Согласно закону Рэля с увеличением длины волны потери на рассеяние уменьшаются:

$$\alpha_p = \frac{C}{\lambda^4}$$

Такое рассеяние присутствует в любом волоконном световоде и получило название **Релеевского рассеяния**. Оно обратно четвертой степени длины волны.

Легирующие добавки, которые необходимы для изменения показателя преломления сердечника световода, увеличивают степень неоднородности стекла.

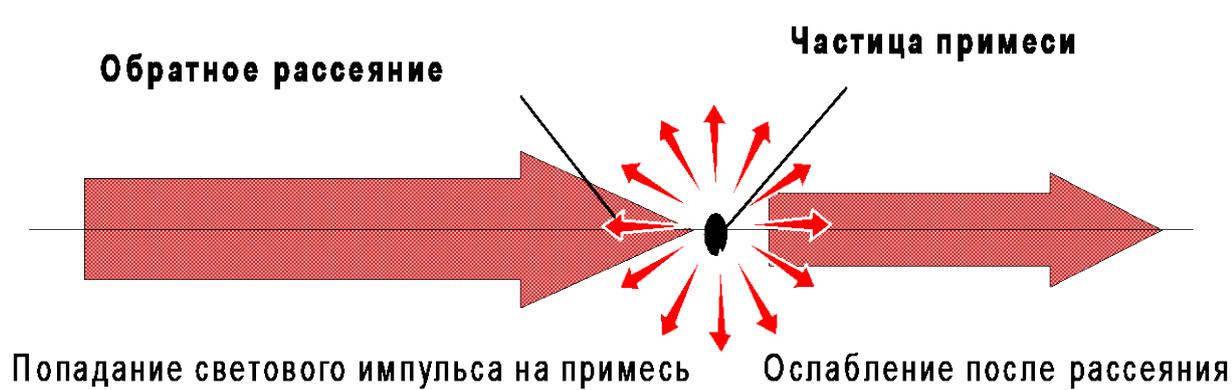


Рисунок 5.7 – Природа Релеевского рассеяния

Наибольший интерес представляет зависимость затухания ОВ от длины волны (рисунок 5.8).

