# Технология создания информационных систем с применением волоконно-оптических линий связи

Руководящий материал РМ 13-2-95

Москва 1995г.

gost.e-ecolog.ru




Утверждаю

Научно-производственное
объединение "Монтажавтоматика"
Генеральный директор
_____ (А.С.Клюев)
"2" VI 1995г.

# Технология создания информационных систем с применением волоконно-оптических линий связи

Руководящий материал РМ 13-2-95

Без разрешения НПО
"Монтажавтоматика"
перепечатка запрещена.

Москва 1995г.

Настоящий руководящий материал разработан учеными и высококвалифицированными специалистами АО НПО "Монтажавтоматика", под общим руководством доктора технических наук А.С.Клюева, в порядке исполнения инвестиционной программы по договору №90 от 10 ноября 1994г. с АООТ "Севзапмонтажавтоматика".

Материал содержит сведения о технологии (методике) создания ( разработка, проектирование, монтаж и наладка) информационных систем с применением волоконнно-оптических линий связи (ВОЛС) - волоконно-оптичеческих информационных систем (ВОИС), часто называемых в технической литературе волоконно-оптическими системами связи (ВОСС).

Приводятся сведения о построении структурных схем ВОИС, систем сбора, передачи и распределения информации в сетях автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и производством (АСУ П).

Особенно подробно рассмотрены вопросы построения, монтажа и испытаний ВОЛС.

Руководящий материал будет полезен всем специалистам и организациям, занимающимся разработкой, проектированием, монтажом и наладкой ВОИС, ВОСС, ВОЛС, АСУ ТП, промышленных средств связи и слаботочных устройств.

Адреса для консультаций и справок:

119034, Москва, Барыковский пер., д.4, строение 3 -АО НПО "Монтажавтоматика". Телефоны :202-0555, 203-4587.

173003, г.Новгород, Рабочая, 3, -АООТ "Севзапмонтажавтоматика". Телефоны 2-8287, 2-8664.

# I. Общие положения

Как известно, информация - это сообщение о чем-либо; понятие информации в наиболее раннем употреблении связывалось со свойствами человеческого мозга обращать закономерности окружающей среды.

Однако, с развитием теории информации и науки об управлении понятие информации получило свое дальнейшее развитие.

Понятие информации в настоящее время рассматривается как определенные свойства материи, воспринимаемые управляющим субъектом или техническим устройством и используемые ими для принятия решения или обеспечения управления.

Сообщение - это материальная форма воплощения (отображения) информации (показания приборов, печатный текст и т.п.). Сообщение, предназначенное для передачи информации на расстояние, называется сигналом.

Любая информационная система включает в себя устройства отбора информации, каналы (линии связи) ее передачи и распределения, устройства переработки и отображения информации.

Каналы передачи информации в свою очередь образуют систему связи.

Для любой системы связи важное значение имеют четыре фактора:

1. Информационная емкость системы, выражаемая в числе каналов связи, или скорости передачи информации.

2. Затухание, определяющая максимальную длину участка ретрансляции.

3. Стойкость к воздействию окружающей среды.

4. Технологичность и экономическую целесообразность прокладки линий связи.

В настоящее время большую популярность получили волоконно-оптические линии связи, имеющие большое число преимуществ по сравнению с традиционными проводными и кабельными линиями связи.

Волоконно-оптические линии связи выполняются волоконно-оптическими кабелями, устройство и характеристики которых подробно рассмотрены ниже.

В настоящее время волоконно-оптические кабели начинают широко применяться не только в системах связи, но и в автоматических системах управления технологическими процессами. Это связано с тем, что сложные промышленные производства требуют информации о большом количестве технологических параметров и их регулирования.

Кроме того, происходит концентрация пунктов управления сложными объектами на центральных щитах управления, расположенных в специальных операторных помещениях, существенно удаленных от отдельных технологических установок.

Огромное количество традиционных кабелей с медными жилами от этих установок до помещения управления, сооружение специальных кабельных галлерей, эстакад, каналов и т.д. требуют больших капитальных затрат.

При этом следует иметь в виду, что по всем четырем факторам, указанным выше, ВОЛС имеет преимущества при длине линии связи более I км и при скорости передаваемой информации более I0 Мб т/с. Оптическое и инфракрасное излучение имеет длину волны электромагнитных колебаний в диапазоне 0,I - I0 мкм, что дает возможность формировать импульсы с длительностью наносекунды и даже пикосекунды. Это позволяет уже в настоящее время генерировать скорость передаваемой информации в области I0 ÷ I00 Гб т/с, что в сотни и тысячи раз превышает частоту существующих в настоящее время высокочастотных систем связи.

Разработка высокочистых стекол позволило создать световоды с затуханием 0,2 - 5 дб/км в диапазоне I.55 ÷ 0.85 мкм. Столь низкое затухание оптического сигнала при малой его дисперсии в одномодовых световодах позволяет передавать сигнал без регенерации на расстояние до I00 км, хотя в экспериментах есть участки до 300 км.

Успехи в технологии получения световодов с малыми потерями, создание быстродействующих светоизлучающих и фотоприемных приборов значительно повысило интерес к внедрению ВОЛС.

Перечислим преимущества ВОЛС по сравнению с обычными кабельными линиями.

1.Высокая помехоустойчивость, нечувствительность к внешним электромагнитным полям и практически отсутствие перекрестных помех между отдельными волокнами, уложенными в один кабель, и даже в один кабель с силовыми электропроводниками.

2.Значительно большая широкополосность или скорость передачи данных.

3.Малая масса и габариты. При одинаковом числе каналов связи масса и габариты примерно в 10 и более раз меньше, чем в существующих кабельных линиях связи. Это приводит к уменьшению стоимости и времени прокладки волоконно-оптического кабеля.

4.Полная электрическая изоляция между входом и выходом системы связи, поэтому не требуется общее заземление передатчика и приемника. Можно производить ремонт оптического кабеля, не выключив оборудования.

5.Отсутствие коротких замыканий, вследствие чего волоконные световоды могут быть использованы для пересечения опасных зон без боязни коротких замыканий, являющихся причиной пожара или выхода из строя оконечных устройств.

6.Потенциально низкая стоимость при массовом производстве. В световодах не используются такие дорогостоящие благородные и цветные металлы, как серебро, медь, свинец, олово, запасы которых ограничены.

Методика содержит указания по организации и последовательности разработки, прокладке, монтажу и запуску ВОЛС; содержит сведения о существующих волоконно-оптических системах связи, которые имеют различные применения. Сбор и передача цифровых и аналоговых сигналов, передача телевизионных сигналов, организация локальных вычислительных сетей с большим удалением между собой ЭВМ, организация интегрированных телекоммуникационных сетей.

Методика содержит сведения о выпускаемых в России и за рубежом наиболее часто применяемых компонентов ВОЛС: передающие и приемные оптические модули, кабели, ретрансляторы, мультиплексоры и т.п.. Кроме того содержатся сведения о контрольно-измерительной аппаратуре и технологической оснастке.

Настоящая методика составлена применительно к производству работ по созданию ВОЛС, используя опыт работы в АО НПО"Монтажавтоматика".

Методика предназначена для специалистов монтажных и промышленных предприятий при проведении указанной гаммы работ при автоматизации производства и создании интегральных и компьютерных сетей.

Методика составлена на основе материалов опубликованных в работах I ÷ 20 .

## II. ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ.

### 2.I. Классификация ВОСС.

При постановке задачи на проектирование ВОСС необходимо более четко классифицировать ВОСС для укрупненной экономической оценки. В зависимости от назначения, структуры, принципов передачи информации и т.п. ВОСС классифицируются следующим образом ( таблица I)

Классификация ВОСС.

*табл I*

| №№ п/п | Принципы классификации | Назначение ВОСС |
|---|---|---|
| I | 2 | 3 |
| I. | Классификация по функциональным возможностям | |
| I.I. | По назначению | Телефония, сбор и передача данных, телевизионная связь, локальные системы связи, в т.ч. локальные вычислительные сети, интегрированные системы связи. |
| I.2. | По коммутации и обработке | Линейный коммутатор, коммутатор с накоплением, пакетный коммутатор. |
| I.3. | По методу предоставления услуг | Системы связи с мгновенной коммутацией, с ожиданием, с ограниченным ожиданием. |
| 2. | Классификация по масштабам и объектам применения: | |
| 2.I. | По масштабу применения | Магистральные, городские, внутриквартальные |

| I | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 2.2. | По объектам применения | Системы связи подвижных объектов, управленческие внутри предприятия, здания, специального назначения. |
| 3. | Классификация по системам передачи информации. | |
| 3.I. | По системам передачи информации | Аналоговая, цифровая. |
| 3.2. | По полосе передаваемых частот. | Узкополосные, со средней полосой передаваемых частот, широкополосные, сверхвысокополосные. |
| 3.3. | По быстродействию | Низкоскоростные до I0 кбит/с, среднескоростные до 35 Мбит/с, высокоскоростные до 565 Мбит/с, сверхскоростные свыше 565 Мбит/с. |
| 4. | Классификация по конфигурации сетей связи. | |
| 4.I. | По конфигурации | Одномерные: линейные, кольцевые; двумерные: звезды, сети, решетка; многомерные: многогранник, многогранная решетка. |
| 4.2. | По иерархии | Иерархические и неиерархические сети. |
| 4.3. | По степени концентрации сообщений. | Сети связи с концентрацией сообщений, рассредоточенные, распределенные |
| 5. | Классификация по используемым длинам волн: | |
| 5.I. | Диапазон визуальных длин волн. | Измерительные устройства, индикаторные системы. |
| 5.2. | Длины волн $\lambda$ = 0,85; I.3; I,55 мкм. | Современные ВОЛС |
| 5.3. | Длины волн ИК диапазона | Измерительные устройства, перспективные ВОЛС. |
| 6. | Классификация по модовым признакам: | |
| 6.I. | Одномодовые | ВОСС с высокой скоростью передачи информации, измерительные системы. |
| 6.2. | Многомодовые | ВОСС со средней и низкой скоростью передачи информации |

| I | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 7. | Классификация по конструктивным признакам. | |
| 7.I. | По способу прокладки волоконно-оптического кабеля. | Прокладка в трубах, лотках,коробах, по опорам (воздушная), подводная линия связи; в кабельной канализации; подземная линия связи и т.д. |

Исходя из технического задания определяются компоненты ЗОСС и элементная база, из которой они могут быть реализованы.

Опыт работы показывает, что наиболее часто у заказчика возникает задание на создание ЗОСС классифицируемых как: по назначению - соединительные линии связи между АТС внутри города (телефония), системы сбора и передачи данных от технологических объектов до централизованных операторских, локальные вычислительные сети; так и по масштабу применения - городские, внутриквартальные; по системам передачи данных цифровая или аналоговая с быстродействием до 35 Мбит/с; по конфигурации сетей связи - одномерные, двумерные; в диапазоне длин волн 0,85; I,3 мкм; одномодовые или многомодовые; прокладка кабеля по металлоконструкциям, в кабельной канализации или на воздушных опорах.

Эти требования необходимо учесть при постановке технического задания на создание ВОЛС. Требования и нормы, предъявляемые к линиям связи, вытекают из принципа построения генеральной схемы развития сети заказчика. При этом должны соблюдаться рекомендации и нормы МККТТ на каналы передачи информации. Проект должен разрабатываться для всего комплекса. Основанием для выполнения работ по проектированию является задание на проектирование, которое выдается "заказчиком".

Проектирование систем ВОЛС следует начинать с определения предъявляемых к системе требований. К общим требованиям следует отнести:

- объем передаваемой информации;
- тип передаваемой информации: цифровой или аналоговый;
- помехозащищенность системы;
- расстояние между оконечными устройствами, количество и характеристики терминалов;
- условия прокладки и эксплуатации системы;
- требования к массо-габаритным и стоимостным характеристикам, надежность системы.

В предварительном анализе при постановке задачи должны рассматриваться несколько вариантов решения задачи и на основании технико-экономических показаний выбирается оптимальный.

В задании на проектирование указываются: наименование и назначение ВОЛС, основание для проектирования, характеристика оконечных устройств, требования по использованию существующих сооружений, сведения о необходимости резервирования линии, намечаемые сроки строительства, намечаемый размер капитальных вложений.

Поскольку сооружение ВОЛС, как правило, происходит на готовых объектах и по готовым кабельным канализациям при уже существующей расстановке подключаемого оборудования, то проектирование происходит, чаще всего одностадийное. В случае одностадийного проектирования сразу разрабатывается технорабочий проект. Если проектируется вычислительная сеть или сложная система сбора и передачи информации с технологических объектов, то желательно предпроектное обследование с выдачей предложений по структуре проектируемых сетей и систем. Такие предложения согласуются с заказчиком.

Для создания ВОЛС от проектной стадии до запуска и ее обслуживания необходимы более детальные представления о некоторых типах ВОСС согласно вышепредложенной классификации.

## 2.2. Отличительные особенности ВОСС в зависимости от их назначения.

В общем виде схема построения ВОСС ничем не отличается от традиционных систем связи: оконечное устройство - передающее устройство- физический канал связи - приемное устройство - потребитель. Как видим , все отличия в физическом канале связи (ВОЛС) . Какие особенности накладывают на канал связи оконечные устройства и потребитель? В чем преимущества ВОЛС перед другими каналами связи? Об этих преимуществах было указано в предыдущих разделах. Ниже рассмотрим основные требования предъявляемые к ВОЛС в зависимости от функционального назначения ВОСС.

Системы сбора и передачи информации с технологических объектов , как правило, требуют передачи данных в пределах одного предприятия и расстояния трансляции в большинстве случаев составляют до 5-10 км. Число каналов ( 1 датчик - 1 канал) и скорость передачи данных в основном не превышают 10 кбит/с. Эти требования удовлетворяют оптический кабель градиентный с длиной волны оптического излучения 0,85; 1,3 мкм. Поглощение оптического кабеля, его ха-

рактеристики широкополосности оптимальны для создания подобных длин линий связи и не требуют промежуточных регенераторов в отличии от линий связи организованных на каоксиальном кабеле и тем более, витой паре. Оптический кабель в данном случае не требует предельных характеристик, по этой причине стоимость его сопоставима, а во многих случаях даже ниже стоимости каоксиального кабеля.

Локальные вычислительные сети (ЛВС) имеют протяженность до 3-5 км. Организованы они в большинстве случаев в виде международных сетей типа EtherNet и ArcNet и их модификаций. Эти ЛВС позволяют объединить сотни ПЭВМ в одной сети. Традиционный подход с применением в качестве физических каналов связи каоксиального кабеля обеспечивают действие сети в пределах 2,5 км.С применением оптического кабеля удаленность абонентов может достичь 5-10 км. Причем при построении ЛВС указанных типов используются все сетевые компоненты промышленного образца (отечественного или зарубежного производства). По желанию заказчика в сеть предприятия могут быть объединены действующие на момент заказа сети других типов и системы сбора и передачи информации. Требования к оптическому кабелю также невысоки - кабель волоконно-оптический, градиентный,многомодовый, предпочтительная длина волны $\lambda$ = I,3 мкм с коэффициентом поглощения I,5 дб/км, допустима также $\lambda$ = 0,85 мкм при расстояниях не более 3,0 - 3,5 км между трансиверами сети.

Телефонные сети. Принципиальные различия предъявляются к оптическому кабелю в зависимости от назначения сети.

На линиях магистральной связи рекомендуется использовать кабели с одномодовыми волокнами. На волне $\lambda$ = I,55 мкм они обеспечивают большие дальности и число каналов. По числу волокон эти кабели, как правило, содержат 8, I6 волокон. Магистральные ВОЛС предназначены для подземной прокладки, и они чаще всего изготавливаются с металлическими элементами.

На линиях зоновой связи протяженностью до нескольких сотен километров целесообразно применять кабель с градиентными волокнами с длиной волны оптического излучения I,3 мкм. По числу каналов связи в зоновых сетях, как правило, используются системы передачи ИКМ120 и ИКМ-480. Зоновый кабель прокладывается непосредственно в грунт, поэтому с целью защиты от блуждающих токов и грызунов он имеет металлическое покрытие (оболочку или бронеленту).

На ГТС применяются кабели с 4 или 8 волокнами с градиентными или даже ступенчатыми волокнами в зависимости от удаленности между собой АТС. Число каналов связи определяется ИКМ-120. Длина волны

0,85 мкм при таком числе каналов обеспечивает связь на 10-12 км. Городские кабели обычно прокладываются в телефонной канализации, поэтому они могут изготавливаться в пластмассовой оболочке, без металла.

Для сельской телефонной сети (СТС) предназначаются кабели ОК-4, которые могут подвешиваться на местные предметы, воздушные линии, опоры электропередач, прокладываться в земле. Эти кабели имеют стальную оплетку и покрыты пластмассовой оболочкой.

Телевизионный канал связи. Требования к оптическому кабелю при организации кабельного телевидения или при передаче TV -сигналов от промышленных или охранных телевизионных камер такие же, как и для зоновой связи. По одному волокну передается обычно один телевизионный канал связи, имеющий при аналоговом сигнале полосу частот 6 мГц, при цифровом 140 Мбит/с. Следует учесть, что энергетический потенциал или допустимые потери в оптическом кабеле равны примерно 20-30 дб, что ниже, чем ИКМ на 15-20 дб. Соответственно, уменьшается длина регенерационного участка. При необходимости передать на большие расстояния TV сигнал требуется или применение волокон с меньшим затуханием и даже выбор для линии связи одномодового волокна, что также позволяет по одному волокну передавать до 8 телевизионных каналов связи.

## 2.3 Принципы построения волоконно-оптических линий связи.

Принципиальная блок-схема волоконно-оптической системы связи представлена на рис. 1. Произведем укрупненный приблизительный расчет нескольких вариантов используемого оптического кабеля в качестве межстанционной соединительной линии ГТС.

рис. 1. Блок схема межстанционной волоконно-оптической соединительной линии ГТС.
(где: СОЛСТ -С стойка оборудования линейного световодного тракта оконечная;
РСС - разъемный оптический соединитель;
СС - сварное соединение )

Задача: Определить возможную длину ВОЛС без регенерации при следующих заданных параметрах:

1. уровень мощности на выходе передающего устройства $P_{пом}$ - ( + 10 дбм);
2. уровень мощности на входе приемного устройства $P_{пом}$ - ( -50 дбм);

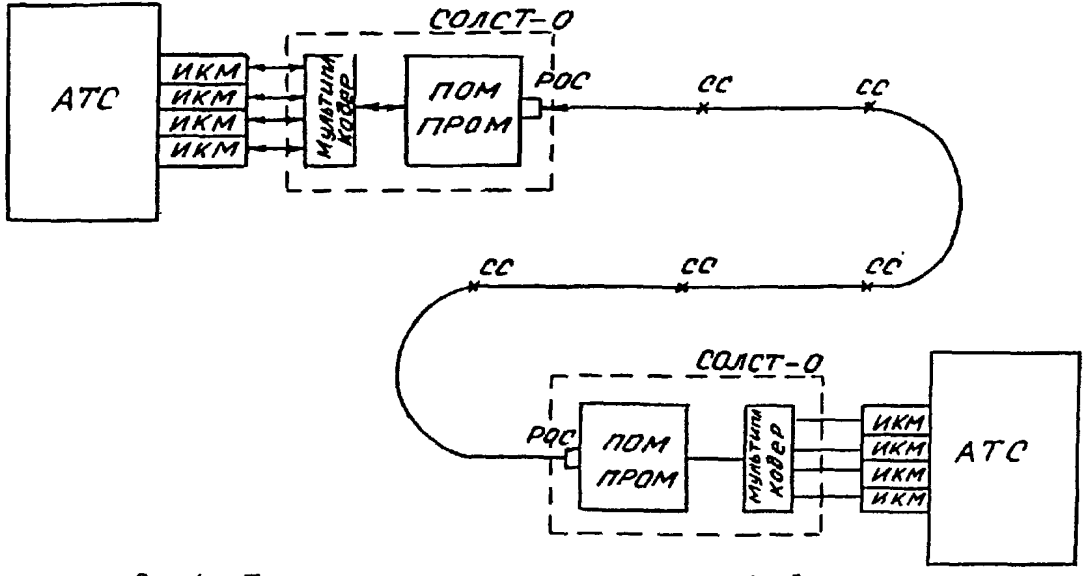



Рис 1. Блок схема межстанционной волоконно-оптической соединительной линии ГТС

3. $\alpha_\lambda$ - коэффициент поглощение в оптическом волокне
   $\alpha_{1,3}$ - I,5 дбм
   при $\lambda$ = I,3 мкм и $\alpha_{0,85}$ - 3,0 дбм
   при $\lambda$ = 0,85 мкм

4. $\alpha_{сс}$ - потери на сварном соединители
   $\alpha_{сс}$ = 0,3 дб.

5. $\alpha_{рс}$ - потери на разъемных оптических соединителях
   $\alpha_{рс}$ = I,0дб.
6. Строительные длины волоконно-оптического кабеля - $\ell_{км}$ = 2 км; $L = n\ell$
7. Число телефонных каналов I20 ( ИКМ-I20)
8. Энергетический запас, необходимый для компенсации ухудшения характеристик элементов вследствие их старения $\mathcal{E}_{ст}$ ( примерно 6 дб), неучтенных дестабилизирующих факторов $\mathcal{E}_{дф}$ (электропитания, температуры, радиации и т.п. - 4 дб). Обычно энергетический запас

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{ст} + \mathcal{E}_{дф} \cong 10 дб$$

В общем виде длину регенерационного участка определяют следующим энергетическим выражением

потери в световоде — энергетический потенциал

$$\hat{\alpha}_\lambda L + \alpha_{сс} \cdot \frac{L}{\ell} + 2\alpha_{рсс} \leq P_{пом} - P_{прем} - \mathcal{E}$$

$$L \leq \frac{P_{пом} - P_{прем} - \mathcal{E} - 2\alpha_{рсс}}{\hat{\alpha}_\lambda + \alpha_{сс} \cdot \frac{1}{\ell}}$$

для $\lambda$ = 0,85 мкм $\quad L_{0,85} = \frac{10 - (-50) - 10 - 2}{3 + \frac{0,3}{2}} \leq 12,9$ км

для $\lambda$ = 1,3 $\quad L_{1,3} = \frac{10 - (-50) - 10 - 2}{1,5 - \frac{0,3}{2}} \leq 29,0$ км

Для каоксиальных кабелей длина регенерационного участка находится в пределах 2÷ 5 км.

Поскольку на длину регенерационного участка сказывается не только затухание оптического сигнала в волокне, но и частотные характеристики, т.е. уширение ( диспетсия) передаваемого сигнала за счет межмодовой дисперсии и за счет тасстояния на материале $\sigma_р$ то следующим этапом расчета является определение дли-

ны $L_\sigma$ – критической, когда передаваемый сигнал ещё понятен на приемном конце. Для ИКМ –120 частота тактовой посылки $F_т$ = 8,448 МГц; для ИКМ – модуляции $F_т$ = В – скорости передаваемой информации В= 8,448 Мбит/с.

Известно, что для градиентных волокон $\sigma[\frac{нс}{км}]$ обычно составляют единицы наносекунд и даже доли на километре. Критерием для оценки длины линии связи является выражение

$$L_\sigma \leq 0{,}25/\sigma B$$

Приняв $\sigma$ = 1 нс/км

$$L_\sigma \leq \frac{0{,}25}{10^{-9}\ с/км \cdot 8{,}448\ \ 10^{6}\ с} = 29{,}5\ км$$

Таким образом, применяя градиентный световод на длине волны $\lambda$ = 1,3мкм можно обеспечить связь без регенерации на расстояние около 29 км. Если используем волокно со ступенчатым профилем коэффициента преломления, у которого $\sigma$ = 30 ÷ 70 нс/км, то в принятом оптическом сигнале за счет дисперсии сигнал будет непонятен.

Очевидно; что для ИКМ-480, для которых скорость передачи данных В = 34мбит/с длина регенерационного участка за счет дисперсии не может быть больше 7,5 км на $\lambda$ = 1,3 мкм, а для $\lambda$ = 0,85 мкм $L \leq$ 3 км при тех же коэффициентах затухания на волокне. Для передачи в цифровом виде телевизионного сигнала требуется скорость В= 140 Мбит/с., поэтому необходимо выбирать одномодовый волоконно-оптический кабель, для которого дисперсия может достигать 0,05 – 0,1 нс/км. Компоненты обеспечивающие столь высокие скорости передачи информации дорогие.

Для передачи TV- сигнала в настоящее время используется частотно-импульсная (ЧИМ) или фазово- импульсная (ФИМ) модуляция, в таком случае В= 10 Мбит/с, а следовательно можно использовать многомодовое волокно с градиентным профилем показателя преломления.