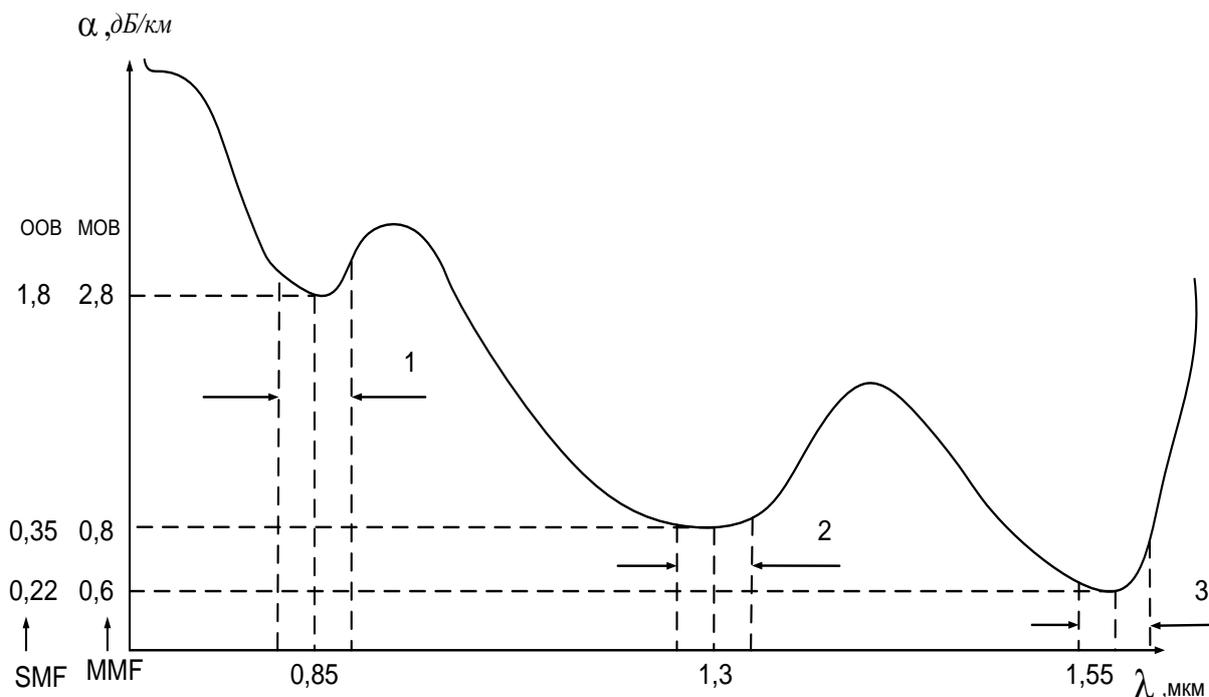


Рисунок 5.8 – Зависимость затухания оптического волокна от длины волны света

На длинах волн 0,95 и 1,39 мкм возникают всплески затухания, которые обусловлены резонансными явлениями в гидроксильных группах ОН («водные пики»).

Между пиками затухания находятся три области с минимальными оптическими потерями, которые получили название **окон прозрачности**. С увеличением номера окна затухание уменьшается.

Так **первое окно** прозрачности наблюдается на длине волны 0,85 мкм. **Второе окно** прозрачности соответствует длине волны 1,3 мкм. **Третье окно** прозрачности наблюдается на длине волны 1,55 мкм, на которой затухание сигнала в ОВ минимально и составляет 0,22 дБ/км. Таким образом, целесообразно, чтобы оптические системы передачи по волоконным световодам работали именно на указанных длинах волн, которые получили название **рабочих**. В настоящее время наибольший интерес вызывают два последних окна прозрачности, которые обеспечивают наименьшее затухание и максимальную пропускную способность волоконных световодов. Внедрение технологий «плотного» частотного уплотнения (DWDM) вкупе с использованием эрбиевых оптических усилителей привело к разработке нового типа оптических волокон. При использовании технологии DWDM в

оптическом волокне одновременно вводится большое количество (до 300) оптических сигналов на близких длинах волн, каждый из которых несет свой, независимый от других информационный поток.

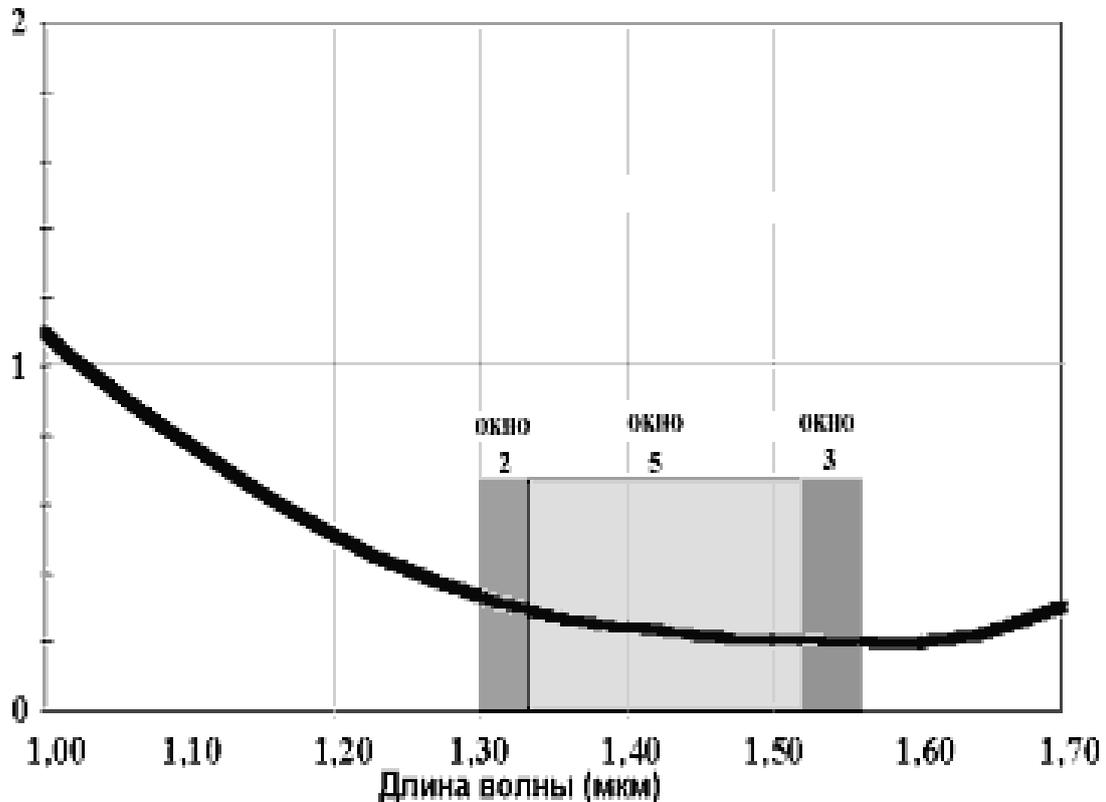


Рисунок 5.9 – Спектральная зависимость затухания в волокне TrueWave RS

Фирма Lucent выпускает усовершенствованные оптического волокна - **TrueWave RS** (рисунок 2.9), в котором несколько расширен в дальней области рабочий спектральный диапазон, при этом возникает **четвёртое окно** прозрачности, что дополнительно увеличивает пропускную способность оптического кабеля.

На рисунке 2.10 представлена спектральная зависимость затухания в волокне AllWave.

В отличие от стандартного одномодового волокна данное оптическое волокно, производимое фирмой Lucent не имеет так называемого «водяного пика», т. е. увеличения поглощения на длине волны 1,385 мкм, соответствующей спектру поглощения ионов OH.