Для организации ЛВС типа EtherNet скорость передачи данных 10 Мбит/с , а для ArcNet – 2 Мбит/с. Как правило, большинство используемых на практике сетей имеют скорости 10 Мбит/с и менее.

В двух последних примерах длина регенерационного участка ограничивается энергетическим потенциалом, который обычно составляет 20 ÷ 40 дб.

На практике, когда известна длина прокладки кабеля и имеются конкретные строительные длины $l$ поступившего кабеля с кон-

кретными коэффициентами затухания правильнее будет потери в световоде определять так:

$$\sum_i \alpha_\lambda^i \cdot l + \sum \alpha_{cc}^{i,i+1} + \alpha_{разъ}^{пом} + \alpha_{разъ}^{пром}$$

Это выражение указывает на важность соблюдения технологического режима подбора кабеля, сварки и аккуратности при работе с разъемными соединителями. Нередки случаи когда $\alpha_{cc}$ достигает 1,5 дб и более. Наличие одной пылинки с размером 5 мкм на поверхности многомодового волокна вызывает увеличение затухания в тракте на 0,1дб, а недозатяжка зазора между стыкуемыми волокнами всего на 20 мкм приводит к увеличению потерь на разъеме до 2÷ 3 дб. Большое число крутых изгибов приводит к межмодовому перераспределению, а это увеличивает межмодовую дисперсию $\sigma_м$ ;в конечном итоге уменьшается $\omega_\sigma$ критическая.

## 2.4. Структурные схемы волоконно-оптических сетей.

В зависимости от структурной организации сетей различного назначения, будь то: ЛВС или системы сбора и передачи информации, телевизионные или телефонные, предъявляемые к волоконно-оптическим линиям связи требования не имеют существенных различий. Однако значительные различия предъявляются к оконечным преобразующим устройствам, кроме того, вводятся промежуточные регенераторы. По этой причине рассмотрим наиболее часто встречающиеся на практике структурные организации - топологии сетей.

По топологическим признакам сети делятся на следующие типы: произвольный, типа "дерево" (иерархической структуры), кольцевой ( или цепочечной) конфигурации, конфигурации типа "общая шина", "звезда".

Наиболее простой метод построения сети - это непосредственное соединение всех устройств, которые должны взаимодействовать друг с другом посредством линии связи от устройств к устройству (рис. 2).

Каждая линия связи может использовать различные передачи и различные интерфейсы, выбор которых зависит от структуры и характеристик соединенных устройств (1, 2, 3, 4, 5 - рис. 2). Такой способ соединения устройств вполне удовлетворителен для сетей, в которых ограничено число соединений. Основные преимущества данного метода заключаются в необходимости соединений каждой с каждым на прос-

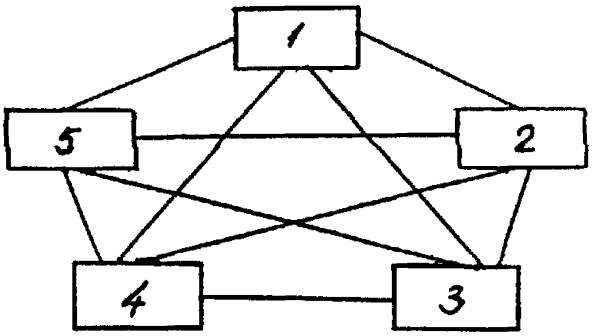



Рис 2. Сеть произвольной конфигурации

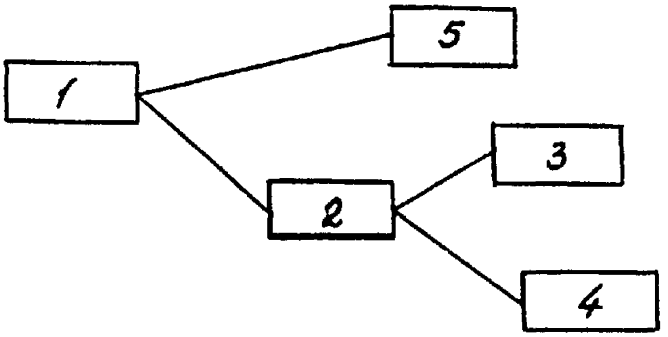



Рис 3. Иерархическая сеть „дерево"

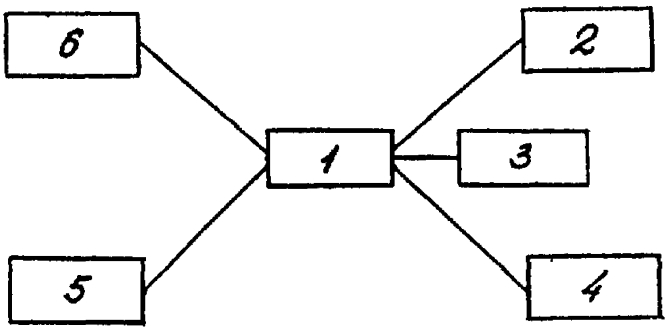



Рис 4. Сеть конфигурации „звезда"

том физическом уровне, где не требуется сложной программной реализации, в простоте структуры интерфейсов, не требуется уплотнение информации в каналах связи. Недостатками данной структуры являются: высокая стоимость системы передачи данных; большое число используемых каналов ( каждый абонент имеет столько каналов связи, со сколькими абонентами он желает соединиться);! большая протяженность каналов связи между наиболее удаленными абонентами. Такая сеть относится к многоузловым сетям, обеспечивающим множество вариантов маршрутов.

Другой распространенный способ соединения сети с наибольшим числом узлов - это иерархическая конфигурация типа "дерево" рис. 3.)

Сеть "дерево" обычно используется в системах кабельного телевидения, системах сбора и передачи информации с технологических объектов, реже используется при создании ЛВС. Эти системы распределения должны от узла коммутации ( I, рис. 3) или источника информации по постоянно ветвящейся структуре с N-ым оконечным устройством и наоборот. Преимущества данного метода в том, что высокая скорость взаимодействия абонентов, возможность выбора оптимального пути соединения. Недостатки заключаются в сложном программном обеспечении. Обычно этот метод соединения используется при малом числе абонентов.

В сетях конфигурации типа "звезда" ( рис. 4) оконечные устройства соединены между собой через оптический разветвитель энергии типа "звезда" или подключены к узлу коммутации, который осуществляет необходимое распределение сообщений, или в сетях ЛВС типа EtherNet и ArcNet через активные или пассивные "хабы". Достоинства : простота логической и программной структуры, простота соединения двух абонентов. Недостаток: низкая эффективность использования каналов связи, большой расход кабеля.

Очень широкое применение нашла конфигурация сети в виде "общей шины" ( рис. 5)

Эта конфигурация использована в ЛВС типа EtherNet До 100 ПЭВМ может содержаться на одной шине а-а, б-б, которые в сети EtherNet названы сегментом. Межсегментное соединение (4) служит репитером-повторителем и в случае волоконно-оптической связи сегменты могут быть разнесены на расстояния 3-5 км., при этом длина шины -сегмента не может быть больше 500 м. Удаленность ПЭВМ от кабеля сегмента 50 м. Сеть EtherNet относится к Novell сетям, поэтому она совместима с другими широкораспространенными сетями типа ArcNet , Token Ring и следовательно могут быть

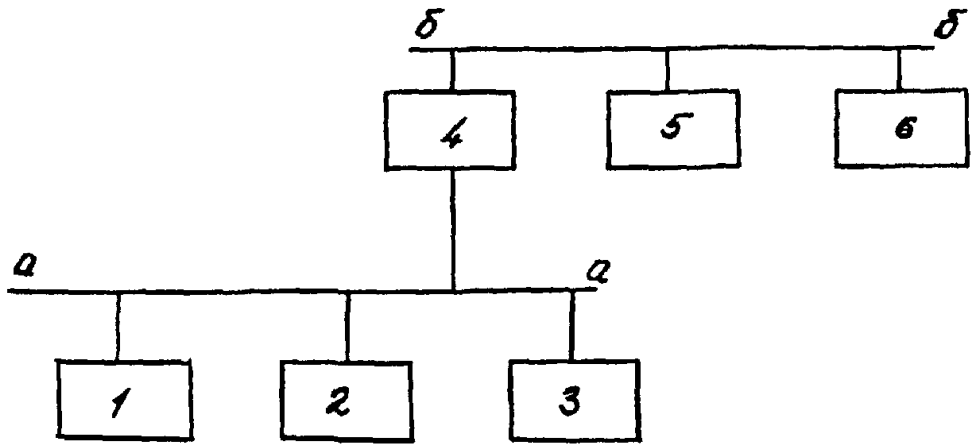



Рис 5. Сеть конфигурации „общая шина"

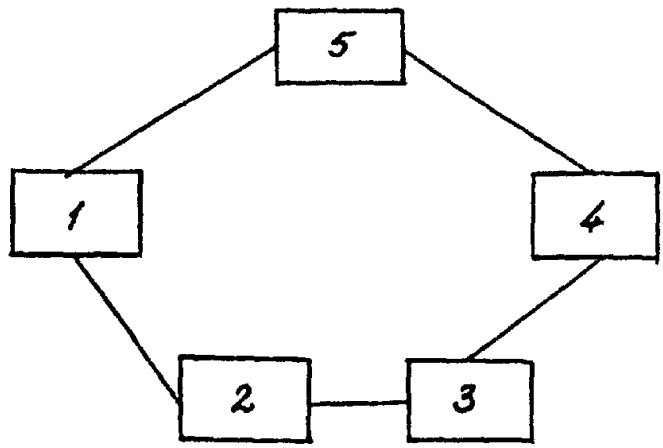



Рис 6. Сеть конфигурации „кольцо"

Схематическое представление одного из колец
Токен Ring Network"

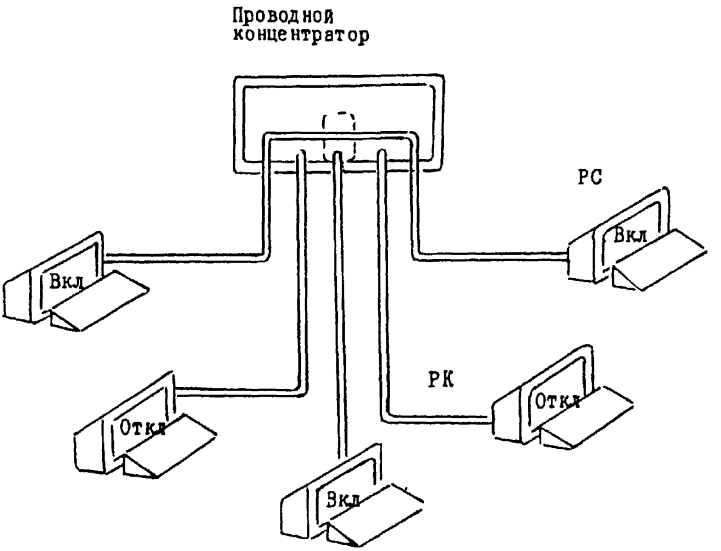



Рис.7а Звезда-кольцо

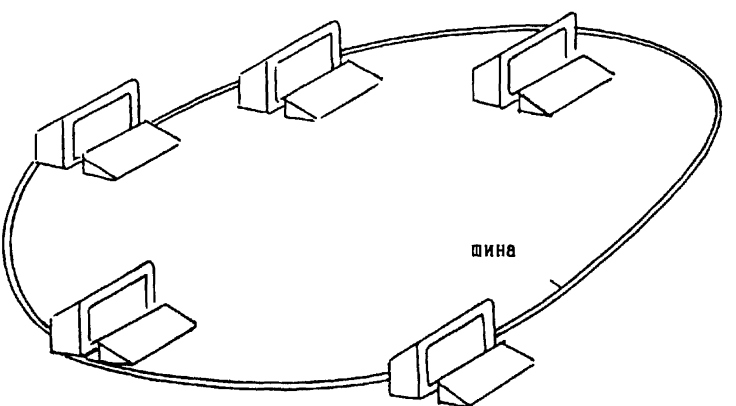
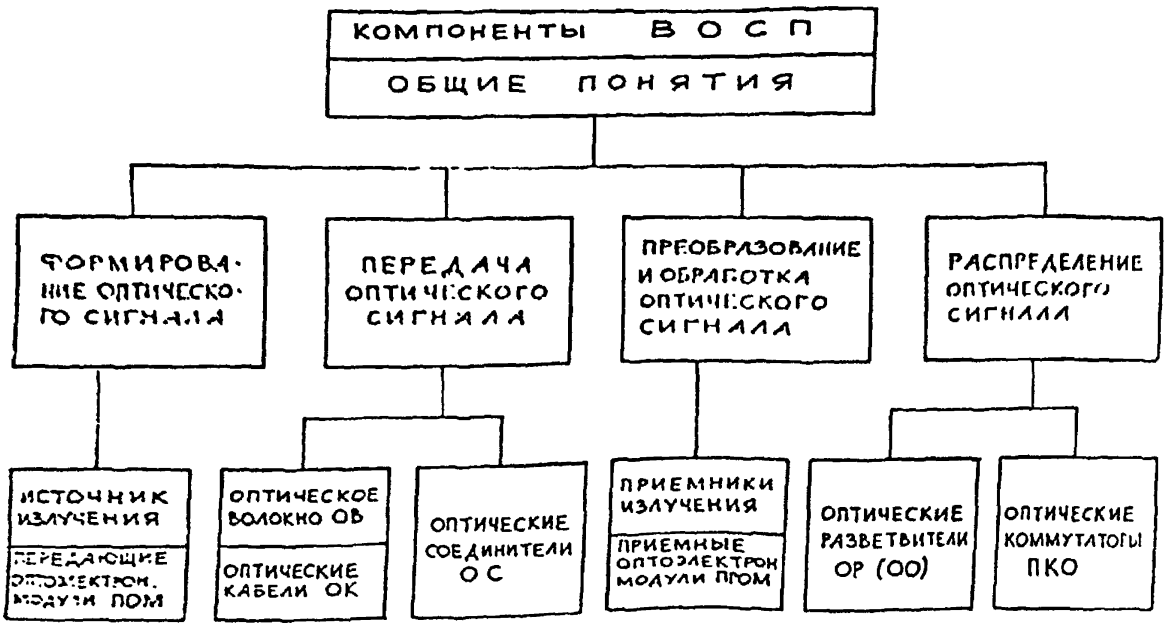



Рис.7б Типичное кольцо

# Распределение компонентов ВОСП в зависимости от выполняемых функций (ГОСТ 26599-85)



объединены в единую сеть предприятия, учреждения, города. Если в данной сети все абоненты ПЭВМ ( рабочие станции), то все компоненты сети и программное обеспечение типовое, общедоступное.

Кольцевая структура представляет собой замкнутое кольцо,соединяющее всех абонентов ( рис. 6 ).

Основными достоинствами такой сети являются : простота наращивания сети через добавление дополнительного числа модулей подключаемых, как в магистраль, так и к промежуточному модулю, простота методов управления; возможность в организации двунаправленной передачи данных; отсутствие необходимости в централизованном управлении. Эта конфигурация использована в ЛВС типа *Token Ring* , которая организована путем присоединения кольца к кольцу, т.е. мультикольцевая сеть *Token Ring* В каждом кольце содержится 6 ПЭВМ, число колец в разумном пределе неограничено. Сеть Token Ring в общем случае можно представить так ( см.рис. 7 ).

На практике, как правило используются комбинации из приведенных выше конфигураций сетей. В качестве абонентов сети могут быть Т - каналы и приемники, датчики с устройствами преобразования сигнала в код сети, ПЭВМ с сетевыми адаптерами, модемы. Такие сети в дальнейшем будем именовать интегрированными телекоммуникационными сетями.

## 3. Компоненты и устройства ВОЛС.

### 3.1. Классификация компонентов волоконно-оптических систем передачи ( ВОСП по ГОСТ 26599-85).

На схеме ( рис. 8) приведено распределение компонентов ВОСП в зависимости от выполнения ими определенных функций.

Рассмотрим важные понятия, с точки зрения специалистов, использующих компоненты как готовые изделия.

Оптическое волокно ( световод). Оптический кабель.

Свет распространяется по сердцевине световода зигзагообразно (волновая мода), благодаря полному внутреннему отражению от внутренней границы сердцевина - оптическая оболочка. Это полное отражение связано с одним условием . Угол между световым лучом и оптической осью световода должен быть не более критического апертурного угла световода $\varphi_{Ac}$ (рис.9). Если луч подходит к оптической оболочке под углом, больше $\varphi_{Ac}$ , то полного внутреннего отражения не происходит и луч покидает сердцевину, тем самым является потерь оптической оболочки, но если подобное условие появляется и на границе раздела

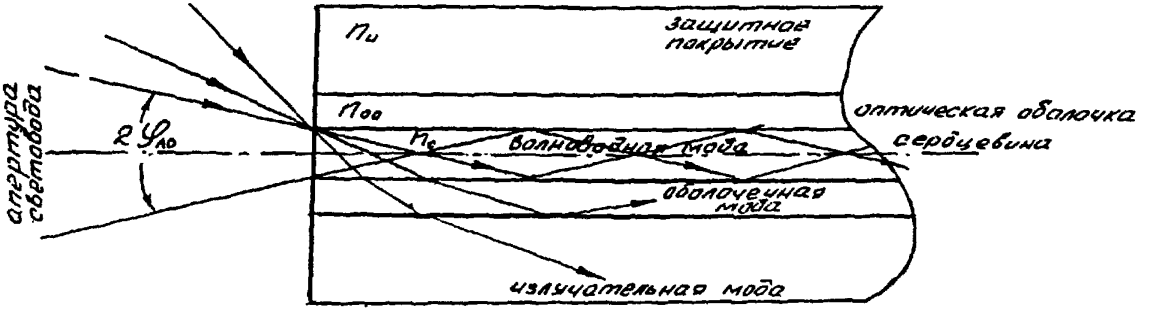



Рис. 9 Геометрическая модель ввода оптического излучения в световод.

оптическая оболочка внешняя среда ( воздух или защитное покрытие), то оптический луч покидает оболочку, создавая излучательную моду. При $n_c$ много больше $n_{об}$ ( например стеклянный сердечник с $n_c$ =I,5 находится в воздухе с $n_{воз}$ = I) $\varphi_{Ac}$ становится большим. Если $n_c$ сравнимо, но несколько больше $n_{об}$, то угол $\varphi_{Ac}$ имеет небольшую величину. В первом случае оптические лучи распространяются под сравнительно большими углами к оси световода, во втором - распространяются под малыми углами; еще более крутые лучи покинут световод и будут потеряны при передаче сигнала.

С точки зрения эффективности ввода излучения в световод и большей сохранности оптической энергии в нем при распространении ее в световоде предпочтение можно было бы отдать волокну с большим различием показателей преломления. Однако при большой разнице показателей преломления $n_c$ и $n_{об}$ в соответствии с выражением, определяющим число распространяемых в световоде мод $N = V^2/2$ ( $V$ нормированная рабочая частота для световода со ступенчатым профилем $n(r)$ )

$$V = \frac{2\pi r}{\lambda} \cdot \sqrt{n_c^2 - n_{об}^2}$$

становится очень большим и может достигать значения более I000. Большое число мод приводит к значительной дисперсии сигнала при его распространении по световоду и в световодах со ступенчатым распределением профиля показателя преломления может достичь I00нс/км. Конкуренция условий ввода -вывода и распространения оптического сигнала по световоду с параметрами широкополостности световода определяет оптимальное значение параметра

$$\Delta = \frac{n_c - n_{об}}{n_c} \cdot 100\%$$

который, как правило требует значение равное С,I ÷ 3 %.

В зависимости от соотношений диаметров сердцевины и оптической оболочки, характера распределения в сечении световода профиля показателя преломления световоды делятся на ступенчатые, градиентные, многомодовые и одномодовые ( рис.10)

Отличительными свойствами оптических волокон, дающими ряд преимуществ перед традиционными средствами связи, являются следующие:

Широкая полоса пропускания. Теоретически до I00 ТГц. км, реально достигнуто до 3 -I0 ТГц км при передаче по многомодовому волокну и I00 ГГц.км по одномодовому волокну для $\lambda$ = I,3 мкм;

Низкое затухание. Не превышает 5 дб/км, что позволяет увеличивать расстояние между ретрансляторами. Для сравнения - затухание в медных [illegible] кабелях 20 дб/км при 60 МГц и до

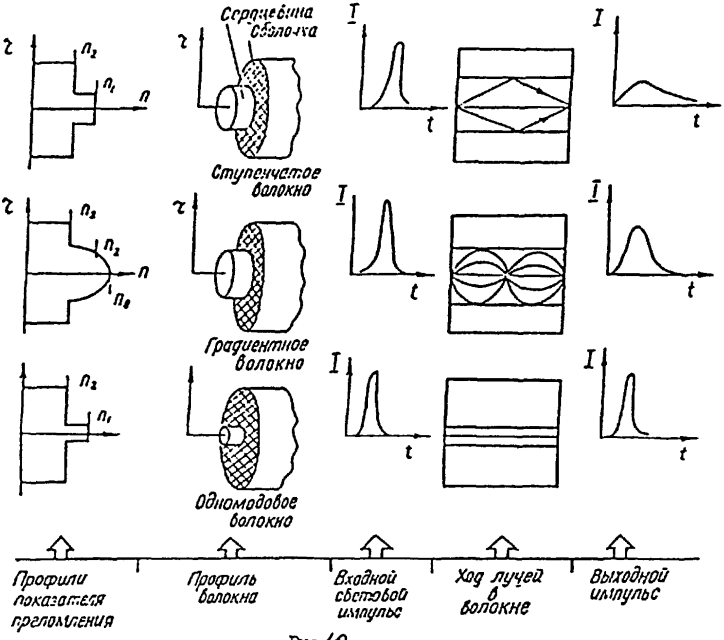

Сердцевина
Оболочка
Ступенчатое волокно
Градиентное волокно
Одномодовое волокно
Профили показателя преломления
Профиль волокна
Входной световой импульс
Ход лучей в волокне
Выходной импульс

Рис.10

I40 дб/км при 900 МГц.

Наименьшим затуханием (0,2 дб/км при $\lambda$ = I,2 ÷ I,7 мкм) обладают волокна из легированного кварца.

Высокая помехозащищенность. Достоверность передачи данных за счет снижения частоты появления ошибок до $10^{-9}$ нет наводок за счет электромагнитных помех.

Отсутствие излучения с боковых поверхностей волокон. Хорошие диэлектрические свойства волокна, обеспечивающие полную гальваническую развязку приемного и передающего пунктов.

Малые масса и габариты. Погонная масса оптического кабеля диаметров 6 мм составляет 50 г/м, в то время как у медного при той же пропускной способности при диаметре 75мм погонная масса примерно равна 4 кг/м.

Высокая механическая прочность достигается благодаря применению кевларовых армирующих элементов в оболочке кабеля. Прочность оптических волокон организованных в кабель позволяет производить прокладку оптического кабеля отрезками свыше 3 км.

Высокая стойкость волоконно-оптического кабеля к коррозии, нагреву, химически активным веществам ( выше, чем у медных кабелей)

Все выпускаемые мировой промышленностью волокна можно разделить на 4 класса: полимерные, кварцево-полимерные, волокна на основе многокомпонентных стекол и легированного кварца ( табл. 2 )

Полимерные волокна дешевы, легко соединяются друг с другом, с источниками и приемниками излучений, однако отличаются большим затуханием сигнала ( 200 ÷ 500 дб/км). Применяются для связи на расстоянии до I00 ÷ 800 м.

табл. 2

| Характеристика | Световод | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | многомодовый | | | | | одномодовый |
| Форма профиля показателя преломления | волокно со ступенчатым профилем | | | градиентное волокно | | ступенчатый профиль |
| Материал | кварц-кварц | кварц полимер | многокомпонентное стекло | кварц-кварц | многокомпонентное стекло | кварц-кварц |
| Диаметр сердцевины, мкм | 50 | 50–200 | 80 | 50 | 50–60 | 5–8 |
| Диаметр оптической оболочки, мкм | I25–I50 | 350 | I25 | I25–I50 | I50–200 | I25 |

| Затухание, дб/км | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\lambda$ = 0,85мкм | 2-5 | 3-6 | 5-10 | 3-5 | 5-10 | 2-5 |
| $\lambda$= 1,3 мкм | 0,3-045 | 2-3 | 3-5 | 0,55 | 1,5-3 | 0,4 |
| Полоса пропускания, МГц-км (определяется дисперсией световода) | 40-65 | 18-30 | 30 | 400--1200 | 400--1000 | 3000 |

Кварцполимерные волокна ( кварцевая сердцевина в полимерной оболочке) дешевы, но имеют значительно меньшее затухание( 1,5- 10 дб/км) при средней числовой апертуре (0,20 - 0,34) довольно широкую полосу пропускания ( до 30 МГц.км), но трудно соединяются друг с другом. Они применяются для связи на расстояния до 8 км при температуре -20... + 100°С.

Оптические волокна на основе многокомпонентных свинцово-силикатных стекол дешевы, имеют затухание 3-20 дб/км, большую апертуру (0,48 -0,60) при полосе пропускания ( до 100 МГц.км). Связь осуществляется на несколько километров. Ожидается, что в скором времени параметры по затуханию будут значительно улучшены.

Оптические волокна изготовленные путем легирования кварцевого волокна ( кварц- кварцевые световоды). Они нашли наибольшее применение при создании ВОЛС из-за своих параметров и технологичности изготовления. В настоящее время регенерационные участки на кварц-кварцевых волокнах достигнуты до 100 км и более. Одномодовые волокна достигают полосы пропускания 5000 МГц.км. Затухание на $\lambda$=1.55мкм 0,2 дб/км. Строительные длины кабеля с этими волокнами обычно составляют 2-3 км и в особых случаях больше.

Прежде, чем перейдем к описанию других компонентов ВОСП приведем согласно ГОСТ 26793-85 таблицы ( 3 - 6 )с их условными обозначениями с классификацией по группам, подгруппам и видам.

Решением комиссиями по международным стандартам при МККТТ установлены нормы на конструкции и характеристики световодов.

Для многомодовых систем рекомендуются:
диаметр сердцевины а = 50 мкм , диаметр оболочки в= 125 мкм, соотношение в/а = 2,5, числовая апертура NA = 0,18 ÷ 0,24, отклонение диаметра оптического волокна от номинала ± 2,4%, сердцевины ± 6%, неконцентричность сердцевины и оболочки 6%. Для одномодовых световодов рекомендуется: диаметр сердцевины а= 10÷ 11 мкм, отклонение от номинала ± 2,4 %, диаметр оптической оболочки 8÷ 125 мкм.

Таблица 3

Условные обозначения оптического кабеля

| Наименование компонента и его обозначение | Группа | | Подгруппа | | Вид | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение |
| Оптический кабель ОК | Магистральный | Л | Для стационарной прокладки | С | Определяется количеством оптических волокон и металлических жил | |
| | Зоновый | З | | | | |
| | Городской | К | Для нестационарной прокладки | Н | | |
| | Полевой | П | | | | |
| | Подводный грузонесущий | Г | | | | |
| | Подводный негрузонесущий | Н | | | | |
| | Для стационарных объектов и сооружений | С | | | | |
| | Для подвижных объектов | Б | | | | |
| | Специальный для дистанционного управления | Д | | | | |
| | Монтажный | М | | | | |
| | Шнур | Ш | | | | |

| Марка кабеля старая | Марка кабеля новая | Назначение | Расшифровка маркировки | К-во каналов | Диапазон Т-р | Строительная длина (м) | Тип волокна, Ø серд. оболочки | Коэфф. затухания | Рабочая длина волны мкм | Коэфф. широкополосный мгц/км | Наружный Ø (мм) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 | II | I2 |
| СМ50-I-I/0 | ОК-МС0I-I | Для работы в условиях внутриблочного и межблочного монтажа в аппаратуре | ОК-МС0I-I опт.кабель, монтажный для стационарной прокладки с номером разработки 0I, моноволоконный Б-для подвижных объектов | I/0 | - I0°С | I00 | ККС 50 в полиамидном покрытии | 20 | 0,85± 0,03 | 40 | I,6 |
| СБ50-I-I/0 | ОК-БС0I-I | | | I/0 | | | | | | | 3,I |
| СБ50-I-4/0 | ОК-БС0I-4 | | | 4/0 | до+70°С | 250 | | | | | 6,3 |
| СБ50-I-4/4 | ОК-БС0I-4/4 | | | 4/4 | | | | | | | 6,3 |
| СБ50-I-I2/0 | ОК-БС0I-I2 | | | I2/0 | | | | | | | 5,3 |
| | ОК-50-2-5-4 | Линейный кабель для городских сетей, для прокладки в телефонной канализации, трубах, блоках и коллекторах ручным и механизированным способом. Стационарный кабель для работы в помещен. в стац. услов. | ОК-50-2-5-4 I 2 3 4 5 I-опт.кабель 2-диам. серд-цев. волокна 3-номер разработки 4-затухание 5-к-во ОВ | | | | ККГ | 5 | | 250 | |
| ОК-50-2-5-8 | | | | 4/0 | от-40°С | | 50±3 | 5 | | 250 | I3,0± I,0 |
| ОК-50-2-3-4 | | | | 8/0 | до+55°С. | 2000 | I25±3 | 3 | 0,85 | 500 | |
| ОК-50-2-3-8 | | | | 4/0 | | | | 3 | | 500 | |
| ОН-50-I-5-I | | | | 8/0 | | | | 5 | | 250 | |
| ОН-50-I-5-2 | | | | I/0 | | | | 5 | | 250 | |
| ОН-50-I-3-I | | | | 2/0 | | | | 3 | | 500 | |
| ОН-50-I-3-2 | | | | I/0 | | | | 3 | | 500 | |
| | | | | 2/0 | | | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| СР50-2-2/4 ХС | | СР50-2-2/4ХС<br>I 2 3 4 5 6<br>I-световодный грузонесущ.<br>2- диам. сердцевины<br>3-номер разработки<br>4-кол-во ОВ<br>5-кол.эл.жил<br>6-коэфф. затухания не более 10 дб/км | Для использования в сейсмокомплексе при проведении сейсморазведочных работ | 2/4 | от-60°С до+70°С | 300 | ККС | 10 | 0,85 | Диоперсия не более 20 кс | 8,0 |
| СБ50-2-1К<br>СБ200-2-1Л<br>СБ50-2-2К<br>СБ200-2-2Л<br>СБ50-2-4К<br>СБ200-2-4Л | | Для работы в условиях внутри блочного и межблочного монтажа, в бортовых световодных системах овязи и передачи информ. | СБ50-2-1К<br>I 2 3 45<br>I-кабель световодный<br>2-диам.сердцев.<br>3-номер разработки<br>4-кол-во ОВ<br>5-коэфф.затухания | I/0<br>I/0<br>2/0<br>2/0<br>4/0<br>4/0 | от-60°С<br>до+200°С | I00<br><br><br>50<br><br> | ККС50<br>КП200<br>ККС50<br>КП200<br>ККС50<br>КП200 | 20<br>30<br>20<br>30<br>20<br>30 | 0,85±<br>0,03 | | 3,7<br>4,5<br>6,9 |
| СМ50-6-1Ж ОК-МС06-I<br>СБ50-6-1Ж ОК-БС06-I<br>СБ50-6-2Ж ОК-БС06-2<br>СБ50-6-2/2Ж ОК-БС06-2/2<br>СБ50-6-4Ж ОК-БС06-4<br>СБ50-6-4/4Ж ОК-БС06-4/4 | | Для работы в условиях внутриблочного и межблочного монтажа, в бортовых волоконно-оптических системах передачи | ОК-МС06-I-400<br>I 23 4 5<br>I-опт.кабель<br>2-монг.для отац.прокладки<br>3-номер разработки | I/0<br>I/0<br>2/0<br>2/2<br>4/0<br>4/4 | от-60°С<br>до+80°С | I00 | ККГ50 элокси-акрилатное покрытие | I0 | 0,85±<br>0,03 | 400 или I50 | 2,6 x 3,9<br>2,6 x 3,9<br>3,0 x 3,7<br>3,0 x 3,7<br>7,0<br>7,8 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 4-кол-во ОВ<br>5-коэф.широко-полосности | | | | | | | | |
| СМ200-4-1Л<br>СБ200-1-1Л<br>СМ200-7-1Л<br>СБ200-7-1Л<br>СБ200-4-2Л<br>СБ200-4-2/2Л<br>СБ200-7-2Л<br>СБ200-7-2/2Л<br>СБ200-4-4Л<br>СБ200-4-4/4Л<br>СБ200-7-4Л<br>СБ200-7-4/4Л<br>СБ200-4-8Л<br>СБ200-7-8Л | ОК-МС04-1<br>ОК-БС04-1<br>ОК-БС04-2<br>ОК-БС04-2/2<br>ОК-БС04-4<br>ОК-БС04-4/4<br>ОК-МС07-1Л<br>ОК-МС07-2Л<br>ОК-БС07-01<br>ОК-БС07-4Л | Для работы в условиях внутриблочного и межблочного монтажа | СБ200-4-4/4Л<br>СМ200-7-1/0Л<br>1 2 3 4 5 6<br>1-каб.световодный, монтажный (болтовой)<br>2-ОВ в полиамирнонзащ.покрытии с Ø сердечника 200 мкм<br>3-номер разработки<br>4-к-во ОВ<br>5-кол-во эл.жил<br>6-уровень коэф. затухания | 1/0<br>1/0<br>1/0<br>1/0<br>2/0<br>2/2<br>2/0<br>2/2<br>4/0<br>4/4<br>4/0<br>4/4<br>8/0<br>8/0 | от-60°С<br>до+ 85°С | 100<br>300<br>100<br>300<br>300 | КП200 | 30 | 0,85±<br>0,03 | 20 | 2,6х3,9<br>3,0х4,7<br>7,1<br>7,8<br>5,4<br>7,1 |
| СГ200-1-4/0<br>СГ200-1-8/0<br>СГ200-2-4/0<br>СГ200-2-8/0 | ОКН-01-20-4/0<br>ОКН-01-20-8/0<br>ОКН-02-20-4/0<br>ОКН-02-20-8/0 | Для работы в фиксированном состоянии внутри помещения в составе оптической линии связи | ОКН-01-20-4/0<br>1 2 3 4 5 | 4/0<br>8/0 | от 0°С<br>до +55°С<br>от-40°С<br>до+55°С | 400 | КП<br>200±<br>350+ 30<br>внеш.<br>Ø ОВ<br>600+200<br>100 | 20 | 0,85 | 15 | 13±2<br>10±2 |
| | ОЛПГ-50-1<br>ОЛПГ-50-6<br>ОЛПГ-50-2<br>ОЛПГ-50-3<br>ОЛПГ-50-7<br>ОЛПГ-50-4<br>ОЛПГ-50-5<br>ОЛПГ-50-8 | Для работы в условиях фиксированного монтажа и стр-ва линий связи с осуществлением много кратных перемоток (снятий) | ОЛПГ-50-1-5-2<br>1 2 3 4<br>1-марка каб. 2,6<br>2-номер разр. 2,4,6 | 2/0<br>2/0<br>8/0<br>8/0 | от-40°С<br>до+70°С | 400<br>1000 | ККС 10:5<br>50 5<br>ККГ 10:5<br>50 5<br>10:5<br>10:5<br>3:5<br>10:5 | | 0,85<br>0,85<br>или<br>1,3 | 40<br>150 | 5,0±0,2<br>8,3±0,5<br>6,5±0,5<br>8,3±0,5 |

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | I0 | II | I2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 3-коэф.затухания 2,6 8/0<br>4-к-во ОВ 2,4/0<br>2,4/0<br>2,4/0 | | | | | | | | |
| ОЗКГ-I-0,7-4/4<br>ОЗКГ-I-0,7-8/4<br>ОЗКГ-I-0,7-4/0<br>ОЗКГ-I-0,7-8/0<br>ОЗКГ-I-I,0-4/4<br>ОЗКГ-I-I,0-8,4<br>ОЗКГ-I-I,0-4/0<br>ОЗКГ-I-I,0-8/0<br>ОЗКГ-I-I,2-4/4<br>ОЗКГ-I-I,5-8/4<br>ОЗКГ-I-I,5-4/0<br>ОЗКГ-I-I,5-8/0 | Для домовых сетей связи, для прокладки в каб. канализации, трубах, блоках и коллекторах, грунтах всех категорий (кроме подтверж. мерзлот. деформациям) и в воде при пересечении неглубоких болот, несудоходных и несплавных рек (с обязательным заглуб. в дно) ручным и механ. способом) | ОЗКГ-I-0,7-4/4 4/4от-40°С<br>I 2 3 4 5 8/4до+55°С 2200<br>I-каб.оптич. для прокладки в канализации и грунте для использов. в домовых сетях связи | | 4/0<br>8/0<br>4/4<br>8/4<br>4/0<br>8/0<br>4/4<br>8/4<br>4/0<br>8/0 | | ККГ<br>50+3<br>I25+3 защитное покрытие эпоксидно крилатое | 0,7<br>0,7+I,0<br>I,0+I,5 | I,3 | 800<br>500 | |
| ОК-ПН-0I--2/0<br>ОК-ПН-0I-6/0<br>ОК-ПН-0I-8/0<br>ОК-ПН-02-2/0<br>ОК-ПН-02-4/0<br>ОК-ПН-02-6/0<br>ОК-ПН-02-8/0 | Для нестационарной прокладки, полевой многократной прокладки | ОК-ПН-0I-2/0<br>I 2 3 4 5<br>I-опт.кабель<br>2-полевой нестационарной прокладки<br>3-номер разр.<br>4-к-во ОВ<br>5-к-во эл.жил | 2/0<br>6/0<br>8/0<br>2/0<br>4/0<br>6/0<br>8/0 | | от-60°С 500<br>до+70°С<br>I000 | ККГ<br>50 | 3,5 | I,3<br>0,85 | I50 | ОВ уложены параллельно в полиамидную трубку (оболочку) |



Проект "Квант" одномодовый оптический кабель

Кол-во ОВ: 4,8 без эл.жил

0,7 хромат. диспер. = 6ПС

Изготовл. в Подольске

Таблица 4

Условные обозначения оптического волокна

| Наименование компонента и его обозначение | Группа | | Подгруппа | | Вид | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение |
| Оптическое волокно ОВ | Многомодовое | М | Ступенчатое | С | Кварцевая сердцевина и кварцевая оптическая оболочка | I |
| | Одномодовое без сохранения поляризации излучения | Е | Градиентное | Г | Кварцевая сердцевина и полимерная оптическая оболочка | 2 |
| | Одномодовое с сохранением поляризации излучения | П | | | Сердцевина и оптическая оболочка из многокомпонентного стекла | 3 |
| | | | | | Сердцевина и оптическая оболочка из полимерного материала | 4 |
| | | | | | Прочие | 5 |

Таблица 5

Условные обозначения оптического соединителя

| Наименование компонента и его обозначение | Группа | | Подгруппа | | Вид | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение |
| Оптический соединитель ОС | Разъемный | Р | Полевой | П* | Определяется количеством оптических полюсов ( $n$ ) и электрических контактов ( $N$ ) | |
| | Неразъемный | Н | Для подвижных объектов | Е* | | |
| | | | Для стационарных объектов и сооружений | С* | | |
| | | | Подводный | В* | | |

* После соответственного обозначения подгруппы следует указывать в числителе номер разработки (01-99), а в знаменателе - вид соединяемых контактов: 1 - кабель-кабель, 2 - кабель-прибор, 3 - прибор-прибор.

Таблица 6

Условные обозначения оптического разветвителя (ответвителя)

| Наименование компонента и его обозначение | Группа | | Подгруппа | | Вид | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение |
| Оптический разветвитель ОР (ответвитель ОО) | Полевой | П | Направленный | Л | Вид определяется числом входных ( $n$ ) и выходных ( $N$ ) полюсов | |
| | Для подвижных объектов | Б | Ненаправленный | Д | | |
| | Для стационарных объектов и сооружений | С | | | | |
| | Подводный | В | | | | |

Таблица 8

Условное обозначение оптического коммутационного прибора

| Наименование компонента и его обозначение | Группа | | Подгруппа | | Вид | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение |
| Оптический коммутационный прибор ПКО | Оптический коммутатор | К | Полевые | П | Механический | Х |
| | Оптический переключатель | П | Для подвижных объектов | Д | Электротехнический | Т |
| | Прочие | Р | Для стационарных объектов и сооружений | С | Электрооптический | Э |
| | | | Прочие | З | Акустооптический | А |
| | | | | | Магнитооптический | М |
| | | | | | Прочие с числом входных ( $n$ ) и выходных ( $N$ ) полюсов | |

Таблица 7

Условное обозначение передающего, приемного и приемо-передающего оптоэлектронных модулей

| Наименование компонента и его обозначение | Группа | | Подгруппа | | Вид | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение | Наименование | Обозначение |
| Передающий оптоэлектронный модуль ПОМ | Цифровой | Ц | Определяется источником излучения | | Без ограничения формата данных | I |
| | | | излучатель лазера | Л | С ограничением | |
| | | | излучающий диод | С | формата данных | 2 |
| | Аналоговый | А | Определяется источником излучения | | Для передачи непрерывного сигнала | I |
| | | | излучатель лазера | Л | Прочие | 2 |
| | | | излучающий диод | С | | |
| Приемный оптоэлектронный модуль ПРОМ | Цифровой | Ц | Определяется приемником излучения | | Без ограничения формата данных | I |
| | | | без внутреннего умножения | Ф | С ограничением | |
| | | | с внутренним умножением | У | формата данных | 2 |
| | Аналоговый | А | Определяется приемником излучения | | Для приема непрерывного сигнала | I |
| | | | без внутреннего умножения | Ф | Прочие | 2 |
| | | | с внутренним умножением | У | | |
| Приемо-передающий оптоэлектронный модуль ПРПОМ | Цифровой | Ц | Определяется приемником излучения | | Без ограничения формата данных | I |
| | | | без внутреннего умножения | Ф | С ограничением | |
| | | | с внутренним умножением | У | формата данных | 2 |
| | | | Определяется источником излучения | | | |
| | | | излучатель лазера | Л | | |
| | | | излучающий диод | С | | |
| | Аналоговый | А | Определяется приемником излучения | | Для приема и передачи непрерывного сигнала | I |
| | | | без внутреннего умножения | Ф | Прочие | |
| | | | с внутренним умножением | У | | |
| | | | Определяется источником излучения | | | |
| | | | излучатель лазера | Л | | |
| | | | излучающий диод | С | | |

## ПРИМЕРЫ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

ОВ-МГОІ-І - оптическое волокно, многомодовое градиентное, с номером разработки ОІ, с кварцевой сердцевиной и кварцевой оптической оболочкой;

ОК-ЛС08-8/4 - оптический кабель, магистральный, для стационарной прокладки, с номером разработки 08, содержащий 8 оптических волокон, 4 металлические жилы;

ПОМ-ЦЛ02-2 - передающий оптоэлектронный модуль, цифровой, с излучателем лазера в качестве источника излучения, с номером разработки 02, с ограничением формата данных;

ПРОМ-АФ03-І - приемный оптоэлектронный модуль, аналоговый, использующий приемник излучения без внутреннего умножения, с номером разработки 03, предназначенный для приема непрерывного сигнала;

ПРПОМ-ЦУЛ05-2 - приемно-передающий оптоэлектронный модуль, цифровой, использующий приемник излучения с внутренним умножением и в качестве источника излучения лазер, с номером разработки 05, предназначенный для приема и передачи сигналов, с ограничением формата данных;

ОС-РП04-І-8/4 - оптический соединитель, разъемный, полевой, с номером разработки 04, предназначенный для соединения оптических кабелей, содержащих 8 оптических волокон и 4 металлические жилы;

ОР-ПЕ05-Іх3 - оптический разветвитель, полевой, направленный, с номером разработки 05, имеющий один входной и три выходных полюса;

ПКО-ПП07-Х4х4 - оптический переключатель, полевой, с номером разработки 07, механический, с 4 входными и 4 выходными полюсами.

По затуханию и полосе пропускания световоды классифицируются таким образом ( см. табл.9)

Таблица 9

| λ, мкм | Категория световода | α, дб/км | ΔF Гц | λ, мкм | Категория световода | α, дб/км | ΔF Гц |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | I | 4 | 200 | | I | 3 | 200 |
| | 2 | 3,5 | 500 | | 2 | 2 | 500 |
| 0,85 | 3 | 3 | 800 | | 3 | I,5 | 800 |
| | 4 | - | I000 | | 4 | I,0 | I000 |
| | | | | | 5 | 0,8 | I200 |

3.2. Конструкции оптического кабеля.

Многообразие существующих типов кабелей можно подразделить на три группы: кабели повивной скрутки, кабели с профилированными сердечниками и плоские кабели ленточного типа ( рис. II ).

В настоящее время обычно используются две конструктивные разновидности оптического кабеля: с металлическими элементами (проводники, оболочки из свинца или алюминия) и полностью диэлектрические без металла. Достоинства первых - механическая прочность. По медным проводникам можно осуществлять служебную связь, использовать их для дистанционного питания регенераторов. Второй вариант кабеля менее прочен и защищен от грызунов, но хорошо защищен от электромеханических воздействий.

Наружные оболочки, как правило имеют двухслойную конструкцию демпфирующий слой и защитную оболочку. Воздушный промежуток между кабелем и трубой заполняется незасыхающим компаундом, гидрофобной влагостойкой массой. Для примера приведена конструкция оптического магистрального кабеля ( рис. II2)

Для сельской телефонной связи используются, как правило, четырехволоконные. Один из вариантов представляет собой монолитный пластмассовый сердечник, в пазах которого расположены волокна. В центре имеется силовой элемент из проволоки. На поверхности сердечника расположена стальная сплетка, снаружи - защитная полиэтиленовая оболочка ( рис. I2 а).

Основные характеристики : диаметр кабеля I0 мм , масса I30 кг/км, строительная длина I км., волокно градиентное при $\lambda$ = I,3 мкм, затухание I дб/км.

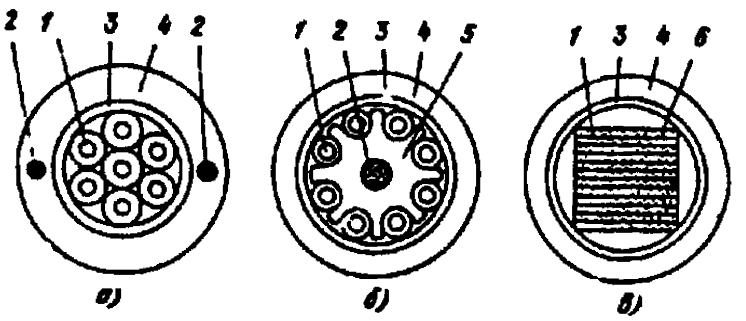



**Рис 11** Типовые конструкции оптических кабелей:

*а* — повивной скрутки; *б* — с профилированным сердечником; *в* — ленточного типа; *1* — оптические волокна; *2* — силовые элементы, *3* — внутренняя оболочка, *4* — полиэтиленовая оболочка, *5* — профилированный пластмассовый сердечник; *6* — лента с волокнами

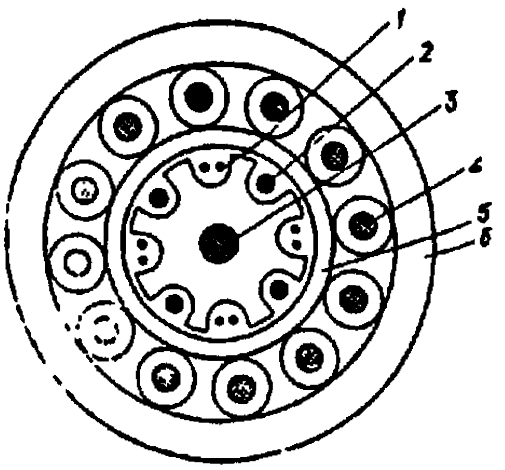



Рис. 11.2. Оптический кабель магистральной связи

*1* — волокна, *2* — медные проводники для дистанционного питания *3* — силовой элемент *4* — стальные бронепроволоки *5* и *6* — внутренняя и наружная пластмассовые оболочки

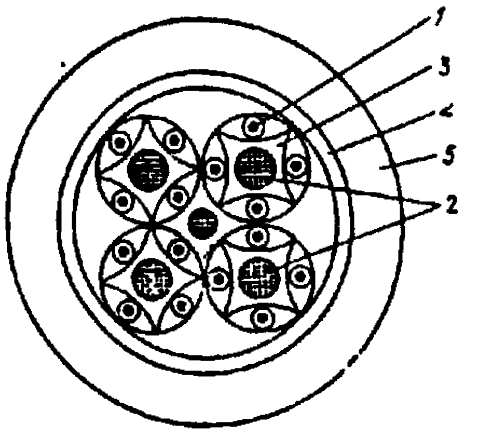



Рис. 11.3. Оптический кабель ОК-16

*1* — волокна *2* — синтетические нити СВМ *3* — профилированный сердечник *4* — внутренняя оболочка *5* — полиэтиленовая оболочка

Для магистральных подводных прокладок на расстояние до 10000 км кабель должен быть пригоден для прокладки на глубине до 7500м. Здесь используются в первую очередь такие достоинства оптического кабеля, как малые габаритные размеры и масса, а также большие длины регенерационных участков ( до 200–300 км) и высокая пропускная способность оптического тракта. Диаметр такого кабеля обычно 20–22 мм, скорость передачи 2,5 Гбит/с. Число каналов связи до 12000 каналов. Регенерационная аппаратура встроена в кабель и расположена в гибких цилиндрических баллонах. Такие регенераторы вызывают незначительные утолщения кабеля и не препятствуют непрерывной прокладке кабеля с судна. Питание регенераторов дистанционное и подается к нему по медным проводникам встроенным в кабель.