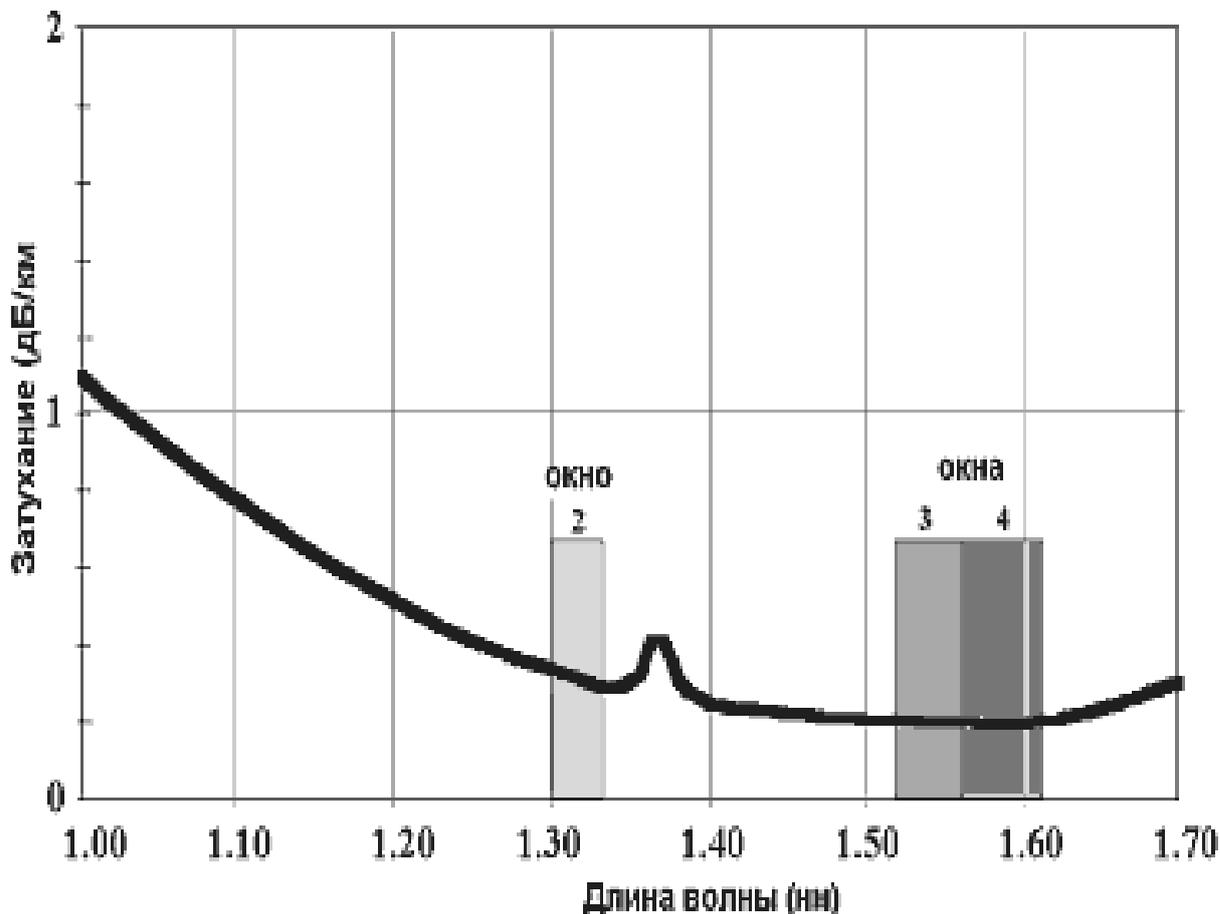


Рисунок 5.10 - Спектральная зависимость затухания в волокне AllWave.

На этой длине волны поглощение составляет 0,31 дБ/км, т.е. появилось **пятое окно** прозрачности.

Спектральная область оптического волокна с малыми потерями (< 0,3 дБ/км) расширилась до 500 нм и лежит в диапазоне длин волн 1200-1700 нм. Использование всего спектрального диапазона волокна позволяет резко увеличить информационную ёмкость волоконно-оптических систем со спектральным уплотнением каналов.

Кроме выше перечисленных потерь необходимо учитывать потери, возникающие **при вводе излучения в ОВ**, к ним относятся:

$a_{ан}$ - апертурные потери, обусловленные несовпадением апертур излучателя и ОВ;

$a_{фр}$ - френелевские потери на отражение от торцов световода и т. д.

В качестве излучателей в ВОСП используют светоизлучающие диоды

СИД полупроводниковые лазеры ППЛ. СИД излучают свет в телесном угле 30-60°, а ППЛ – в телесном угле от 3 до 30°. Если апертура излучателя больше апертуры ОВ, то часть оптического сигнала теряется ещё при вводе в ОВ. Это и есть **апертурные потери**. Для уменьшения апертурных потерь для ввода излучения в ОВ используют фокусирующие линзы.

Для уменьшения френелевских потерь торцы ОВ покрывают специальными антиотражающими плёнками толщиной **кратной $\lambda/4$** .

Импульсы света, последовательность которых определяет информационный поток, в процессе распространения расплываются. При достаточно большом расширении импульсы начинают перекрываться, так что становится невозможным их выделение на приёме.

Дисперсия τ - это рассеяние во времени спектральных и модовых составляющих оптического сигнала, приводящее к расширению длительности импульса на приёме.

Дисперсия определяется как **квадратичная разность длительности импульсов на выходе и входе кабеля:**

$$\tau(l) = \sqrt{t_{вых}^2 - t_{вх}^2}, \text{ пс/км.} \quad (5.8)$$

Чем меньше значение дисперсии, тем больше ширина полосы пропускания ОВ, тем больший поток информации можно передать по ОВ.

Максимальная **ширина полосы пропускания** на 1 километр кабеля обратно пропорциональна дисперсии и приблизительно равна:

$$\Delta F = 0,44 / \tau, \text{ Гц} \quad (5.9)$$

Дисперсию классифицируют по причинам происхождения следующим образом:



Рисунок 5.11 – Виды дисперсии

Результирующая дисперсия определяется из формулы:

$$\tau^2 = \tau_{\text{mod}}^2 + \tau_{\text{chr}}^2 + \tau_{\text{nm}}^2 = \tau_{\text{mod}}^2 + (\tau_{\text{mat}} + \tau_w)^2 + \tau_{\text{nm}}^2 \quad (5.10)$$