В таблицах(*прилож к т3*) приведены параметры наиболее часто выпускаемых многомодовых отечественных кабелей.

Для подвесной прокладки используется специальный кабель со стальным тросом-трактосом для подвески кабеля ( рис. I2б).

По специальным заказам изготавливаются волоконно-оптические кабели в смешанном исполнении совместно с мощными энергопередающими кабелями – электрооптический кабель. На рис. I3а показана разработка для высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП), содержащей в своем составе оптический кабель многоканальной связи. Оптический кабель встроен в фазовый провод ЛЭП напряжением 400 кв.

На рис. I3б оптический кабель встроен в подвесной электрический кабель способный передавать большую электрическую мощность.

## 3.3. Оптические соединители.

На рис. I4 представлены способы соединений оптических волокон.

К соединениям, независимого типа, предъявляются следующие требования: малое затухание, незначительное искажение сигнала, механическая стабильность, долговечность, технологичность. Для обеспечения первых двух требований соединяемые волокна не должны отличаться геометрическими размерами и числовой апертурой ( NA ), а их взаимное расположение должно быть строго определенное. Разли-

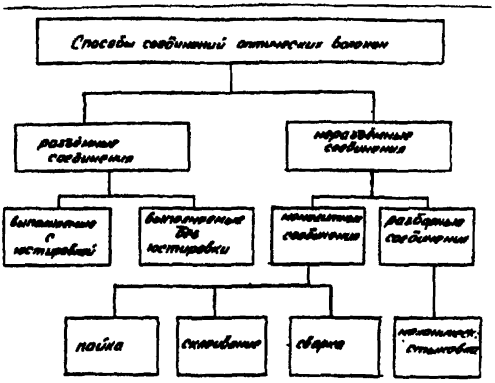



Рис. 14

чие радиусов сердцевин волокон или апертура на 6% приводит к увеличению затухания на 0,5 дб. Наличие частицы пыли среднего размера ( диаметр 5 мкм) при диаметре сердцевины волокна 50 мкм вызывает увеличение затухания на 0,1 дб.

Подготовка соединяемых волокон путем полировки по сравнению со складываемыми волокнами улучшают интенсивность проходящего сигнала на 8-9 дб или 700-800%.

В настоящей разработке представили лишь те соединители, которые в настоящее время находят применение в России и зарубежом. К многомодовым соединителям относятся соединители типа "Лист-Х", "Лист-I-Булава", FC, ST, SMA905 и одномодовые соединители типа С. Качество разъемных соединений значительно повышено за счет использования керамической технологии: начат выпуск отечественных многомодовых соединителей типа "Лист-Х" с керамическими наконечниками. Высокая точность наконечников, их температурная стабильность и устойчивость керамики к истиранию ставит эти соединители вне конкуренции. Типичные значения оптических потерь в соединителе на волокне 50/125 - до 0,5 дб, при 1,0 дб при металлических соединителях. Ранее выпускались керамические соединители многомодовые ST и FC и одномодовые типа FC.

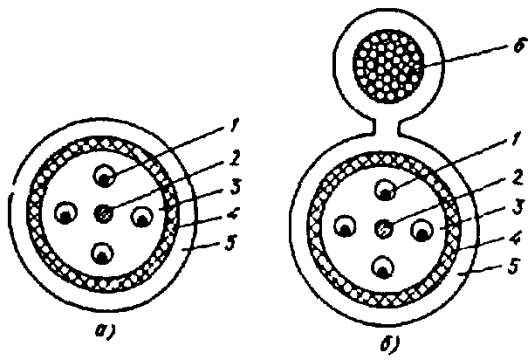



Рис.12 Кабели сельской связи:
*а* — подземный; *б* — подвесной
*1* — волокно; *2* — силовой элемент *3* — пластмассовый сердечник, *4* — стальная оплетка *5* — полиэтиленовая оболочка *6* — стальной трос

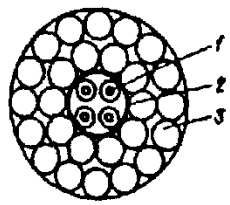



Рис.13,а Оптический кабель встроенный в фазный провод линии электропередачи
*1* — оптические волокна; *2* — защитное покрытие, *3* — проводники ЛЭП

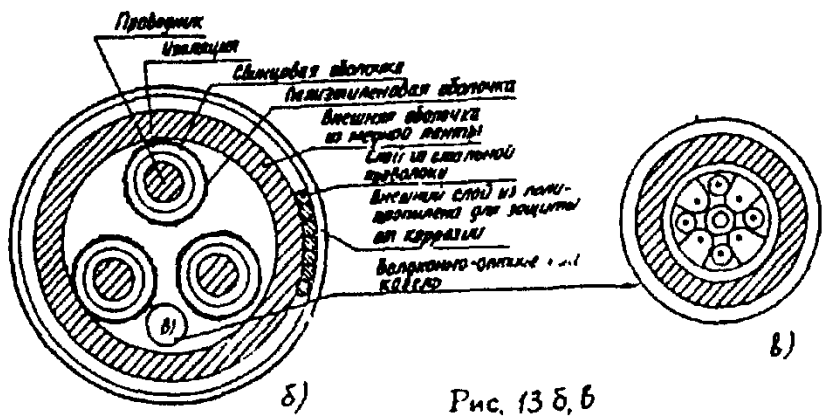



Рис. 13 б, в

Значительное понижение вносимых в оптический тракт потерь керамического соединителя по сравнению с металлическим удалось достичь за счет "PC" контакта ( PC - обеспечивающий "*Physical contact*" физический контакт соединяемых волокон).
PC исключает оптические потери, обусловленные отражениями Френеля, доводя их до значений $\leq 0{,}5$дб ( типичные). Соединитель типа MA905 используется обычно для коротких и средних длин линий передачи и для медицины. Выполнен из металла : вносимые потери до I,5дб. У металлических соединителей число сочленений без увеличения потерь обычно достигает 200 циклов, у керамических - 500 циклов. Поперечное смещение волокна относительно наконечника 4 мкм и 3 мкм, соответственно.

Габаритные и присоединительные размеры различных типов соединителей отличаются друг от друга. В таблице приведен их характерные размеры.

Таблица *IO*

| Тип соединителя / параметры | FC | ST | SMA | Дист-I-Булава | Дист-X |
|---|---|---|---|---|---|
| Присоединительная резьба | M8x0,75 | Байонет | (I/4)"-36 | M8x0,5 | M8x0,75 |

Сочленение различного типа соединителей требуют специально изготавливаемых переходных розеток или приборных адаптеров.

При оформлении заказов на соединитель или переходные розетки вы должны произвести следующие записи ( рис. I5)

Существуют разработки не доведенные до широкого практического применения многополосные оптические соединители на 2, 4, 8, I6 волокон с наличием электрических контактов.

### 3.4. Оптические разветвители.

Сплавные оптические разветвители предназначены для пассивного деления или объединения оптических сигналов. Сплавление методом биконической перетяжки создают область распределения (смещения сигналов, дающую небольшие перекрестные помехи и вносимые оптические потери).

Разветвители применяются в локальных вычислительных сетях, оптическом измерительном оборудовании, системах управления, одноволоконных дуплексных системах передачи, для ответвления сигнала из оптических магистралей, в оптических датчиках и т.п.

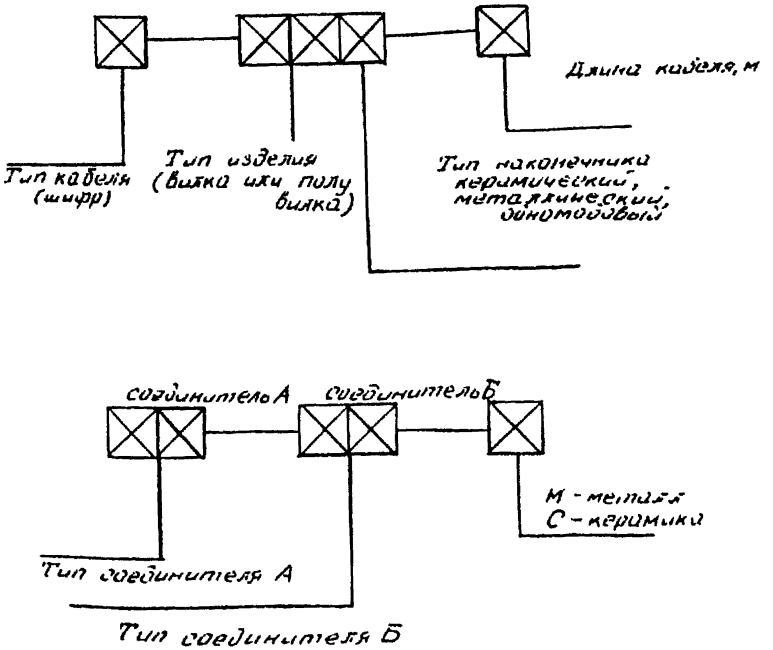



Рис 15 Записи при заказе

Возможные конфигурации оптических разветвителей 1х2, 2х2, 1х4, 1х8, типа Т, 8х8, 16х16, 32х32. Деление сигнала между выходными волокнами выполняются по заказу. Стандартный коэффициент передачи разветвителей типа X, Y : 3 дб ( 50% /50%). Нестабильность вносимых потерь для многомодового кабеля 0,4 дб, для одномодового 0,3 дб. Перекрестные помехи обычно не более - 35 дб.

В таблице 11 приведены общие характеристики широко применяемых разветвителей.

Таблица 11

| Тип разветвителей | Габаритные размеры, мм | Вносимые потери, дб | Диапазон рабочих температур С° | Структура разветвителя |
|---|---|---|---|---|
| Для многомодового кабеля 50 ≠ 125 градиентный | | | | |
| 1х2 ( Y ) | 6х11х46 | 0,5 | -50÷ +70 |  |
| 2х2 ( X ) | 6х11х46 | 1,0 | -50÷ +70 |  |
| 1х4 | 6х25х83 | 1,0 | -50÷ 70 |  |
| 1х8 | 6х35х110 | 2,0 | -50÷ 70 |  |
| Т-тип | 6х50х110 | - | -50÷ 70 |  |
| Для одномодового 9.5/125 $\lambda$ = 1,3мкм | | | | |
| 2х2 (X ) | 6х11х46 | 0,2 | 0÷ + 55 | |

В таблице 12 приведен расчет потерь оптического сигнала на типовые разветвители

Таблица 12

| 1х2 50/125гр | Выходной порт | Теоретич. потери на разветвл. дб | Типичные вносимые потери, дб | Полные потери, дб |
|---|---|---|---|---|
| Заданое отношен. | | | | |
| 50%/50% | 50%и 50% | 3,0 | 0,5 | 3.5типичн.; 4,2макс. |
| 90%/10% | 90% | 0,5 | 0,5 | 1.0типичн.; 1,7макс. |
| | 10% | 10,0 | 0,5 | 10,5типичн.;11,2 макс. |

Необходимая информация для заказа сплавных направленных разветвителей ( рис. I6)

Существует большое число разработок направленных разветвителей в интегрально-оптическом исполнении ( планарные разветвители) выполнены по микроэлектронным технологиям. Однако эти разветвители находят широкое применение в микроэлектронных интегральных схемах оптоэлектроники, где потери при распространении сигнала не очень важны. В ВОЛС находят применение волоконно-оптические соединители, описанные выше.

### 3.5. Оптические аттенюаторы.

Аттенюаторы - это устройства ослабляющие оптическую мощность за счет включения дополнительных фиксированных фильтров (ступенчатые аттенюаторы), рассогласования оптического тракта или включение в тракт дополнительного волокна, в которые введены предопределенные неоднородности.

Рассмотрим некоторые из них.

Аттенюатор - вилка представляет собой соединительное волокно с фиксированным поглощением оптического сигнала сконцованное с обеих сторон.

Такие специальные вилки могут имитировать затухание больших длин оптического кабеля и используются для проверки оптической аппаратуры приема-передачи информации в условиях максимальных оптических потерь в линии. Также эти аттенюаторы используются для понижения уровня оптической мощности очень сильных сигналов на приемном конце в коротких ВОЛС. Необходимо отметить, что при выборе аттенюатора-розетки они должны согласовать оптические разъемы, а следовательно и применяемые оптические кабели в линии и аттенюаторе.

Запись при заказе учитывает следующее ( рис. I7)

Аттенюатор типа "розетка", волоконно-оптический регулируемый - это устройство ослабляющее оптическую мощность за счет продольного рассогласования световодов.

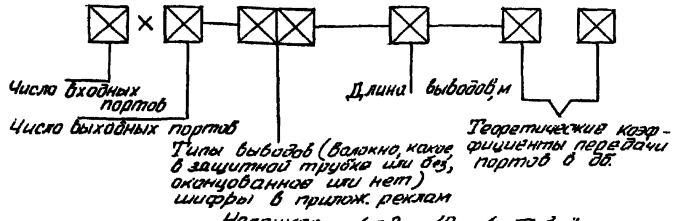



Рис. 16. Запись в заказе

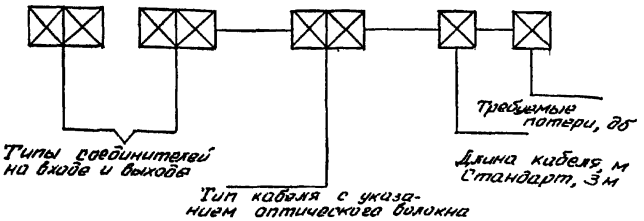



Рис. 17. Запись в заказе

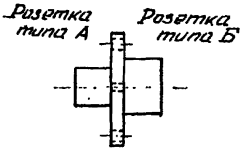



Рис. 18. Схематическое представление переходной розетки

Габаритные и присоединительные размеры соответствуют стандартным разметкам. Регулировка плавная, с сохранением азимутального положения соединяемых вилок, осуществляется вращением кольца типа накидной гайки. Диапазоны регулировок для многомодового волокна 50/125 достигают до 15 дб. Выпускаемые аттенюаторы снабжены стандартными розетками разъемов FC, ST, SMA 905, Лист-I-Булава, Лист-Х.

Аттенюатор УР-3 со ступенчатой регулировкой ослабления оптического сигнала снабжен двумя поворотны и ручками с различными шкалами по вносимому в оптический тракт ослаблению: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18дб; и 0, 10, 20 дб. На корпусе аттенюатора имеются входная и выходная розетки для стандартных разъемов. Вносимое в тракт ослабление при нулевых значениях обеих шкал составляет 0,4 дб на $\lambda = 0{,}85$ мкм. Запись при заказе указывает только на тип разъема.

### 3.6. Переходные шнуры, вилки, розетки.

Переходные вилки(шнуры, оконцованные на различных концах кабеля различающимися соединителями) служат для неразрушающего согласования устройств с различающимися соединителями любых типов FC, SMA 905, ST, Лист-I-Булава, Лист-Х. Стандартная длина кабеля шнура 5 , кабель должен быть одинаков с кабелем линии связи. Запись при заказе очевидна.

Вилка-адаптер быстрого оконцевания волокна и присоединения его к оборудованию, а также для оперативного ремонта оптического волокна незаменима в целом ряде и лабораторных и практических применениях.

Волокно фиксируется в вилке механическим путем временного зажима. Такое разборное соединение не имеет столь же высоких характеристик, как стандартное, поскольку оптические потери зависят от качества скола волокна. Типы зажимов могут быть цанговые, пружинные, кнопочные. Вилка адаптера может быть совместима с розеткой типа FC, SMA 905, ST, Лист-I-Булава, Лист-Х. При заказе указывается тип волокна. Переходные розетки, прибортные адаптеры - это компоненты для соединения световодов, оконцованных соединительными вилками различающихся типов. Обычно различные соединители соединяются переходными шнурами со стандартными розетками. Это требует использование дополнительного кабеля и розеток. Переходные розетки более эффективны, т.к. они заменяют другое оборудование одним легко устанавливаемым несложным компонентом ( рис. 18 ).

Для нас очень важно , чтобы эти розетки позволяли присоединять вилку стандарта "Лист-Х" к вилкам стандарта FC, ST, SMA.

Разработаны также приборные адаптеры, позволяющие подстыковывать к фотоприемному узлу широко распространенного тестера типа ОЛКЗ -76 вилки различных типов (приборный адаптер "Лист-Х", FC, SMA, ST).

Механический сплайс для оптических волокон используется для быстрого и надежного механического соединения оптических волокон. Он прост в сборке, быстро демонтируется и может использоваться повторно. Этот разъемный компонент не требует дорогостоящего оборудования сплавной стыковки с его пожароопасной электрической дугой.

Сплайс может использоваться при соединениях в оптических трактах. Он представляет собой удобное стыковочное устройство для распределительных точек, особенно в опасных условиях (в угольных шахтах, на нефтекомбинатах и т.д.).

Оптические волокна соединяются в сплайсе в прецизионной V-образной канавке, вытравленной в кремниевой подложке. Место стыка может быть заполнено иммерсионной жидкостью или оптическим клеем.

Основные характеристики сплайсов:

| | |
|---|---|
| Диаметр волокна по кварцу, мкм | - 125-240 |
| Диаметр волокна по полимерному покрытию, мкм | - 250-350 |
| Вносимые оптические потери, дб (типичные) | - 1,0 |
| Габариты, мм | - 3 x 8 x 45 |

Разработаны и применяются еще много компонентов различного назначения, но их производство носит нестандартный характер, и не может быть рекомендовано для использования в руководящих указаниях.

### 3.7. Передающие и приемные оптоэлектронные модули ПОМ и ПРОМ.

Известно, что предпочтительные диапазоны длин волн оптического излучения находятся на участках $\lambda$ = 0,85; 1,3; 1,55 к .

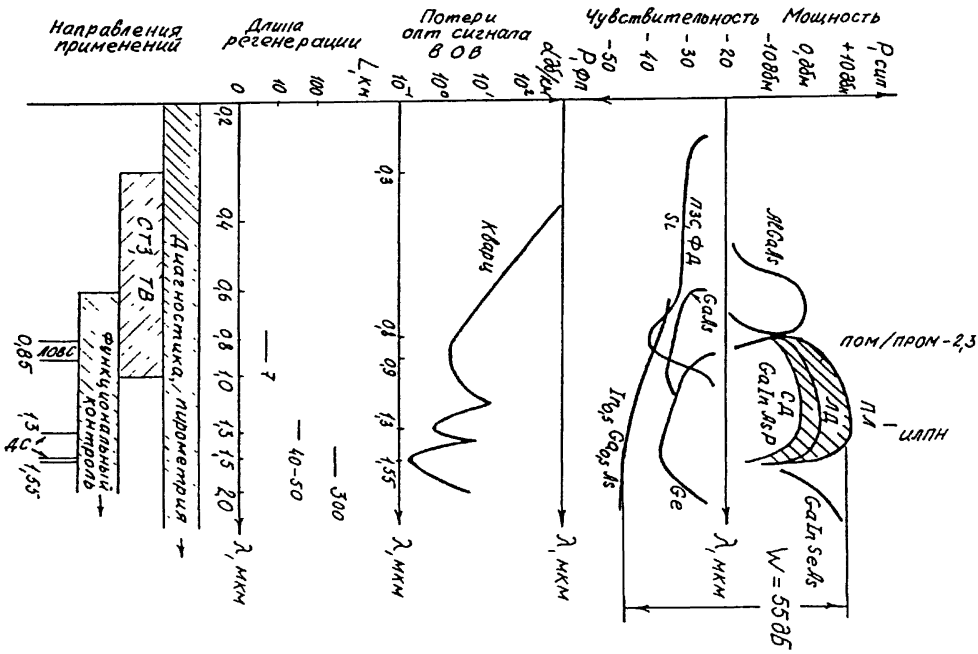

Направления применений
Длина регенерации
Потери опт сигнала в ОВ
Чувствительность
Мощность
P, сил
+10 дБм
0, дБм
-10 дБм
-20
-30
-40
-50
P, фл
α, дБ/км
L, км
0
10
100
λ, мкм
ЛЕ GaAs
ПЗС, ФД
Si
GaAs
Ge
СД
GaInAsP
ЛД
ПЛ
ИЛПН
пом/пром-2,3
GaInSeAs
W = 55 дБ
Кварц
— 300
— 40-50
— 7
Диагностика, пирометрия
СТЗ, ТВ
Функциональный контроль
ЛОВС
ДС
0,85
1,3
1,55

Рис 19.

Выбор этих длин волн предопределено взаимоотношениями параметров светоизлучающих приборов (СИП), фотоприемников (ФП) и световодов. На рис. 19 представлены сопоставления параметров СИПов, ФПов и световодов, и следствия в результате полученных достоинств по применению оптоэлектронных приборов на различных участках длин волн оптического излучения.

Так в диапазоне $\lambda$ = 0,85 мкм при поглощении оптического излучения в оптическом волокне $\alpha$ = 2 дб/км достижимая мощность излучения СиПа приблизительно равна 0 дбм ( 0 дб относительно $10^0$ = 1мВт), чувствительность ФП примерно находится в диапазоне - 40 дбм. Следовательно энергетический потенциал $\mathcal{E} = P_{пом} - P_{пром}$ ориентировочно не может быть больше 40 ÷ 43 дб. В то время, как в диапазоне длин волн при $\lambda$=1,3 $\alpha$=0,8 дб/км, $\lambda$=1,55 $\alpha$ =,2дб/км энергетический потенциал в случае применения полупроводниковых лазеров может достигнуть $\mathcal{E}$ = 55 дб, лазерных диодов $\mathcal{E}$ = 50 дб.

В связи с указанным выше для дальней связи (на рис.19 ДСВ) предпочтительно выбирать аппаратуру работающую в диапазонах $\lambda$ =1,3; 1,55 мкм.

Диапазон $\lambda$ =0,85 мкм может быть использован при необходимости обеспечить связь на небольшие длины, менее 7 ÷ 10 км. (ЛОВС - локальные оптические вычислительные сети). По вышеуказанным причинам нет необходимости в диапазоне $\lambda$ =0,85 мкм применять одномодовое волокно, обладающее малой дисперсией сигнала, поскольку ограничение ретрансляционной длины участка связи происходит за счет малого энергетического потенциала ПОМ - ПРОМ и высокой степени поглощения в оптическом волокне.

Для выполнения проектно-строительных работ по созданию ВОЛС не важно схемотехническое исполнение приемных и передающих модулей. Важно знание основных параметров для расчета ВОЛС. Ниже приведены основные характеристики приемо-передающих оптоэлектронных модулей (табл. 13 )

Исторически сложилось таким образом, что наименование многих модулей не соответствует условным обозначениям принятым ГОСТ 26793-85.

Табл. 13

Основные характеристики приемо – передающих модулей

| Наименование, шифр модуля | Чувствительность Вт (дбм) | Мощность излучения Вт (дбм) | Длина волны, $\lambda$ мкм | Скорость сигнала, частота повторения Мбит/с, (МГц) | Энергетич. потенциал комплекта дб | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| I. МПД –I–IA (передающий) | | $I \cdot IO^{-3}$ | 0,85 | 8,5 (I7) | | |
| МПР –I–IA (приемный) | $3 \cdot IO^{-6}$ | | 0,85 | 8,5 | 22 дб | |
| 2. КЭМ–8–4 ПДА передающий | | $I \cdot IO^{-3}$ | 0,85 | 8,5 (I7) | | |
| КЭМ–8–4ПРА приемный | $I,5 \cdot IO^{-6}$ | | 0,85 | 8,5 | 24 дб | |
| 3. КЭМ–34–4ПДА | | $I \cdot IO^{-3}$ | 0,85 | 34,5 (50) | | |
| КЭМ–34–4ПРА | $3 \cdot IO^{-6}$ | | 0,85 | 34,5 | 22 дб | |
| 4. МПД – 3А | | | 0,85 | 8,5 | I6 дб | |
| МПР – 3А | | | | | | |
| 5. ПОМ – 3 | | $I \cdot IO^{-3}$ на Ø 50 мкм | 0,85 | II0 | | |
| ПРОМ – 3 | | | 0,85 | 34 | 20 дб | |
| 6. ПОМ – 8 "Конка" | | $5 \cdot IO^{-3}$ | I,3 | одномодовый 560 | | |
| 7. ПОМ –I4 "Корпус" | | $I,5 \cdot IO^{-3}$ | I,3 | одномодовый 560 | | |

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 8. ПОМ – I3 "Козырь" | | $I \cdot I0^{-3}$ | I,55 | 560 одномодовый | | |
| 9. Приемный модуль "Кремний-Утес" | $2 \cdot I0^{-7}$ Вт (-50 дбм) | | I,3+I,55 | 34,5 | | аналоговый и цифровой |
| I0. Комплект "Глория-3" | | | 0,85 | 34,5 | 25 дб | |
| | Модули передачи уплотненного потока цифровых аналогов по ВОЛС | | | | | |
| I. Т -3I (семейство Т3 I5 наименован.) | – | – | I,3 | 2,0 | 40 | многомодовый и одномодовый с разъемами |
| 2. Т 4I (семейство Т4 8 наименован) | – | – | I,3 | 8,5 | 40 | "Лист-Х", "Левша" (FC/PC) |
| 3. Т 5I (семейство Т5I 2 наименован. | – | – | I,3 | 34,5 | 40 | |

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Аппаратура передачи телевизионных, звуковых и цифровых сигналов | | | | | |
| I. И – I00 семейство | | | I,3 | 6 МГц – видеоканал<br>30-15000Гц – звуковое сопровождение<br>30-3400 – служебный канал | 30 | |
| 2. И – 200 семейство | | | I,3 | | 25 | |
| 3. И – 300 семейство | | | I,3 | | 25 | с цифровым потоком 20 и 8,5 Мбт/с |
| 4. И – 400 семейство | | | I,3 | | 20 дб | |
| 5. Ц Т Э – 2 | | | I,3 | | | при погонном затухании I,5 дб/км длина регенерац.участка I0 км. |

В таблице *13* приведены основные данные для приемо-передающих модулей общего назначения, специальных модулей с уплотнением передаваемой информации и для передачи телевизионного сигнала со звуковым сопровождением и УТЭ-2 для передачи телевизионного сигнала в промышленной телевизионной установке, т.е. без звукового сопровождения.

Более подробная информация:

требования к модулирующему сигналу, выходному сигналу, качеству передаваемого сигнала, массо-габаритные характеристики, потребляемая мощность предоставлена в тех.документации на конкретные модули.

Передающие и приемные модули выпускаются или с "поросячим хвостиком" – неоконцованное волокно, или с разъемом по записи заказчика. Входной и выходной сигнал регистрируется в волокне. Согласование волокна или разъема с СИПом и фотодиодом очень тонкое и производится только на предприятии изготовителе. Достаточно заметить, что потери на согласование излучатель – волокно составляет 3–I0 дб, для фотоприемника несколько меньше.

### 3.8. Системы сбора, передачи и распределения информации в сетях АСУТП и АСУП.

Цифровая система передачи данных "Электроника МС 4I0I" обеспечивает передачу по оптическому кабелю мультиплексированных данных от I9 – ти независимых цифровых каналов или дистанционное управление I9–ю цифровыми устройствами. Устройство состоит из блока передатчика – преобразователя, модуля волоконно-оптического, блока приемника преобразователя.

Основные параметры.

Число цифровых входов/выходов – I9

Скорость передачи по каждому каналу, кбит/с – до I50.

x Уровни входных/выходных сигналов – ТТЛ

xx Длина оптического кабеля, м – 5 + 300

Напряжение питания, в (± 5 %) ± 5; ± 9

Потребляемая мощность, Вт – 8,0

Габаритные размеры, мм – I60 x II0 x 22

Системв сборв вналоговых данных "Электроникв МС 8201" обеспечивает передачу по оптическому кабелю мультиплексированных данных от I6-ти независимых вналоговых каналов, поочередное представление данных о каждом канале нв выходе системы в виде параллельного цифрового I6-ти разрядного кодв. Состоит из блокв сборв данных, модуля волоконно-оптического, блокв приемникв-преобразователя.

Основные параметры.

| | |
|---|---|
| Число дифференциальных вналоговых входов- | I6 |
| x Диапазон входных сигналов, В | ± I0 |
| Полоса частот вналогового входв, Гц | 0 ÷ 700 |
| Разрядность вналогово-цифрового преобразования | I2 |
| Уровни выходного параллельного кодв | ТТЛ |
| xx Длинв оптического кабеля, м | 5 ÷ 300 |
| Напряжение питания, В | ± 5; ± I5 |
| Потребляемая мощность, Вт | I0 |
| Габаритные размеры блоков, мм | I45 x 205 x 22<br>I60 x II0 x 22 |

---

x Уровни выходных и входных сигналов могут быть согласованы с заказчиком под другие стандарты, например "Токовая петля", ИРПР, ИРПС, Стык 2,3,4,

xx Длинв оптического кабеля может быть увеличенв до нескольких км.

Система распределения аналоговых данных "Электроника МС 840I" обеспечивает передачу по оптическому кабелю мультиплексированных данных в I6 -ти разрядном параллельном цифровом коде, его представление в виде аналогового сигнала и распределение, согласно адресной части кода, по 8-ми выходам системы. Состоит из блока передатчика - преобразователя, модуля волоконно-оптического, блока распределения данных.

Основные параметры

| | |
|---|---|
| Число цифровых входов | I6 |
| Разрядность цифро-аналогового преобразования | I2 |
| Уровень входного кода | ТТЛ |
| Количество выходных аналоговых сигналов, В | ± I0 |
| Полоса частот аналогового выхода, Гц | 0 + I500 |
| Длина оптического кабеля, м | 5 + 300 |
| Напряжение питания, В ( ± 5 %) | ± 5; ± I5 |
| Потребляемая мощность, Вт | I0 |
| Габаритные размеры блоков, мм | I45 x 205 x 22<br>I60 x II0 x 22 |

*Оптоволоконная система контроля и управления* "БРИГ" обеспечивает сбор данных, контроль и управление сложными объектами (АСУТП, инженерное оборудование промышленных зданий и др.) Состоит из унифицированного терминала (УТ) сопряжения с объектами, двухканального модуля волоконно-оптического, платы контроллера ИРПР с оптическим входом/выходом (ПК), подключаемой в ПЭВМ I ВМ РС ХТ/АТ. Количество УТ может быть увеличено до 7 при их подключении к плате контроллера через блок концентратора (КР) и до 49 при двухступенчатом включении блоков КР.

Увеличение функциональных возможностей сетей достигается путем применения, как было указано выше, специализированных модулей терминального и линейного концентраторов, обеспечивающих комплексирование оптоволоконных сетей. На рис. 20 ($ТК_а$- терминальный концентратор с аналоговым сигналом; $ТК_ц$- терминальный концентратор с цифровым сигналом на входе) показана системе сбора информации с использованием линейного концентратора для сбора информации с датчиков (по группам) и дистанционный вывод информации в центральное устройство контроля и обработки.

Задачи автоматизированного управления объектами и технологическим оборудованием могут быть решены посредством локальной сети на основе оптоволоконных систем передачи и распределения цифровой и аналоговой информации. Распределение функций управления на значительной территории и (или) по большому числу исполнительных устройств может осуществляться с помощью распределителя волоконно-оптических систем (рис.21).

## 3.9. Волоконно-оптические компоненты для организации локальных вычислительных сетей с использованием ВОЛС.

Наибольшее применение на практике нашли сети типа "дерево" ArcNet и типа "шина" EtherNet. В настоящее время производится большая гамма сетевых компаний для развития типовых сетей. В числе выпускаемых имеется большое число волоконно-оптических компонентов. Предложим в работе некоторые из них.

I. Сетевое оборудование ArcNet фирмы Thomas Conrad

Американская фирма Tomas Conrad производит полный набор оборудования для сетей типа ArcNet : сетевые платы для компьютеров XT, AT, Micro Channel(PS/2), активные и пассивные хабы, программное обеспечение. Основные характеристики сети ArcNet без применения волоконно-оптического кабеля следующие:

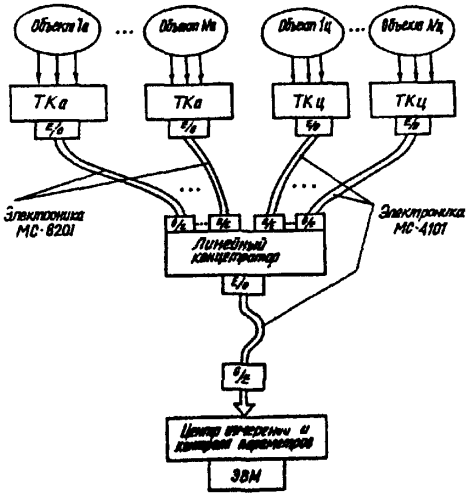



Рис.20 Система сбора информации с использованием линейного концентратора

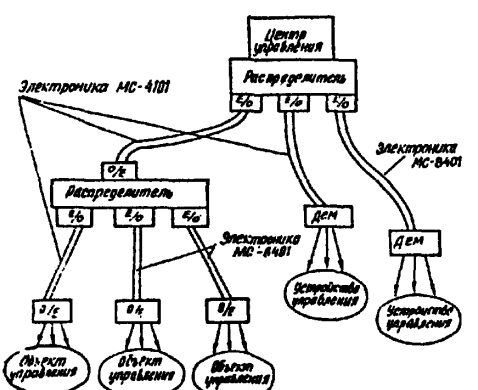



Рис.21 Решение сбора информации и управления на большой территории

- максимальное расстояние между наиболее удаленными обо - нентами сети - 6300 м
- наибольшее расстояние между активными хабами- 630 м
- максимальное расстояние между активным хабом и рабочей станцией - 630 м
- максимальное расстояние между активным хабом и пассивным хабом - 30 м
- максимальное расстояние между пасивным хабом и рабочей станцией - 30 м
- максимальное число рабочих станций в ветви - 8

С применением волоконно-оптического кабеля расстояние между наиболее удаленными абонентами (рабочими станциями) может достигать до 60 км.

Основные компоненты.

Платы для коаксиального кабеля RG 62

Топология "звезда". Такая плата обеспечивает работу узла на удаление до 630 м от активного хаба. Соединение активного хаба с сетевой платой двухточечное, т.е. на кабеле нет других ответвлений. Кабель соединяется с платой при помощи BNC —P коннектора, монтируемого на кабеле.

Плата HZ. Платы для коаксиального кабеля

Топология "шина". Такие платы обеспечивают работу до 8 рабочих станций, находящимся на одном кабеле длиной до 305 м. Один конец такого кабеля присоединяется, как правило, к активному хабу, на другом конце монтируется терминатор. Кабель соединяется с платой при помощи двух BNC-P коннекторов и одного BNC-T коннектора. Топология "шина" применяется в целях экономии кабеля, когда несколько станций расположены на одной линии.

OTP. Обычная скрученная пара. Топология "звезда" или "шина" Такая среда передачи обеспечивает подключение от I до I0 узлов на I22 -метровом кабеле. Узлы подключаются к кабелю при помощи коннекторов RJ-45.

$TP^+$ Улучшенная скрученная пара.

Топология "звезда" или "шина". $TP^+$ -платы используют электрический протокол передачи *RS* -485 и обеспечивают подключение от I до 32 станций на 244 -метровом кабеле. Подключение при помощи конпекторов *RJ* -45.

*FO* и *ST* Волоконно-оптическая среда передачи.

Топология "звезда". Волоконно-оптический кабель имеет следующие преимущества перед обычным кабелем:

- возможная связь без регенерации на расстояниях до 3800 м;
- устойчивосиь к электрическим помехам;
- малые массо-габаритные характеристики волоконно-оптического кабеля.

В зависимости от диаметра кабеля и типа конпектора (*SMA* или *ST*) обеспечивается удаление от активного хаба от 400 до 3800 м. Волоконно-оптический кабель содержит два оптических волокна. для передачи в обоих направлениях. На конце каждого волокна привариваются разъемные оптические соединители типа *SMA* до плат *FO* или *ST* для *ST* -плат.

Активные хабы.

*Thomas - Conrad Smart Нив.* Этот хаб имеет I6 портов, поддерживающих различные среды передачи (коаксиальный кабель, витая пара, волоконно-оптический кабель). Количество портов различных типов зависит от модификации хаба, например:

- TC - 6I5I - I2 - I2 коаксиальных
  2 волоконнооптических
- TC - 6I5I - 82 - 8 коаксиальных
  4 волоконнооптических

На рис.*20а,б*, предложены топологии сети *ArcNet* в виде "звезда" и "шина".

Сетевое оборудование *EtherNet* "Тонкий". *EtherNet* (рис.*21*) имеет следующие характеристики:

- скорость передачи I0 Мбит/с;

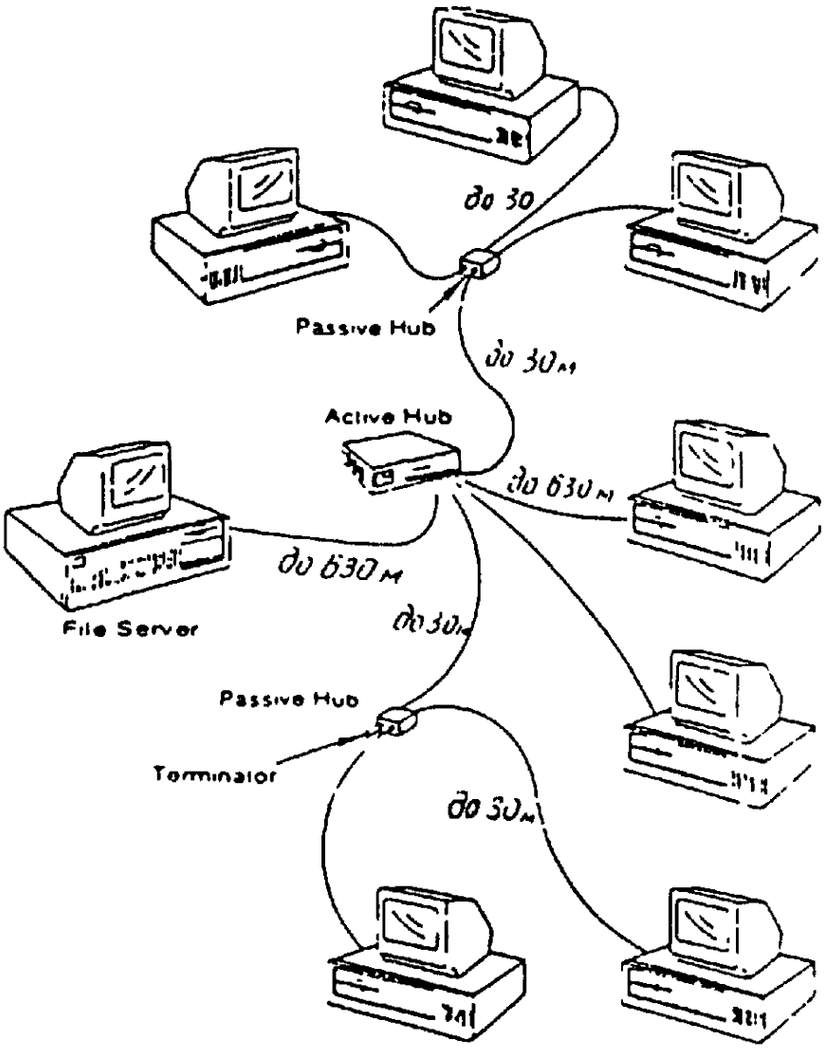

до 30
Passive Hub
до 30м
Active Hub
до 630м
до 630м
File Server
до 30м
Passive Hub
Terminator
до 30м

Рис. 20а

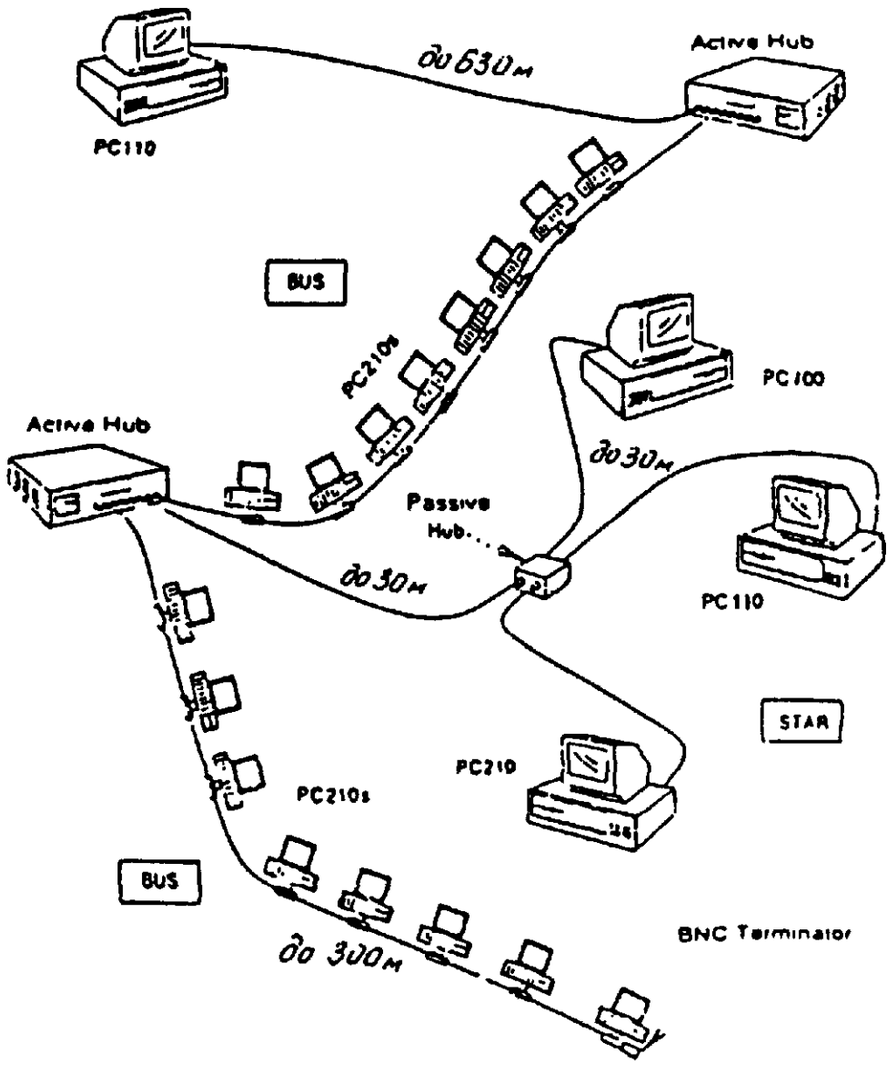
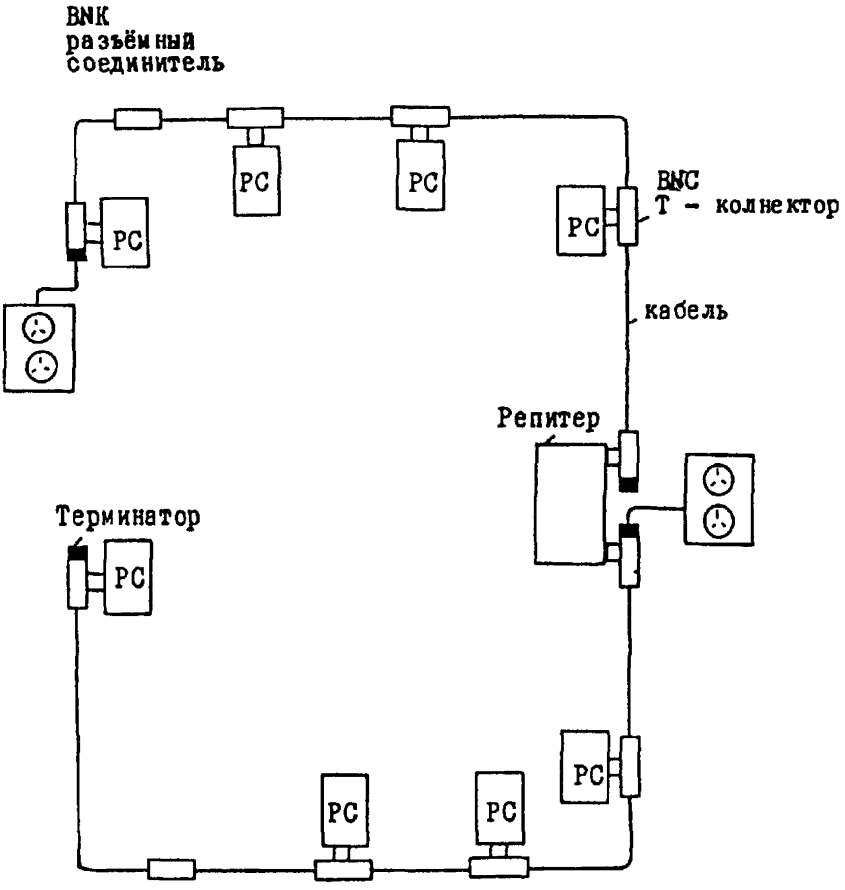

до 630 м
Active Hub
PC110
BUS
PC210s
PC100
Active Hub
до 30 м
Passive Hub...
до 30 м
PC110
STAR
PC210
PC210s
BUS
BNC Terminator
до 300 м

Рис. 20б

I.План - схема тонкой *Ethernet* сети




- максимальное число сегментов - 5
- максимальная длина ствола сегмента - 185 м
- максимальная длина сети - 925 м
- максимальное число подсоединённых станций в один сегмент-30
- минимальное расстояние между BNC T - колнекторами - 0,5 м

Рис 21

- использует кабель RG -58;
- стандартные коннекторы BNC ;
- длина одного сегмета до 185 м;
- максимальное число рабочих станций в сегмете - 30;
- максимальное удаление абонентов - 925 м.

Сегмет "тонкого" EtherNet может быть расширен с помощью трансиверов, которые объединят до 5 сегметов. Автономный внешний приемопередатчик, необходимый для объединения нескольких сегментов, подключается с одной стороны к кабелю, а с другой стороны имеет АИ-порт (Access Unit Interface). Этот порт используется для соединения приемопередатчика с повторителем. EtherNet может быть смонтирован и в "реберно-позвоночной" топологии. Такая топология предусматривает наличие одного центрального сегмента. ("позвоночника") и нескольких ("ребер") сегметов, подключаемых к нему в произвольных местах при соблюдении крайности 0,5 м.

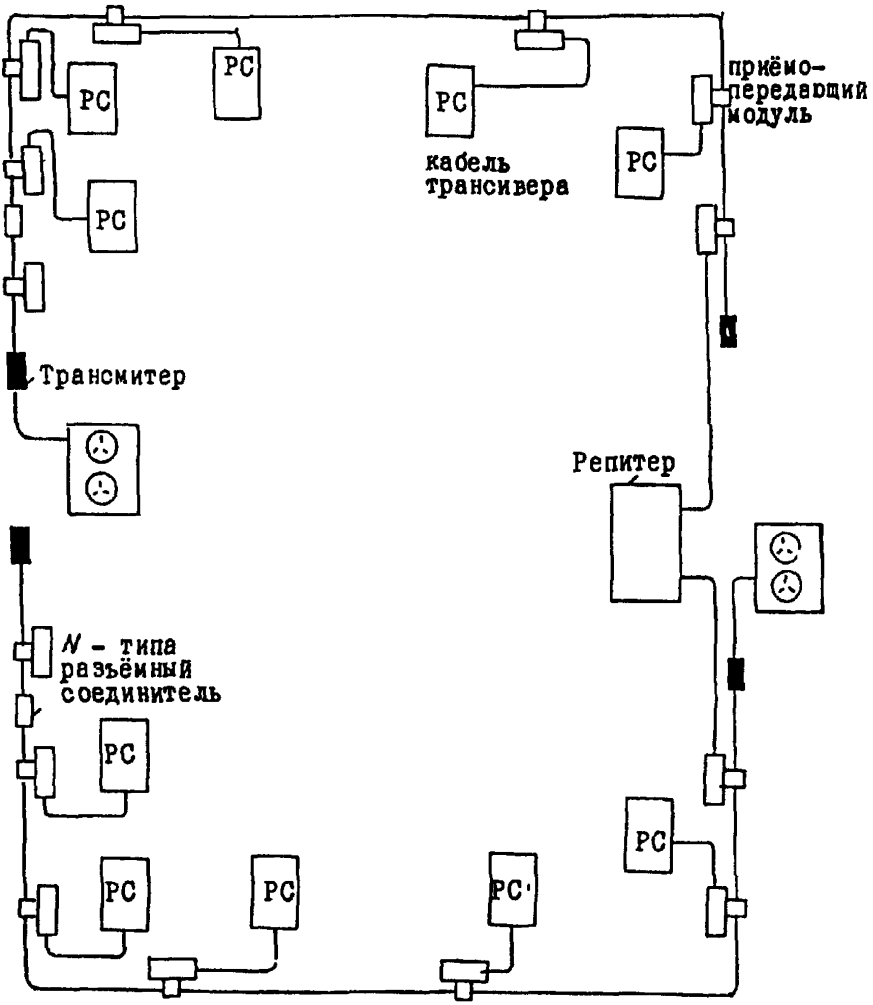
При использовании волоконно-оптических межсегметных соединений длина "тонкого" EtherNet может быть увеличена до 7 км.