1) **Межмодовая** дисперсия возникает вследствие различной траектории распространения у разных мод по ОВ (рисунок 2.3). Эта дисперсия имеет место только в многомодовом волокне, величина её может достигать $\tau = 20 - 50$ нс/км (больше, чем у любого другого вида дисперсии в тысячи раз).

$$\tau_{\text{mod}} \gg \tau_{\text{xp}}$$

2) **Хроматическая** (частотная) дисперсия, возникает из-за того, что источник излучения излучает вместо одной моды несколько мод с разными длинами волн. Эта дисперсия состоит из материальной и волноводной составляющих и имеет место, как в одномодовом ОВ, так и в многомодовом ОВ. Наиболее отчётливо она проявляется в одномодовом волокне из-за отсутствия межмодовой дисперсии.

Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления оптического волокна от длины волны λ .

Волноводная дисперсия обусловлена зависимостью коэффициента распространения моды γ от длины волны λ . Волноводная дисперсия возникает из-за ограничения света направляющей структурой (волокном). Тогда как почти вся энергия в многомодовом ОВ сконцентрирована в относительно большой сердцевине, в одномодовых ОВ свет распространяется и в сердцевине и в оболочке. Единственная направляемая мода может рассматриваться как распространяющаяся со скоростью, определяемой эффективным показателем преломления, большим чем показатель преломления оболочки, но меньшим показателя сердцевины. С ростом длины волны всё больше энергии распространяется в оболочке с малым показателем преломления. В результате получается расширение импульса, зависящее от структуры волокна, т. е. волноводная дисперсия.

3) **Поляризационно-модовая дисперсия (ПМД)** - это дисперсия, вызываемая разностью в скоростях распространения двух основных ортогонально-поляризованных мод, существующих в одномодовом волокне. Наличие ПМД приводит к тому, что результирующий выходной импульс света уширяется по сравнению с входным. Луч света от источника излучения попадает на вход ОВ. При этом возникает явление **двойного лучепреломления**. Это означает, что внутри ОВ образуется две волны (моды), которые поляризуется в двух ортогональных (взаимно-перпендикулярных) плоскостях и распространяется в виде двух мод одной волны. Из-за физической асимметрии показателя преломления ОВ эти моды одной волны движутся с разной скоростью. ПМД также может быть возникать в местах соединения волокон или изгибах. ПМД влияет на работу ВОЛС так же, как и хроматическая дисперсия, но механизм уширения импульсов в этих случаях различен.

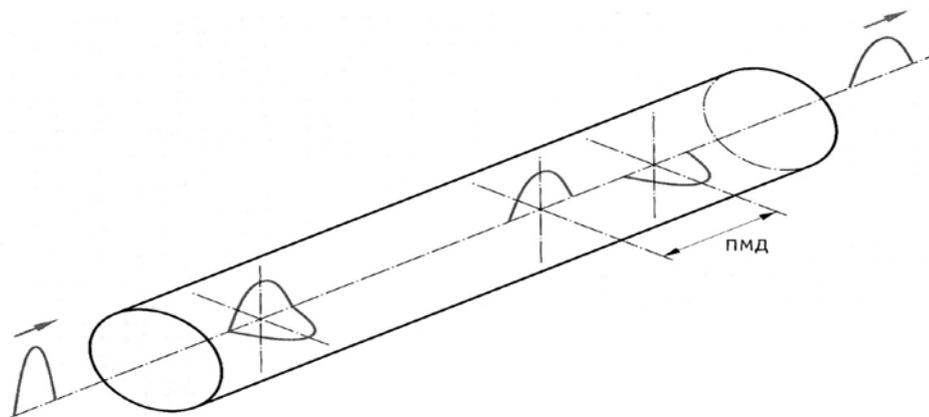


Рисунок 5.12 – Поляризационно-модовая дисперсия

Существенным отличием ПМД от хроматической дисперсии является тот факт, что влияние хроматической дисперсии в линии можно компенсировать, в то время как методов компенсации влияния ПМД в настоящее время не существует. В прошлом (лет 15 назад) влияние ПМД не принималось во внимание, поскольку скорости передачи, а также расстояния между регенераторами в ВОЛС были относительно невелики. В настоящее

время, когда скорости передачи достигают сотен Гбит/с, а расстояния между оптическими регенераторами в ВОЛС - сотен километров, ПМД становится ограничивающим фактором при разработке ВОЛС.