"Толстый" EtherNet (рис. 22 )

Основные характеристики:

- максимальная длина сегмета - 500 м ;
- максимальное число рабочих станций на сегмете - 100 ;
- все рабочие станции и повторители подключаются через приемопередатчик;
- подключение к кабелю осуществляется с помощью врезки, которая обычно реализуется в виде устройства прокалывания кабеля ;
- максимальная удаленность работ станции от сегмета - 50 м;
- минимальное расстояние между точками подключения рабочих станций к кабелю - 2,5 м.

II. План-схема толстой Ethernet - сети




-максимальное число сегментов- 5,
-максимальная длина ствола сегмента - 500 м
-максимальная длина сети - 2500 м
-число станций подсоединяемых к одному сегменту - до 100
-минимальное расстояние между трансивером - 2,5 м
-максимальная длина кабеля от трансивера - 50 м

Рис 22.

Основное отличие "толстого" EtherNet состоит в том, что все подключения к кабелю должны выполняться через внешний приемопередатчик. Все рабочие станции, подключаемые к кабелю, должны иметь АИТ - порты и соответствующий кабель.

Сегметы "толстого" EtherNet можно объединить в виде "позвоночно-реберной" топологии, получаемая при этом длине сети достигает 2,5 км.

При использовании волоконно-оптического кабеля расстояние между наиболее удаленными рабочими станциями может быть увеличено до 10 км и более.

До настоящего времени в России был наиболее распространен трансивер волоконно-оптический для сетей типа EtherNet

Основные характеристики этого трансивера :

- скорость передачи, Мбит/с - 10
- длина волны оптического излучения, $\lambda$ мкм 0,85 ; 1,3
- энергетический потенциал, дб 18 - 20
- тип соединителя Л - 1 -Б, Л - Х, ST, SMA
- габаритные размеры, мм 163 х 122 х 34
- электрический соединитель РП15 - 15ШК
- питающие напряжения, В от 11 до 16
- блок потребления, А 0,5

Сетевое оборудование EtherNet фирмы 3COM. Фирма 3COM является одним из мировых лидеров по производству сетевого оборудования, производя широкий спектр изделий, охватывающий потребности практически любого заказчика ЛВС. Базовым стандартом оборудования 3COM является EtherNet (стандарт IEEE 802.3 и его модификации для различных физических сред передачи), хотя фирмой производятся средства связи (мосты, роутеры ) ЛВС с другими стандартами и технологическим оборудованием.

Сетевые адаптеры.

Наиболее совершенные из предлагаемых в настоящее время фирмой адаптеров это платы EtherLinkIII (третье поколение). Основные достоинства этой серии следующие :

- параллельная архитектура, что означает возможность одновременного выполнения обменов данными с шиной компьютера и с кабелем, за счет чего достигается повышение производительности сети от 25 до 55 процентов;
- повышение надежности при снижении цены за счет применения специализированных микросхем. Среднее время наработки на отказ у данных изделий превышает 70 лет. Фирмой 3COM предоставляются пожизненные гарантии на сетевые адаптеры при условии их работы на одном компьютере;
- самонастраивающиеся драйверы, оптимизирующие быстродействие для конкретного окружения в компьютере.

Трансиверы семейства ISOLAN обеспечивают сопряжение сетевого EtherNet адаптера, снабженного АИ -интерфейсом, с различными кабельными средами: обычная и витая пара, "толстый" EtherNet ( 10Base-5), а также с оптическим кабелем (поддерживая все основные диаметры оптического волокна: 50/125, 62,5/125, 85/125 и 100/140 микрон). Средняя наработка на отказ у этих приборов составляет около 50000 ÷ 69000 часов. Малые габариты и масса позволяют при подключении обходиться без АИ-кабеля, что повышает защищенность сети от электромагнитных помех.

Пример семейства ISOLAN:

Fiber Optic Transciver (ST и SMA версий)

тип I680-0 (SMA коинектор)

I680-5 (ST коинектор)

Максимальное расстояние от устройства I680 до рабочей станции при использовании коаксиального кабеля 50 м, при использовании оптического кабеля 2 км.

Использование модуля типа I206-I для SMA коннектора и I206-5 для ST коннектора позволяет на выходе подсоединить:

- I2 портов витой пары;
- локальную линию моста;
- I0 Base T мультипортовый репитер.

Хабы типа Link Builder (линейный построитель) ESC позволяют создавать сложные (ветвящиеся) топологии ЛВС на основе различных кабельных сред. Модификация LinkBuilder ECS/4 представляет собой отдельный корпус или шасси с источником питания и четырмя слотами для репитерных модулей, каждый из которых обеспечивает одну или несколько ветвей EtherNet с определенным типом кабеля. Кроме того, в слоты можно вставить модули для связи с другими ЛВС (мосты и роутеры).

Имеется возможность вставить в один из слотов модуль управления, позволяющий удаленно управлять работой хаба, т.е. наблюдать за состоянием ветвей и при необходимости производить их переключение.

Модификация LinkBuilder ECS/I0 представляет собой шасси с источником питания, десятью слотами для репитерных модулей и отдельным модулем управления. Ниже кратко описаны некоторые модули, которые можно применять в Link Builder:

- I0Base - T Repeater Module.

Имеет I2 портов для подключения кабеля типа витая пара. К модулю можно подключать до I20 устройств.

- Coaxial/AUT Repeater Module.

Три стандартных BNC порта ("тонкий" EtherNet ) и один АИ порт для подключения к любой среде через внешний трансивер;

- Fiber Optic Repeater Module.

Имеет 6 портов для подключения оптического кабеля. Поддерживает стандарты IEEE 802.3,

Максимальное расстояние между хабами и между хабом и рабочей станцией составляет 2 км.

- Local Bridge Module. Обеспечивает все основные функции моста

Имеет возможность удаленного управления.

АИІ - интерфейс обеспечивает возможность подключения к различным кабельным средам.

Ниже приведем внешний вид последних модификаций компонентов сетей EtherNet с применением Link Builder и Net Builder (сетевой построитель), а также высокоскоростные ЛВС с использованием FDDI (Fiber Distributed Date Interface), позволяющее значительно расширять площадь действия сети, преобразуя её в WAN (wide area Network).

С применением Link Builder и FDDI поддерживается скорость обмена информацией 100 Мбит/с. Такие скорости возможно обеспечить только с применением волоконно-оптического кабеля, имея ввиду, что WAN охватывает большие расстояния в десятки километров. На рис.23-26 представлены внешние виды и топология различных модификаций сетей типа EtherNet фирмы 3COM.

На рисунках изображены:

Рис. 23 топология сети с использованием компонентов модификации Link Builder FMS;

Рис. 24 топология сети с использованием компонентов модификации Link Builder FMS-II;

Рис. 25 топология сети с использованием компонентов модификации Link Builder 3GH и FDDI;

Рис. 26 система Super Stack, объединяющая множество однородных и разнородных сетей, поддерживаемых Netware Novell.

Сетевое оборудование Token Ring.

Данная сеть имеет топологию "кольцо" и конструируется из следующих аппаратных средств:

- адаптер представляет собой встраиваемую сетевую плату, которая обеспечивает функционирование станции в составе ЛВС;
- мультистанция (8228) используется для подключения 8 станций к кольцу (рис.27). На рис. 27 повторитель обозначен шифром 8219;

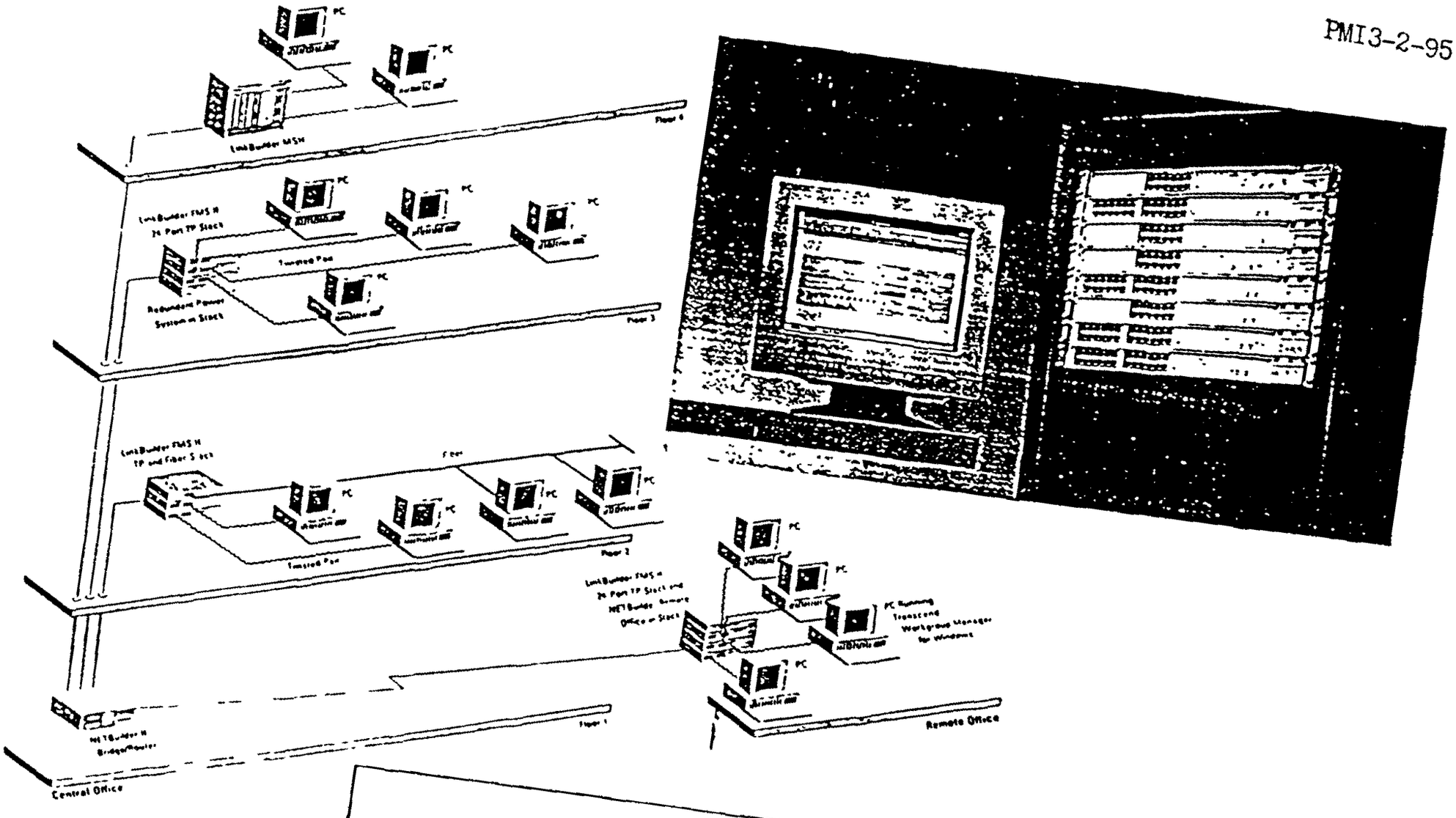



рис. 24 Аппаратный вариант с использованием
Link Builder FMS II Stackable Ethernet Hub
и волоконно-оптического кабеля

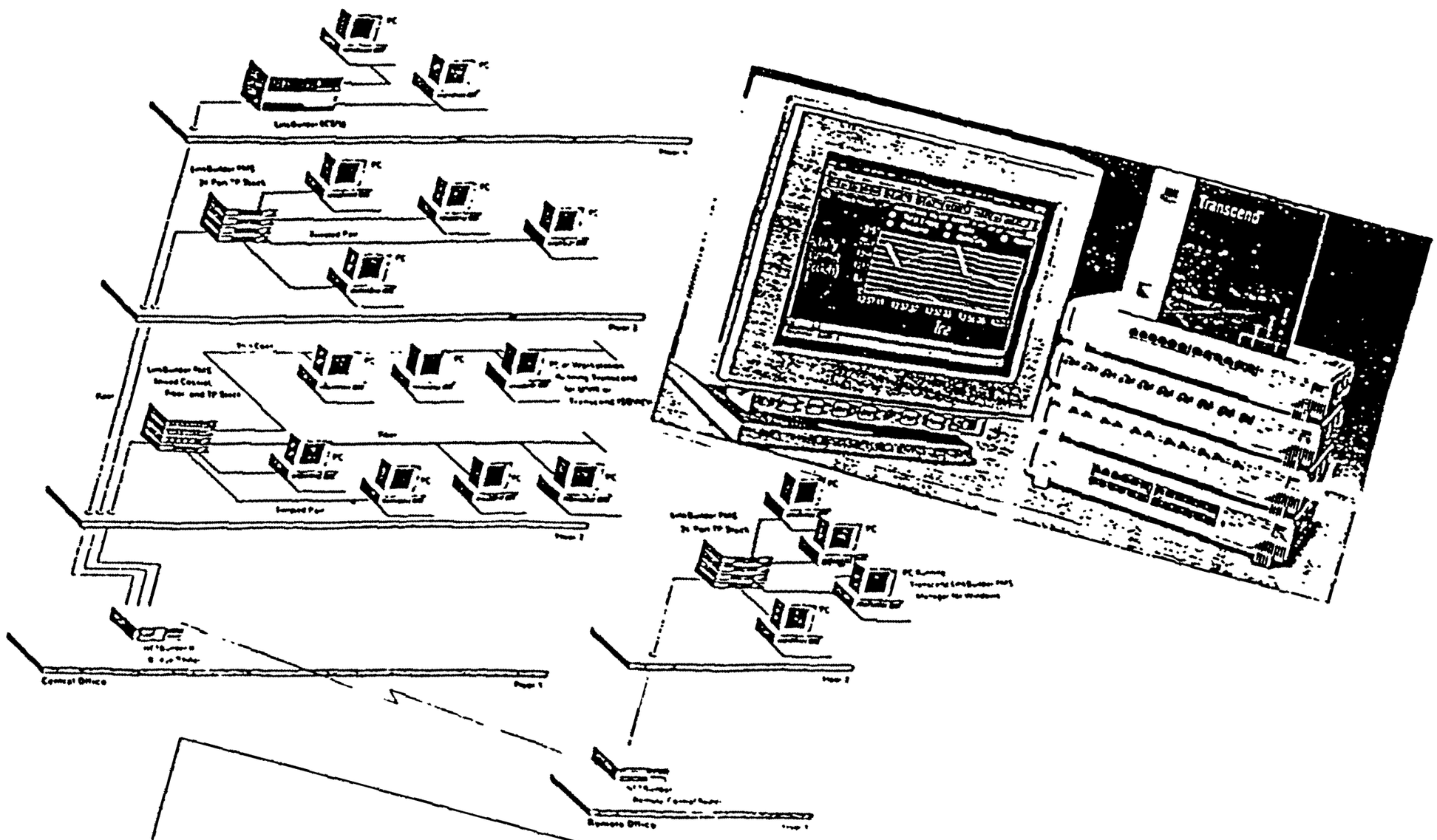



рис.23 Аппаратный вариант с использованием
Link Builder FMS Hub и волоконно-оптического кабеля

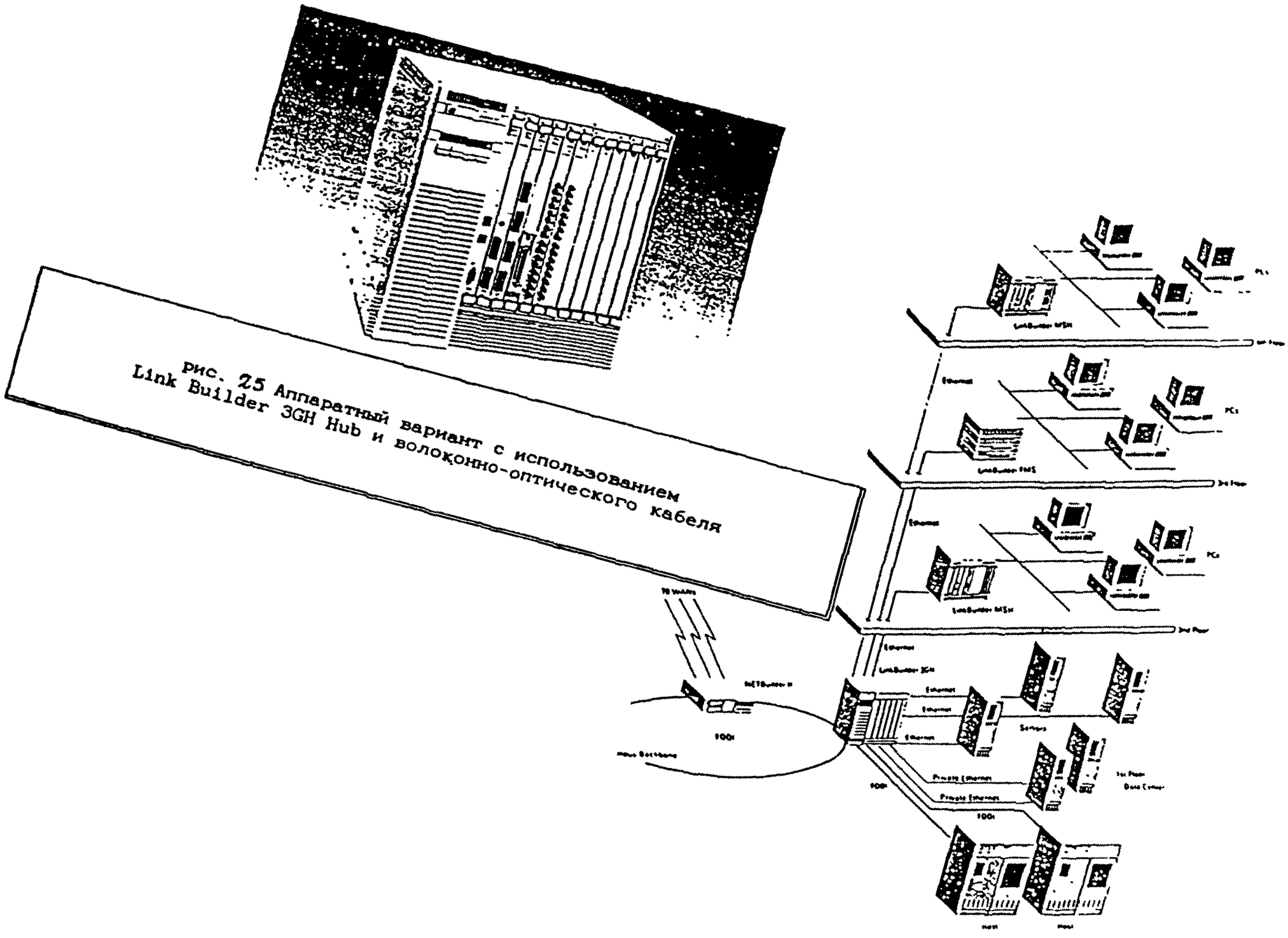
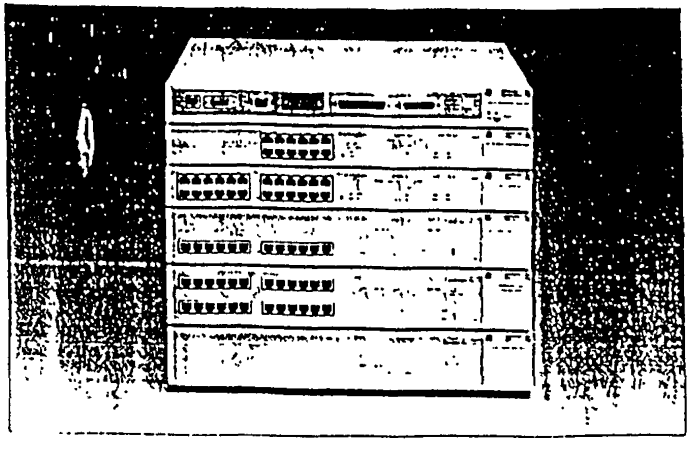


рис. 25 Аппаратный вариант с использованием
Link Builder 3GH Hub и волоконно-оптического кабеля



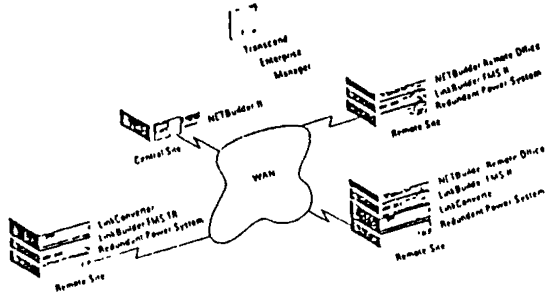



рис. 26 Организация широкомасштабных сетей (WAN)
с использованием Ethernet 3COM Super Stack
и волоконно-оптического кабеля

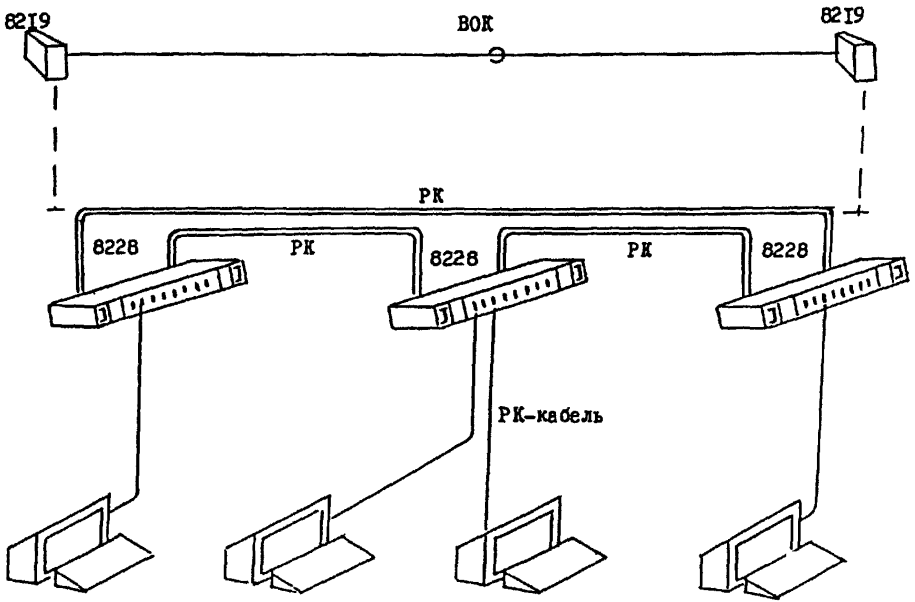



Рис.27Схематическое представление трёх объединённых мультистанций в кольцо.
( Токен Ring Noteworк 8228 )

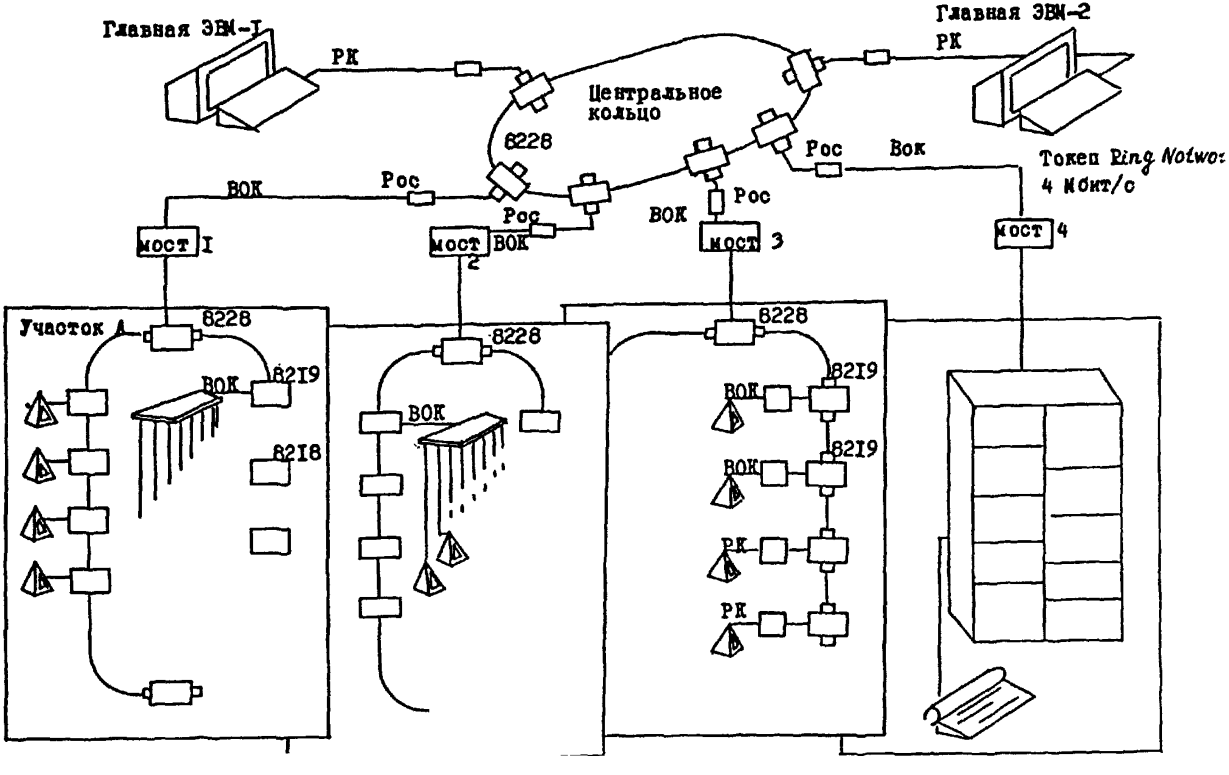
- кабель для подключения адаптера к сети представляет собой восьмифутовый кабель типа 6 стандарта фирмы IBM. Один конец кабеля соединяется с портом адаптера, другой с 8228 или соединительным кабелем;
- соединительный кабель имеет одинаковые разъемы с обеих сторон.

Основные характеристики стандартного варианта следующие :

- максимальное число станций - 96
- максимальное число мультистанций в сети - I2
- максимальное расстояние между мультистанцией и рабочей станцией, м - 45
- максимальное расстояние между двумя мультистанциями, м - 45
- максимальная длина соединяющая все мультистанции, м -I20.

При использовании волоконно-оптических трансиверов (82I9) расстояние между ними может достигать 3 км.

Сеть Token Ring относится к стандарту TEEE 802.5 - кольцо с маркерным доступом. Сеть состоит из нескольких колец работающих со скоростью 4 Мбит/с (сейчас разрабатывается сеть с применением волоконно-оптических сред связи, при этом скорость обмена будет доведена до I00 Мбит/с). Взаимодействуют кольца через высокоскоростные мосты. Данные передаются по кольцу кадрами. Для увеличения функциональных возможностей в состав оборудования сети введен повторитель ( IBM 8220 ), работающий со скоростью I6 Мбит/с. В случае большого числа ПЭВМ в различных помещениях (рис. 28 ) коммутация их осуществляется на распределительной панели, а связь между ними поддерживается при помощи повторителей типа IBM 82I8, 82I9, 8220. Линии связи исполняют в виде РК кабеля или волоконно-оптического.


Главная ЭВМ-1
РК
Главная ЭВМ-2
РК
Центральное кольцо
6228
Рос
Вок
Токен Ring Notwo:
4 Мбит/с
ВОК
Рос
Рос
ВОК
Рос
ВОК
мост 1
мост 2
мост 3
мост 4
Участок А
6228
6228
6228
82I9
ВОК
82I8
ВОК
82I9
ВОК
82I9
РК
РК

## 4. Строительство волоконно-оптических линий связи.

При строительстве ВОЛС, как и при строительстве обычных линий связи выполняются все виды работ: разбивка линий, доставка кабеля и материалов на трассу, испытание, прокладка, монтаж кабеля и устройство вводов. При прокладке кабеля в пределах города сооружается кабельная канализация, в полевых условиях кабель кладется непосредственно в землю на глубину 1.2 м. Однако в организации и технологии строительства ВОЛС по сравнению с работами на традиционных кабелях имеются различия:

Оптические кабели являются идеальной передающей средой для информационных систем связи, кабельного телевидения, компьютерных сетей, телефонной связи. Экономические оценки показывают, что эксплуатационные расходы на волоконно-оптические системы в 4 ÷ 8 раз меньше, чем системы с медными коаксиальными кабелями, на 90 % сокращается время ремонтных работ и экономятся дорогостоящие и дефицитные материалы. Уже при настоящем уровне цен на волоконно-оптические кабели и компоненты ВОСП единовременные капитальные затраты становятся меньше, чем при радиочастотной кабельной связи начиная с дальности связи более 3 км и скоростях передачи информации более 10 Мбит/с.

Эффективность развития информационных систем резко возрастает при условии объединения их сетей в одну кабельную информационную систему связи (КИСС) на основе волоконно-оптических линий передачи информации (ВОЛПИ).

Главными преимуществами работ по созданию физических каналов связи на основе волоконной оптики для монтажно-наладочных организаций являются:

- возможность выполнения полного комплекса работ (проектирование, монтаж, комплекс измерений, сервисное обслуживание),
- организация работ "под ключ" с полной поставкой материалов и оборудования,
- достаточно большой рынок работ по созданию интегральных сетей, сетей кабельного телевидения, локальных компьютерных сетей,
- экономическая эффективность и большая наукоёмкость выполненных работ.

В организации и технологии монтажа волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) по сравнению с работами на контрольных кабелях имеются существенны отличия, которые обусловлены своеоб-

развием конструкции ОК и заключаются в следующем:

- *критичность к растягивающим усилиям* (Н), *в случае превышения* $H_{max}$ возможен разрыв волокна ОК.,
- *малые поперечные размеры и масса ОК*,
- большие строительные длины ОК,
- сравнительно большие величины затухания сростков волокон,
- невозможность содержания ОК под воздушным давлением,
- недостаточное развитие методов и средств для отыскания мест повреждения ОК.

В таблице приведены некоторые характеристики электрических кабелей связи и аналогичные характеристики ОК.

Табл.I

| Параметр | кабель | |
|---|---|---|
| | электрический | оптический |
| - максимально допустимый радиус изгиба кабеля, мм | 100 - 800 | 200 - 300 |
| - диаметр кабеля, мм | 10 - 80 | 7 - 18 |
| - допустимое тяговое усилие,Н | 500 -30000 | 600 -3000 |
| - предельная длина кабеля, затягиваемого в канал, м | 265 - 850 | 1000 -2000 |
| - масса кабеля кг/км | 100 -6000 | 160 - 350 |

Необходимость прокладки больших строительных длин при малом допустимом усилии является принципиальным отличием, требующим нового подхода к технологии прокладки кабеля.

При работе с ОК без металлических оболочек надо иметь ввиду, что они имеют сравнительно малую механическую прочность на разрыв и особенно уязвимы относительно радиального давления. Поэтому при прокладке ОК следует соблюдать особую осторожность, не повредить стекловолокна. Прокладка ОК в грунт производится бестраншейным и траншейным способами. Большое распространение получила прокладка ОК без металлических оболочек в пластмассовых трубах, так как ОК имеют меньшую механическую прочность и подвержены агрессии со стороны грунтов.

Известны способы прокладки ОК, в строенных в пластмассовую трубу в заводских условиях и образующих единое целое "кабель-труба". Такая конструкция обладает высокой механической прочностью, влагостойкостью и защищена от грунтов.

В настоящее время прокладка междугородних ОК выполняется тремя способами:

- прокладка кабелеукладчиком;
- траншейная прокладка;
- прокладка кабеля в пластмассовой трубе.

В условиях города преимущественно ОК прокладывается в кабельной канализации. Возможны также подвеска ОК на опорах и по стенам зданий.

При пересечении трассы кабеля с другими подземными сооружениями должны соблюдаться следующие габариты по вертикали:

- от трамвайных и железнодорожных путей - не менее I м от подошвы рельсов;
- от шоссейных дорог - не менее 0,8 м ниже дна кювета;
- от силовых кабелей - выше или ниже их на 0,5 м;
- от водопровода и канализации - выше их на 0,25 м;
- от нефте - и газопровода - выше или ниже на 0,5 м.

Одной из основной особенностью строительства ВОЛС является большое число измерительных работ. Объем измерительных работ составляет не менее 30 % общего объема работ по строительству ВОЛС, в то время как аналогичные операции на обычных кабелях занимают не более I2 ÷ I5 % общего объема. Значительные трудозатраты в строительстве занимают высококвалифицированные работы сварки оптического волокна и монтаж муфт ОК.

Перед началом монтажных работ производят I00 % входной контроль ОК, который предусматривает:

- внешний осмотр изоляции кабеля, при обнаружении повреждения изоляции производят ремонт изоляции с помощью термоусаживающейся трубки соответствующего диаметра с удалением влаги с места заделки;
- испытание по проверке качества изоляции металлических элементов в ОК;
- измерение затухания оптических волокон и сопоставление их с паспортными данными;

- измерение производят оптическим тестером ОМКЗ-76.А (В). Затем концы кабеля герметично заделываются и барабан с проверенной строительной длиной отправляется на трассу. До вывоза барабанов с кабелем на трассу проводят группирование строительных длин.

При строительстве традиционных линий связи с использованием обычного телефонного кабеля нет такой операции, как группирование строительных длин. При работе с волоконно-оптическим кабелем сразу после входного контроля производят группирование оптических волокон в пределах регенерационного участка по передаточным параметрам волокон - по затуханию и дисперсии.

Группирование необходимо по тем причинам, что изготавливаемые в настоящее время оптические кабели на $\lambda$ = I.3; I,55 мкм имеют большой разброс по параметрам, который по затуханию может достигать 30 + 90 %, а по дисперсии до I00 % от средних величин.

При монтаже строительных длин ОК, когда соединение оптических волокон производится "напрямое", реальное значение параметров передачи линии уменьшается по закону.

$$\alpha(n) = \alpha_c/\sqrt{n}, \quad \varphi(n) = \varphi_c/\sqrt{n}$$

где: $\alpha_c, \varphi_c$ - максимальное относительное отклонение заданного параметра (поглощения, дисперсии) от среднего значения по строительной длине;

$n$ - число строительных длин на участке регенерации.

*Группирование строительных длин* позволяет оптимизировать согласование параметров волокна на соединениях, что уменьшает разброс параметров по всей длине линии связи и приводит к уменьшению затухания и дисперсии в конечном итоге. Группирование производится двумя методами: последовательно от участка к участку и одновременно, когда вся линия связи промеряется, а только после этого группируется.

Наиболее распространенным способом прокладки ОК является *прокладка с помощью кабелеукладчика*, при этом ножом к-ка в грунте прорезается узкая щель и кабель укладывается на её дно. В открытой сельской местности подземный кабель прокладывается непосредственно в грунт, а в более заселенных районах в траншеи.

Через дороги, переезды, ручьи кабель прокладывается в трубах. Траншейный способ прокладки ОК в грунт аналогичен прокладке электрических кабелей. Глубина прокладки кабеля 1,2 м. При прокладке ОК необходимо соблюдать большие меры предосторожности, обеспечивающие допустимые пределы растяжения, изгибов, закручивания и истирания кабеля.

Наибольший практический интерес представляет прокладка ОК в телефонной канализации. Прокладка ОК в кабельную канализацию может выполняться непосредственно в канале или полиэтиленовых трубах; предварительно затянутых в канал - при температуре окружающего воздуха не ниже минус $10^{\circ}C$. В городской телефонной канализации (бетонной, асбоцементной, пластмассовой) обычно прокладываются кабели, не имеющие наружного броневого покрова. В одном трубопроводе допускается прокладка нескольких ОК. Общее количество кабелей в одном канале канализации не должно превышать трех, суммарная площадь их сечения не должна превышать 20-20% площади сечения канала. Затягивание кабеля в каналы (трубы) осуществляется стальным тросом диаметром 5-6 мм, который затягивают в асбестоцементную (пластмассовую) трубу стеклопрутком (устройством затягивания кабеля - УЗК) длиной 150-180 м, что соответствует максимальному расстоянию между колодцами.

Скрепление оптического кабеля с тросом при прокладке осуществляют с помощью специального устройства - захвата.

Всю нагрузку при прокладке ОК воспринимают типовые элементы ОК, а стеклянные волокна не испытывают растягивающих усилий. Для уменьшения силы трения на 20 % используют смазочные материалы (вазелин). При прокладке ОК в кабельной канализации используют инструмент для ручной прокладки кабеля ОК-2.

В таблице приведены расчетные данные максимально допустимые длины ОК, затягиваемого в каналы трубопроводов, на прямолинейном участке.

Табл.2

| Масса кабеля кг/км | Предельная длина, м, ОК в полиэтиленовой оболочке для затягивания в каналы трудопроводов. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Бетонных | | Асбестоцементных | | Полиэтиленовых | |
| | с допустимым тяговым усилием, Н | | | | | |
| | 600 | I200 | 600 | I200 | 600 | I200. |
| 80 | I975 | 3950 | 2340 | 4680 | 2950 | 5I80 |
| I60 | 975 | I075 | II70 | 2350 | I300 | 2600 |
| 240 | 660 | I320 | 780 | I560 | 860 | I720 |

В местах изменения направления трассы в колодцах устанавливают блоки кабельные.

При прокладке ОК большой строительной длины обычно начинают работать с средины трассы и протягивают через канализацию сначала одну, а затем вторую половину строительной длины.

Прокладке кабеля в прогнутой канализации вызывает увеличение усилия натяжения в I,5 - 2 раза, что необходимо при расчете максимально возможной длины прокладываемого кабеля.(ОК).

На практике максимально допустимое тяговое усилие при прокладке ОК регулируют, затягивая или опуская гайку полумуфты проволочной ручной лебедки, входящей в комплект ОК-I, ОК-2.

Кроме вышеперечисленных способов монтаж ОК выполняется:

- по кабельным конструкциям,
- на лотках,
- в пластмассовых и стальных трубах,
- в пластмассовых и стальных защитных трубах,
- в металлорукавах,
- на тросе,
- на поверхности стен помещений и конструкций.

Расстояние между точками крепления открыто проложенного кабеля должно быть не больше I м.

Вертикальные участки открыто проложенных ОК защищают на всем протяжении участка, начиная с 2-х метров до уровня пола.

Радиус поворота ОК должен быть не менее 20 наружных диаметров

прокладываемого кабеля. Прокладку ОК ведут при температуре воздуха не ниже - 10°С при относительной влажности не более 80 %.

Практика показывает, что с момента начала реализации программы ВОЛС в монтажном управлении до начала выполнения работ по монтажу ОК проходит 4 ÷ 5 месяцев.

На первоначальном этапе целесообразно провести 2-х недельное обучение персонала управлений в группах до 25 человек ( ИТР и ведущие рабочие).

Обучение может провести в согласованные сроки в АООТ "Севзапмонтажавтоматика" г.Новгород

5. Измерения параметров ВОЛС.

В настоящее время волоконная оптика стала широко применяться в таких областях, как техника дальней связи, приборостроение, кабельное телевидение, распределительные системы и системы для передачи данных. Замена коаксиальных кабелей оптическими почти полностью определяется экономической целесообразностью внедрения новых систем. Причины такой замены кроются в том, что все больше требуется скоростных широкополосных каналов связи для передачи информации, а существующие линии связи перегружены. Более того, волоконно-оптические устройства можно с успехом использовать вместе с оборудованием для обработки цифровых данных и технология их производства аналогична технологии производства современной микроэлектроники. В будущем изготовление ЭВМ, телевидение, телефонизация будет связана с волоконной оптикой.

Элементом, от которого зависит принципиальная осуществимость и эффективность систем связи и передачи информации, является волоконный световод с малыми оптическими потерями. Эффективность волоконного световода зависит от эффективности ввода в него излучения источника и параметров, характеризующих энергетическое и информационное качество канала: возможно более низкие оптические потери и достаточно широкая полоса пропускания. Кроме того, эффективность ввода излучения и ряд особенностей применения волоконных световодов определяется числовой апертурой. Существенное влияние оказывает также радиальный по поперечному сечению световода профиль показателя преломления. Так, например, увеличение разности между значениями показателя

преломления сердцевины и оболочки улучшает эффективность ввода излучения в световод, но в тоже время приводит к увеличению межмодовой дисперсии/Уширению импульса/.

Использование световода с градиентным /параболическим/ профилем показателя преломления позволяет минимизировать разницу во времени распространения различных мод и тем самым увеличить ширину полосы пропускания. Потери, вызванные изгибом световода, уменьшаются при увеличении разностей показателей преломления и при уменьшении радиуса сердцевины, но при этом соответственно сужается полоса пропускания и снижается эффективность ввода в световод излучения источника. Кроме того, световоду необходимы механическая прочность, устойчивость к изменению внешних условий, неизменность по длине ряда конструктивных и оптических параметров и наконец, дешевизна.

## 5.1. Классификация измеряемых параметров волоконных световодов.

Параметры волоконных световодов удобно разделить на две основные группы: конструктивные и параметры распространения излучения. Первые условно можно разделить на две подгруппы: геометрические и оптические. В свою очередь, геометрические параметры по методам и технике измерений можно подразделить на "поперечные" и "продольные". К числу первых следует отнести различные параметры, характеризующие размеры и форму поперечного сечения волоконного световода. К числу вторых относится длина и параметр, характеризующий локализацию по длине волоконного световода места его повреждения. Профиль показателя преломления, числовую апертуру отнесем к оптическим параметрам. К группе параметров распространения излучения в световоде будем относить показатели затухания и широкополосности (рис.29).

Рассмотрим определения основных нормируемых и измеряемых параметров, характеризующих волоконный световод.

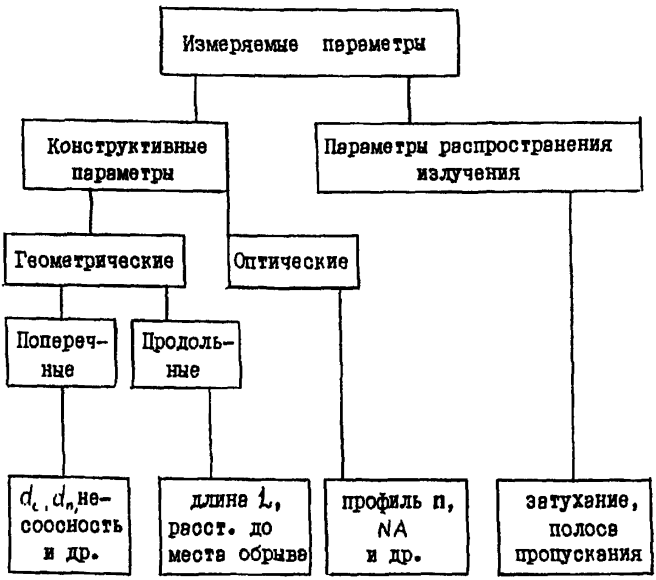



Рис.19 Классификация измеряемых параметров волоконных световодов.

5.I.I. Геометрические параметры.

I. Диаметр сердцевины в одном сечении световода – $d_c$,

2. Эллиптичность $\alpha_c$ и эксцентриситет $\varepsilon$ эллипса поперечного сечения сердцевины. $\alpha_c = \frac{(d_{c\,max} - d_{c\,min})}{d_{c\,max}}$,

3. Наружный диаметр оболочки $d_n$

4. Эллиптичность $\alpha_n$ и эксцентриситет $\varepsilon_n$ оболочки.

Параметры определяются аналогично п.2..

5. Неоооостность $\Delta\delta$ , некоицентричность $\Delta d_c$ сердцевины относительно оболочки.

$$\Delta\delta = \delta_{max} - \delta_{min} \qquad \varepsilon^2 = 2\alpha_c$$

$$\Delta d_c = \frac{\delta_{min}}{\delta_{max}}$$

6. Относительная характеристика формы внешней поверхности (винтообразность, кручение внешней формы).

7. Длина световода $L$

Основными непосредственно измеряемыми геометрическими параметрами являются диаметр оболочки и сердцевины,а также длина волокна, в том числе и расстояние до места повреждения.

5.I.2. Оптические параметры.

I. Показатель преломления материала сердцевины.

2. Показатель преломления материала оболочки.

3. Максимальная разность показателей преломления сердцевины и оболочки

$$\Delta n = n_c - n_{об}$$

4. Относительная разность между максимальным значением показателя преломления сердцевины и показателем преломления оболочки. $\Delta = (n_c^2 - n_{об}^2)/2n_c^2$

5. Профиль показателя преломления световода в поперечном сечении.

6. Номинальный апертурный угол световода $\varphi_{ac}$ – номинальный угол между осью световода и лучём, проходящим по световоду.

Числовая апертура материала

$$NA = \sin \varphi_{A0} = (n_c^2 - n_{об}^2)^{1/2}$$

Для градиентных световодов

$$NA = (n_{c\,max}^2 - n_{об}^2)^{1/2}$$

7. Числовые апертуры световодов по уровню 0,9 и 0,1

$NA_{0,9}$ и $NA_{0,1}$ причём $NA_{0,5} = \sin \theta$, где $\theta$

– угол между осью выходного конуса излучения и вектором совмещенным с поверхностью конуса, содержащего 90 % всей выходной мощности /аналогично для $NA_{0,1}$/.

Измеряются, как правило, профили показателей преломления и числовая апертура.

5.I.3. Параметры затухания излучения.

I. Показатель затухания $\alpha_c$ характеризует ослабление излучения в световоде, обусловленное поглощение материала сердцевины вследствие различных физических причин: рассеянием излучения, модовым распределением распространяющегося излучения, а также ослабление излучения, зависящее от условий возбуждения световода.

2. Коэффициент ослабления излучения в световоде

$$\alpha = \alpha_c \cdot L$$

3. Длина оптического хода луча в световоде, число отражений луча от поверхности светоизолярущей оболочки. Основным показателем в этой группе является коэффициент потерь $\alpha$.

5.I.4. Параметры широкополосности.

I. Модовая дисперсия $\sigma_м$

2. Дисперсия материала $\sigma_р$

3. Волноводная дисперсия $\sigma_в$

4. Хроматическая дисперсия $\sigma_c = \sigma_р + \sigma_в$

5. Полная дисперсия $\sigma = (\sigma_м^2 + \sigma_c^2)^{1/2}$

6. Полоса пропускания световода $\beta = 1/\sigma$

Измеряется обычно либо полная дисперсия, либо полоса пропускания световода.

5.I.5. Основные параметры, подлежащие измерению.

Оценку качества волоконно-оптических систем связи и передачи информации необходимо проводить как в нормальных, так и в заданных экстремальных условиях механо-климатических воздействий.

В нормальных условиях должны быть организованы измерения параметров оптических сигналов и ряда оптических характеристик линии. Испытания линий и систем связи в экстремальных условиях требует прежде всего совокупности испытательных установок с заданными режимами механо-климатических и прочих воздействий и измерительной аппаратуры, подтверждающей неизменность в необходимых пределах основных технико-эксплуатационных параметров системы как после воздействий, так в некоторых случаях и во время воздействий.

Применительно к системам связи и передачи информации можно назвать следующие основные параметры оптического сигнала, подлежащие измерениям при оценке эксплуатационных качеств системы в нормальных условиях.

I. Максимальная и средняя мощность немодулированного импульсного лазерного /светодиодного/ излучения в сечении световода.

2. Уширение импульса - изменение формы сигнала, вызванное межмодовой дисперсией и дисперсией материала волоконного световода.

3. Потери оптической мощности - отношение мощности переданного и принятого сигналов, определяемое затуханием в световоде различными потерями в устройствах ввода, местах сращивания, ответвителях и в других элементах линии. Иногда целесообразно производить измерение отношения сигнал - шум - отношения мощности полезного сигнала к суммарной мощности всех шумов в канале.

При испытаниях систем связи или в процессе разработок новых видов систем приходится оценивать следующие параметры :

I. Теплостойкость - способность линии сохранять свои технические характеристики в заданном рабочем интервале температур.

2. Коррозионная стойкость – способность всех материалов, из которых изготовлены компоненты, противостоять различным химическим воздействиям, особенно проникновению влаги.

3. Механическая прочность – способность передающей линии выдерживать растягивающие, крутящие и сжимающие нагрузки в динамическом и статическом режимах и противостоять ударам и вибрациям.