В многомодовых ступенчатых волокнах определяющей является **межмодовая дисперсия**, которая обусловлена наличием большого числа распространяющихся мод и различиями времен их распространения по волокну, обычно в многомодовом ОВ $\tau = 20 \div 50$ нс/км.

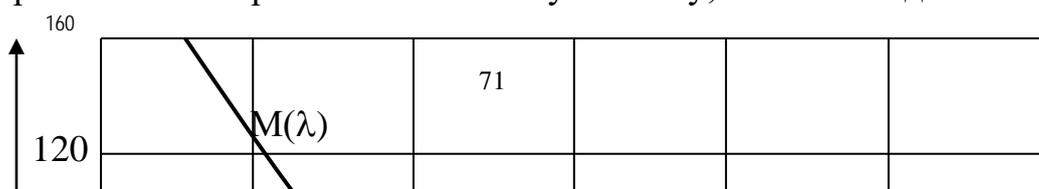
В градиентных ОВ происходит выравнивание времени распространения различных мод и определяющей является **материальная дисперсия**, $\tau = 3 \div 5$ нс/км.

В ступенчатых одномодовых ОВ проявляется **хроматическая** (волноводная и материальная) **дисперсия**, но они почти равны по абсолютной величине и противоположны по фазе в широком спектральном диапазоне (Рисунок 2.13) при $\lambda = 1,2 \div 1,7$ мкм. В одномодовых ОВ $\tau = 5 - 17$ пс/км.

Возникновение хроматической дисперсии в материале световода обусловлено тем, что оптический источник, возбуждающий вход ОВ (светоизлучающий диод – СИД или лазерный диод – ЛД), формирует световые импульсы, имеющие непрерывный волновой спектр определенной ширины (например, для СИД это примерно 35-60 нм, для многомодовых лазерных диодов (ММЛД) – 2-5 нм, для одномодовых ЛД (ОМЛД) – 0,01-1нм). Различные спектральные компоненты импульса распространяются с разными скоростями и приходят в определенную точку (к концу волокна) в разное время, приводя к уширению импульса на выходе.

В области от 800 нм до 1270 нм более длинные волны (более красные) движутся по ОВ быстрее по сравнению с более короткими (более голубыми)

длинами волн (рисунок 5.13). Например, волны длиной 860 нм распространяются быстрее по стеклянному волокну, чем волны длиной 850 нм.



Это связано с тем, что коэффициент преломления стекла в диапазоне от 800 нм до 1270 нм уменьшается с ростом длины волны, (этим же самым явлением объясняется возникновение радуги). Такая дисперсия называется **положительной**.

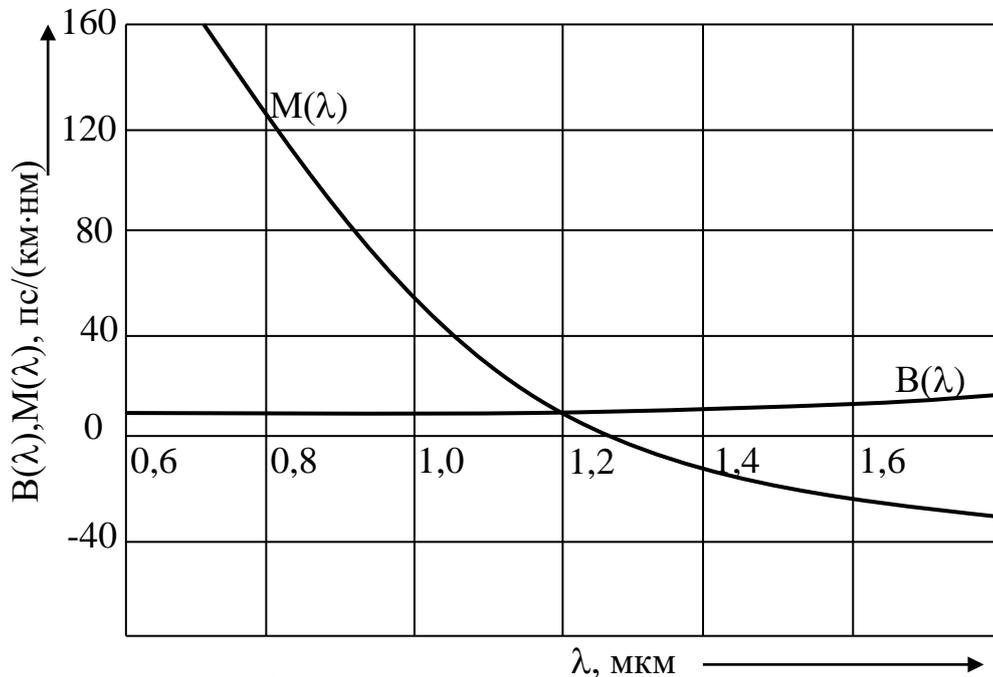


Рисунок 5.13 – Удельное значение дисперсии при различных длинах волн: $B(\lambda)$ – волноводная, $M(\lambda)$ – материальная дисперсия

В области от 1270 нм до 1700 нм ситуация меняется: более короткие волны движутся быстрее по сравнению с более длинными; волна 1560 нм движется медленнее, чем волна 1540 нм, т.е. коэффициент преломления стекла в диапазоне от 1270 нм до 1700 нм увеличивается с ростом длины волны. Это явление называют аномальной (отрицательной) дисперсией. **Отрицательная дисперсия** выражается в том, что более «медленные» спектральные составляющие импульса ускоряются, а «быстрые», наоборот замедляются. В некоторой точке спектра происходит совпадение, при этом более голубые и более красные длины волн движутся с одной и той же скоростью. Это совпадение скоростей происходит на длине волны примерно **1270 нм**, на этой длине волны **материальная** дисперсия равна нулю (См. рисунок 5.13 и таблицу 5.1).

Из рисунка 5.13 видно, что на определённой длине волны материальная и волноводная дисперсия противоположны по знаку и равны по величине, т. е.

взаимно компенсируются. На этой длине волны хроматическая дисперсия, являющаяся суммой материальной и волноводной дисперсий, равна нулю. Для ОВ эта длина волны - порядка **1312 нм**, её называют **длиной волны нулевой дисперсии**, Таким образом, для одномодового кварцевого волокна хроматическая дисперсия положительна для длин волн $\lambda < 1312$ нм и отрицательна для длин волн $\lambda > 1312$ нм, а в окрестности $\lambda = 1312$ нм она нулевая.

Таблица 5.1 – Типичные значения удельной материальной дисперсии одномодового ОВ

λ , мкм	0,6	0,85	0,9	1,27	1,312	1,33	1,55	1,6	1,8
$M(\lambda)$, пс/нм*км	400	85	55	0	-8	-9	-18	-20	-25
$B(\lambda)$, пс/нм*км	5	5	6	7	8	8	12	14	16

Материальная и волноводная дисперсии ОВ пропорциональны ширине спектра излучения источника $\Delta\lambda$. Значения этих дисперсий можно определить через удельную дисперсию по формулам:

$$\tau_{mat} = (\Delta\lambda)M(\lambda); \quad (5.11)$$

$$\tau_{ов} = \Delta\lambda B(\lambda) \quad (5.12)$$

где: $M(\lambda)$ – удельная материальная дисперсия, значения которой представлены в таблице 2.1, $B(\lambda)$ – удельная волноводная дисперсия, значения которой представлены в таблице 2.1, $\Delta\lambda$ – ширина спектральной линии источника излучения.

Измеряется хроматическая дисперсия в единицах: пс/км.

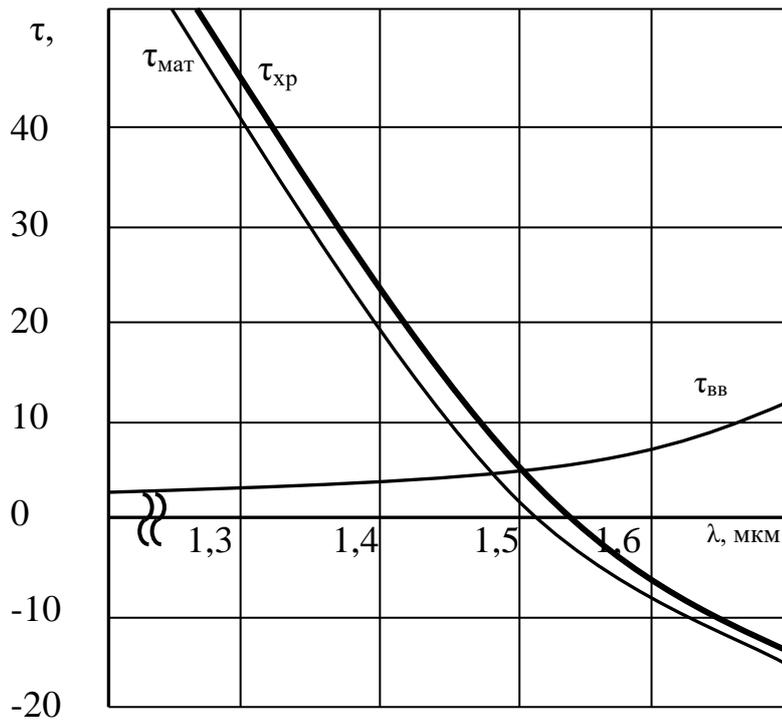


Рисунок 5.14 – Зависимость материальной, волноводной и результирующей дисперсии от длины волны для ОВ со смещённой дисперсией

Известно, что для кварцевых ОВ минимум затухания соответствует длине волны 1,55 мкм и дальность связи на этой длине волны ограничивается хроматической дисперсией. Как следует из рисунка 2.13, обычное одномодовое волокно не обеспечивает минимум дисперсии для $\lambda=1,55$ мкм, поэтому были разработаны ОВ со смещенной (Dispersion Shifted) дисперсией, которые отличаются конфигурацией профиля показателя преломления (треугольный профиль).

На рисунке 5.14 представлены зависимости материальной, волноводной и результирующей дисперсии от длины волны для ОВ со смещённой дисперсией.

При изменении профиля преломления ОВ волноводная дисперсия увеличивается, и компенсация дисперсии осуществляется на другой длине волны – 1,55 мкм, благодаря чему можно оптимизировать ОВ для работы в третьем окне прозрачности, где затухание ОВ минимально.

В результате исследований волокон со смещенной дисперсией было показано, что наилучшие показатели обеспечивают волокна *с треугольным профилем*, так как они обладают самофокусирующими свойствами и удерживают распространяющиеся лучи в небольшом объеме, прилегающем к оси ОВ.

Хроматическая дисперсия выбрана международным союзом связистов (ITU) в качестве критерия для классификации одномодовых оптических волокон. Согласно этому критерию, существует три типа одномодовых оптических волокон:

1) **Стандартное одномодовое волокно (тип G.652).** Это наиболее ходовой тип волокна, используется в мире с 1988 года. Параметры (потери и дисперсия) этого волокна оптимизированы на длину волны 1310 нм (минимум хроматической дисперсии), оно может использоваться и в диапазоне длин волн 1525...1565 нм, где имеет место абсолютный минимум потерь в волокне.

2) **Одномодовое волокно со смещенной нулевой дисперсией (тип G.653).** Называется так потому, что абсолютный минимум хроматической дисперсии путем выбора специальной формы профиля показателя преломления смещен в диапазон длин волн $\lambda = 1550$ нм абсолютного минимума потерь в волокне. Волокно G.653 оптимизировано для высокоскоростной передачи на одной длине волны и имеет ограниченные возможности для передачи на нескольких длинах волн.

3) **Одномодовое волокно со смещенной в область длин волн $\lambda = 1550$ нм ненулевой дисперсией (тип G.655).** Волокно оптимизировано для высокоскоростной передачи информации на нескольких длинах волн в диапазоне около 1550 нм. Волокно G.655 разработано для волоконно-оптических систем со спектральным уплотнением каналов - DWDM-систем (при работе этих систем нулевая дисперсия может привести к возникновению нелинейных эффектов в ОВ).