4. Радиационная стойкость – способность световода противостоять воздействию различных ионизирующих излучений, которые вызывают изменение затухания и дисперсии. Этот перечень относится только к линиям связи, выполненным на основе многомодовых оптических волокон.

5.2. Вспомогательные технические приемы и средства при проведении измерений.

5.2.1. Подготовка световодов.

В зависимости от назначения средств измерений возможны следующие варианты его соединения с измеряемым световодом или кабелем: через торцы очищенных от оболочек участков вблизи входного и выходного концов световода и через оптические соединители. Первый вариант имеет место в основном при разработке, исследованиях световодов и кабелей, при их прокладке и в качестве входного или выходного контроля. Второй чаще встречается при измерении параметров световодов и кабелей, входящих в различные системы связи и передачи информации. Операции при подготовке торцев световодов перед измерением /первый вариант/ осуществляются рядом способов. Наибольшее распространение получил механический способ подготовки торца световода, который осуществляется специальным инструментом для резки оболочки кабеля, снятия оболочек и обламывания конца измеряемого световода. Качество подготовки торцев световодов вполне удовлетворяет требованиям измерений ГОСТ 26814-86.

5.2.2. Возбуждение световодов.

Для многомодовых световодов коэффициент затухания, дисперсионная задержка импульсов и числовая апертура должны измеряться и

имеют стационарные значения только при достижении равновесного распределения мод.

Эффективная длина установления равновесного распределения мод может составлять от сотен метров до нескольких километров и зависит от способа возбуждения и типа световода. Создание или формирование равновесного распределения мод является обязательным условием для всех средств измерений параметров многомодовых световодов. Необходимость такого подхода имеет конкретное физическое обоснование. При распространении света по оптическому световоду происходит ряд процессов приводящих к значительному искажению результатов измерений. При измерении потерь имеет место следующий механизм: в отличие от мод низких порядков, большая часть мощности мод, близких к частоте отсечки волокна, распространяется в оболочке. Наружные слои материала оболочки обладают большими потерями, чем материал сердцевины или внутренних слоев оболочки. Если в многомодовый световод вводится полный спект мод, то общее затухание на его конце остаётся высоким, пока моды высокого порядка не будут устранены и не начнется равновестное распределение мод, обеспечивающее постоянную величину затухания. Причем подобный эффект не может быть исключен ограничением числа мод, вводимых в световод, поскольку плохое соединение отрезков волокна между собой может возбудить в следующем отрезке волокна ряд более быстро затухающих мод. Поэтому, затухание, создаваемое разъемами и сростками, может не ограничиваться лишь потерями на само соединение. Критериями достижения равновесного распределения мод служат либо независимость удельных /отнесенных к единице длины/ коэффициента затухания или дисперсии импульса от длины волоконного световода, либо неизменность диаграммы направленности излучения в дальней зоне выходящего из торца световода пучка при разных условиях возбуждения световода и его длинах. Известны ряд экспериментальных возможностей контроля достижения равновестного распределения мод, так например, измерение диаграммы направленности в дальней зоне на выходе короткого и длинного отрезков волоконного световода.

Первая методика является наиболее наглядной. Распределение мощности в дальней зоне измеряют обычно с помощью перемещаемого в одном из диаметральных направлений поперечного сечения пучка фотоприемника, при этом особое внимание необходимо обращать на переферийные участки диаграммы, где мощность составляет от I до I0 % от её максимального значения в пучке. Эта область несет информацию о модах наивысшего порядка и измерение ширины диаграммы направленности по уровню I3 дБ от максимального значения / 5% / дают наиболее достоверную информацию о приближении к равновесному распределению мод. Формирование возбуждающих пучков с требуемыми параметрами может осуществляться следующими способами: длинным вспомогательным отрезком волоконного световода, коротким вспомогательным отрезком, в котором равновесное распределение мод создается фильтрами или смесителями мод, системой диафрагм и линз и др.

Способ формирования пучка с помощью вспомогательного отрезка с идентичными измеряемому волоконному световоду значениями числовой апертуры и диаметра сердцевины является самым простым и надежным.

В настоящее время для формирования близкого к равновесному распределения мод в коротких отрезках световода находят все большее применение смесители и фильтры мод следующих конструкций: спиральный фильтр мод, комбинация коротких отрезков световодов со ступенчатым и градиентным профилем показателя преломления, гребёнка, через которую волоконный световод пропущен с небольшими радиусами изгиба и др.

Наибольшую известность приобрел спиральный фильтр мод, который образован пятью /как правило/ витками световода, намотанного на цилиндрическую оправу небольшого диаметра. Диаметр цилиндра должен быть не менее

$$D_{ц\,min} = \frac{D_c\,(n_c + n_{об})}{n_c - n_{об}} \simeq 4n^2 \frac{D_c}{NA^2}$$

Действие фильтра определяется эффективным перемешиванием мод за счет изгиба волоконного световода, микронеровностей световода и оправки. Исследования показали, что применение спирального фильтра мод дает значение затухания, отличающиеся от такового, измеренного с применением длинного вспомогательного отрезка световода не более чем на 0,2 дБ/км.

Приемы подготовки торцев световодов к измерению, способы их возбуждения и фильтрация мод одинаково применимы при измерении всех основных параметров многомодовых световодов.

5.3. Методы, средства и приемы измерений.

ГОСТ 26814-86 "Кабели оптические. Методы измерения параметров" распространяется на оптические кабели, выполненные на основе многомодовых оптических волокон и устанавливает методы измерения затухания, распределения оптических потерь по длине методом обратного рассеяния, апертурных характеристик, передаточных характеристик, переходного затухания, приращения затухания при воздействии внешних факторов и распределении интенсивности излучения в ближней зоне.

5.3.1. Измерение затухания.

Полное затухание в волоконном световоде определяется следующими факторами:

- собственным затуханием, обусловленным поглощением и рассеянием,
- избыточным затуханием, возникающем при изготовлении, транспортировке и эксплуатации световодов,
- отражениями от входного торца,
- затуханием, возникающем при вводе излучения в световод.

Все составляющие затухания зависят от спектрального состава передаваемого излучения рабочей длины волны. Это необходимо учитывать при оценке результатов измерений.

Полное затухание излучения в световоде характеризуется коэффициентом затухания мощности, который определяется в децибелах

$$\alpha\,[дБ] = 10\,lg\,\frac{P_0}{P_L}$$

где: $P_0$ - мощность на входе,

$P_L$ - мощность на выходе световода.

Это выражение справедливо при согласованном вводе излучения и равенстве коэффициентов отражения на входе и выходе световода, иначе выражение значительно усложняется.

В современных световодах затухание практически не изменяется в пределах изменения температур от -60 до +80°С.

В большинстве случаев изгибы световодов, начиная с радиусов

$$R \leq R_{min} = r\,(n_c + n_{об})^2 / NA^2$$

приводят к очень большому затуханию. Поэтому при измерениях затухания световод необходимо укладывать так чтобы радиус его изгиба значительно превосходил $R_{min}$.

Продольное натяжение световода не приводит к изменению затухания, если оно не вызывает микроизгибов и увеличение микротрещин.

Однозначное определение затухания возможно только для установившегося равновесия распределения мод. При несоблюдении этого условия результаты измерений могут различаться на I дБ/км и более.

На воспроизводимость результатов измерения затухания многомодового световода любым методом оказывает влияние две группы факторов. Это инструментальные погрешности средств измерений и факторы, влияющие на значение затухание световода: способ возбуждения /достижение равновесного распределения мод/ микро- и микроизгибы, изменение температуры, давления, наличия ионизирующих излучений и др. В процессе измерения затухания необходимо принимать меры для исключения влияния или стабилизации воздействия этих факторов на результат измерений, т.е. работать в нормальных /стандартизированных/ условиях.

К настоящему времени разработано и применяются на практике значительное количество методов измерения полного затухания в волоконном световоде.

Наибольшее распространение получил двухточечный метод измерения, являющийся видоизменением классического метода двухлучевой фотометрии. Двухточечный метод основан на измерении мощности на входе и выходе световода с последующим вычислением затухания по формуле/5.4./

Известны следующие разновидности двухлучевого метода:
- метод обламывания /обрыва/, (рис.30)
- безобломный метод или метод вносимых потерь, (рис. 31)
- метод калиброванного рассоения.

Наибольшее распространение на практике получил метод обламывания, реализуемый во многих устройствах с непринципиальными отличиями, отражающими уровень автоматизации измерений, способ возбуждения измеряемого световода, типы источников излучения, фотоприемников, регистрирующих устройство и др.

Типичное устройство, реализующее этот метод, изображено на рис. 30. Измерение от источника I /лазера, светодиода, лампы накаливания/ направляется на вход устройства ввода 5. Этим устройством являются какой-либо держатель /в виде V-образной канавки или другого типа/, обеспечивающей юстировку входного конца волокна в трех взаимоперпендикулярных плоскостях для осуществления наибольшей эффективности ввода излучения в оптический световод и монохроматор для выделения необходимой длины волны /в случае использования лампы накаливания/. Могут также использоваться системы линз, диафрагмы или микрообъективы. Тип и состав устройств ввода зависит от типа применяемых при измерении средств и описывается в соответствующих инструкциях на эксплуатацию конкретных приборов. Возможно применение светоделительной пластины 2, которая в сочетании с фотоприемным устройством 3 и регистрирующим прибором 4 позволяет осуществлять контроль стабильности источника излучения. Смеситель 6 и фильтр мод 7 применяется для создания равновесного распределения мод для данного волокна.

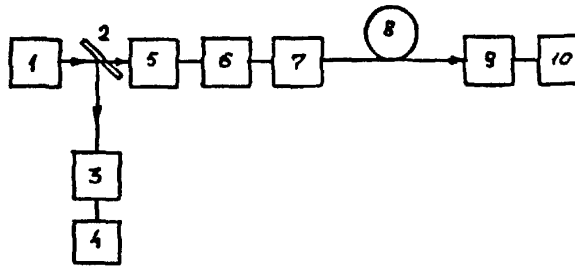



Рис. *30.* Измерение затухания методом обрывания.
I – источник излучения; 2 –светоделительная пластина; 5–устройство ввода; 6–смеситель мод; 7–фильтр мод; 8–оптический кабель; 3,9 –фотоприемник; 4,I0 –регистрирующее утр-во

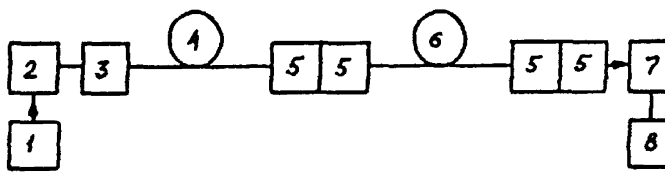



Рис. *31.* Безобрывный метод измерения затухания.
I– источник излучения; 2– устройство ввода; 3 –смеситель мод; 4 –вспомогательное оптическое волокно; 5– оптические разъемные соединители; 6 –измеряемый кабель; 7 – приемник излучения; 8 –регистрирующее устройство.

Для контроля распределения мод используется метод измерения диаграммы направленности в дальней зоне на выходе вспомогательного отрезка волокна. В качестве фильтра оболочечных мод возможно применение иммерсионных жидкостей. Измеряемый световод 8 подваривается к выходу вспомогательного волокна или механически стыкуется с помощью юстировочных устройств, используемых с конкретным прибором. Выходной пучок регистрируется фотоприемником 9, ток которого, пропорциональный оптической мощности, измеряется прибором IO. Измерения выполняются следующим образом. Первоначально измеряемый световод юстируется в схеме до получения максимального показания, и это показание запоминается. Затем /без нарушения условий ввода и фильтрации мод/ измеряемый световод обламывается на расстоянии I + 3 м от входного конца, подготавливается торец выходного конца короткого отрезка, помещается в устройство ввода фотоприемника и вновь считываются показания регистрирующего прибора. Затухание определяется по формуле 5.4.

Измерения проводят многократно с извлечением и возвратом световода и многократной подготовкой выходного торца световода.

Погрешность измерения затухания методом обламывания определяется следующими частными погрешностями:

- погрешностью нестабильности источника излучения,
- нелинейностью характеристик фотоприемника и регистрирующего устройства,
- погрешностью нестабильности согласования передачи излучения с выхода измеряемого световода в фотоприемник.

Погрешность метода измерения не более 0,03 дБ.

Наряду с высокой точностью достоинством метода обламывания является его относительная простота и возможность применения стандартных регистрирующих устройств. Недостатком метода является его разрушающий характер, приводящий к потере при каждом измерении нескольких метров оптического волокна.

При безобломном методе измерения затухания измеряемый волоконный световод соединяется со средством измерения через

стандартные нестируемые или нестандартные юстируемые оптическими соединителями.

С помощью регистрирующего устройства 8 определяют значение уровня мощности на выходном соединителе измеряемого световода, затем его извлекают, присоединяют соединитель вспомогательного волокна 4 с соединителем приемника излучения 7 и регистрируют значение уровня мощности на выходе вспомогательного волокна. Обработка полученных результатов анологична методу обламывания.

Метод комбинированного рассеяния основан на измерении рассеянного через боковую поверхность волоконного световода – излучения в двух точках на его длине, между которыми измеряется затухание. Этот метод ещё не нашел широкого применения, т.к. он имеет существенный недостаток – необходимость применения высокочувствительных фотоприемников из-за того, что мощность излучения, рассеиваемого через боковую поверхность световода крайне мала.

Для проведения измерения затухания в световодах двухточечным методом на практике применяют стандартные приборы: ваттметры поглощаемой мощности оптические /СМЗ – 77/, оптические тестеры ЗОТ – 6, ОТ-8, ОТ-9, ОМКЗ-65 и др./ Все они предназначены для измерения максимальной мощности импульсно-модулированного или средней мощности непрерывного оптического излучения в диапазонах длины волн 0,85 мкм и 1,3 мкм. Типовые диапазоны измерения мощности излучения $10^{-7}$ – $10^{-2}$ Вт, непосредственные измерения коэффициента затухания 0 + 35 дБ, пределы допускаемой погрешности при измерении мощности излучения 20-30 %.

5.3.2. *Измерение распределения оптических потерь по длине оптического кабеля.*

В технике измерений параметров световодных систем связи и передачи информации наиболее информативным является метод, основанный на анализе реакции исследуемого световода на зондирующее оптическое излучение. Реакция световода может проявляться в виде обратной волны потока излучения, обусловленного эффектами отражения и рассеяния света в материале световода. Этот метод (рис.32)

получил название метода рефлектометрии, а приборы на основе направленных ответвителей, реализующие этот метод, получили название рефлектометров. Относительная простота технической реализации обеспечило широкое распространение приборов локационного типа, принцип действия которых основан на измерениях времени задержки импульсов френелевского отражения. Подобные приборы применительно к волоконной оптике предназначены только для определения мест повреждения световода и измерений длины.

Наиболее перспективным методом импульсной рефлектометрии является метод измерения мощности обратного рассеяния. Для реализации этого метода – исследуемый световод зондируется оптическими импульсами большой мощности, который вводится в него через устройство, в качестве которого используется направленный ответвитель. Отраженный поток обратного рассеяния преобразуется фотоприемником, регистрируется /обычно на экране электронно – лучевой трубки/ зависимость мощности обратного рассеяния от длины волокна /или времени распространения сигнала/ несущая информацию о местоположении и характере неоднородностей. Место обрыва волокна характеризуется резким падением мощности рассеяния. Путем измерения амплитудно – временных характеристик этого отраженного сигнала при известном значении показателя преломления можно определить место повреждения, Существующие на данный момент оптические рефлектометры ОР – I, ОР –2 и ОР5 –I8, ОР5 –I9, ОР5 –20 и др. позволяют определить расстояние до места повреждения оптических многомодовых кабелей с точностью до 0,0I + 0,05 $L$ где $L$ – длина исследуемого кабеля /диапазон измерения расстояния – до 20 км/, измерять затухание и потери в местах стыка строительных длин оптического кабеля, позволяют измерять распределение затухания по длине световода, выявлять места повышенного затухания и крупных неоднородностей.

5.3.3. Измерения апертурных характеристик.

Значение числовой апертуры необходимо для уменьшения потерь как в устройствах ввода - вывода излучения, так и приходящихся на механические и сварные соединения волоконных световодов. Несогласованность параметров сочленяемых световодов в целом может привести к очень существенным потерям в линиях из многомодовых градиентных световодов. Наиболее сильное влияние на потери оказывает несогласованность числовых апертур, которая может привести к потерям порядка I дБ и более на одно место соединения.

Апертурные характеристики излучения на выходе измеряемого оптического кабеля определяют путем исследования распределения интенсивности выходного излучения в дальней зоне. При этом различают две характеристики - числовую апертуру и эффективную числовую апертуру /конкретная измеряемая характеристика должна быть указана в технических условиях на оптический кабель/.

Числовая апертура измеряется путем определения диаграммы направленности в дальней зоне /т.е. расстояние от торца измеряемого световода до фотоприемника должно быть много больше диаметра сердцевины световода/. Подобный метод применяется для контроля равновестности установившегося распределения мод.

Обобщенная схема проведения измерений приведена на рис.33. В качестве фотоприемника и регистрирующего устройства возможно использование телевизионной камеры и регистрирующего устройства, которое позволяет выделять строку телевизионного изображения торца измеряемого световода. Эффективная числовая апертура определяется путем измерения мощности излучения в дальней зоне в изменяющимся телесном угле с вершиной, расположенной в плоскости выходного торца. Изменение значения телесного угла осуществляется перемещением приемника излучения вдоль оси измеряемого волокна или путем изменения диаметра раскрыва диафрагмы, расположенной перед приемником излучения (рис. 34 ).

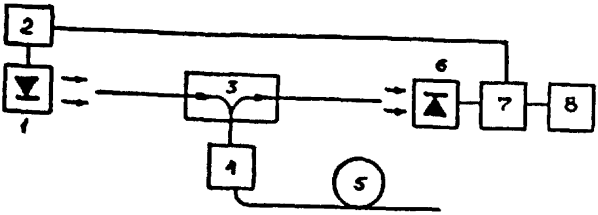



Рис. 32. Измерение распределения оптических потерь по длине.

1 - источник излучения; 2 -генератор электрических импульсов: 3 -направленный ответвитель; 4 -устройство вводе; 5 -измеряемый кабель; 6 -приемник излучения; 7 -устройство обработки сигнала; 8 -регистрирующее устройство.

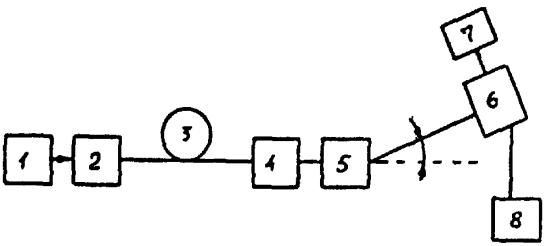



Рис. 33. Измерение числовой апертуры.

1 -источник излучения; 2 -устройство ввода; 3 -измеряемый кабель; 4 -фильтр мод обочки; 5 -устройство крепления;6 -приемник излучения; 7 -устройство перемещения; 8 -регистрирующее устройство.

Регулировкой диаметра раскрыва диафрагмы или перемещением приемника излучения устанавливают положение, при котором все излучение с выходного торца попадает на приемник излучения. Уменьшая диаметр раскрыва диафрагмы (или отодвигая приемник от выходного торца волокна) и регулируя интенсивность источника излучения снимают зависимость интенсивности излучения от значения телесного угла. При измерениях ряда параметров волоконных световодов встречается измерение интенсивности излучения в ближайшей зоне. Это разновидность метода измерения оптической мощности, а по средствам измерения метод близок к измерениям апертурных характеристик. По сути дела это измерение поверхностей плотности мощности. При этом перед рабочей площадкой оптоэлектронного измерительного прибора устанавливается узкая продольная щель или малых размеров круглая диафрагма, а затем осуществляется сканирование либо пучком по щели, либо задиафрагмированным приемником поперёк луча. Удобно в качестве регистрирующего устройства применять телевизионный микроскоп (рис. 35 ), содержащий телевизионную камеру, монитор и блок управления и обеспечивающий получение изображения торца волокна с требуемым увеличением. Блок управления должен осуществлять выделение нужной строки на мониторе с последующей её обработкой. По результатам измерений строится график зависимости интенсивности излучения в ближней зоне от номинального радиуса сердцевины, что дает возможность определения распределения интенсивности оптического излучения по сечению световода с учетом взаимодействия распространяющихся мод.

5.3.4. Измерение широкополосности.

Различают три основных источника дисперсии в волокне:

- эффекты волноводного распространения, связанные с разбросом групповых скоростей волн различных порядков (мод),
- измерение показателя преломления материала волокна с длиной волны излучения (материальная дисперсия),
- зависимость группового времени пробега волн от длины волны излучения (волноводная дисперсия).

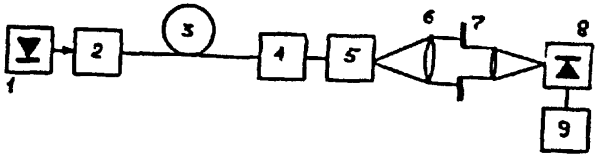



Рис. 34 Измерение эффективной числовой апертуры.

1 -источник излучения; 2 -устройство ввода;
3 -измеряемый кабель; 4 -фильтр мод оболочки;
5 -устройство крепления;6 -конденсор;
7 -регулируемая диафрагма; 8 -приемник излучени
9 -регистрирующее устройство.

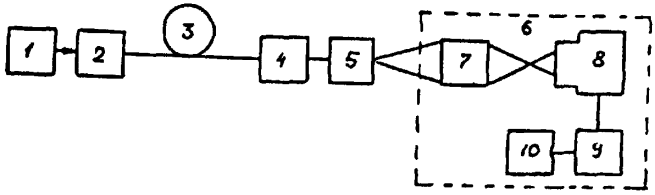



Рис. 35 Измерение интенсивности излучения в ближней зоне.

1 -источник излучения; 2 -устройство ввода;
3 -измеряемый кабель; 4 -фильтр мод оболочки;
5 -устройство крепления; 6 -регистрирующее устройство; 7 -микроскоп;
8 -телевизионная камера; 9 -монитор;
10-блок управления.

Первая причина искажения оптического сигнала носит название модовой дисперсии. Последние два эффекта, объединяемые в понятие хроматической дисперсии, существенны в том случае, когда оптическая волна имеет конечную ширину частотной полосы не в результате модуляции сигнала, а потому что исходит от частично когерентного или некогерентного источника. Тогда энергия несущей волны распределена в достаточно широком спектре излучения.

Для измерения и сопоставления дискретных свойств различных световодов нужны стандартизованные условия возбуждения, обеспечивающие воспроизводимость результатов при измерении разными способами. Нормализованными следует считать условия ввода, излучения наименее благоприятные для распространения, т.е. такие, которые для данного волокна обуславливают максимальную дисперсию. Этим условием является равновесие мод, т.е. введение в каждую моду равной мощности оптического излучения. Дисперсионные свойства волоконных световодов можно характеризовать на основе анализе искажений, которые претерпевает распространяющийся в нем оптический импульс. Импульсный метод основан на последовательной регистрации импульсов оптического излучения на выходе измеряемого волокна и на выходе его короткого отрезка, образованного за счет обрыва в начале волокна. Зарегистрированную форму импульса после обрыва волокна принимают за форму импульса на входе волокна измеряемого кабеля (схема измерения изображена на рис. 36 )

Обработка результатов сводится к вычислению передаточной характеристики в частном представлении и дальнейшем нахождении коэффициента широкополосности оптического волокна измеряемого кабеля ГОСТ 26814-86 п.4.2.6.2. Частотный метод связан с определением АЧХ волоконного световода. Практически АЧХ находят, вычисляя отношение коэффициентов амплитудной модуляции непрерывных сигналов оптического излучения на выходе и входе измеряемого световода. По результатам измерений строится график отношения значений сигналов переменной составляющей на входе и выходе оптического кабеля от частоты модуляции, т.е. амплитудно-частотную характеристику измеряемого световода.

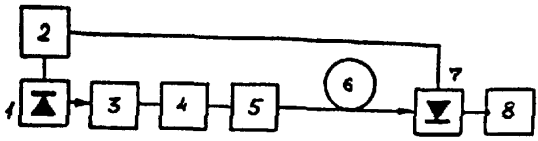



Рис.36 Импульсный метод измерения передаточной характеристики оптического волокна.

I -источник излучения; 2 -блок управления;
3 -устройство ввода; 4 -смеситель мод;
5 -фильтр мод оболочки; 6 -измеряемый кабель;
7 -приемник излучения;:
8 -регистрирующее устройство.

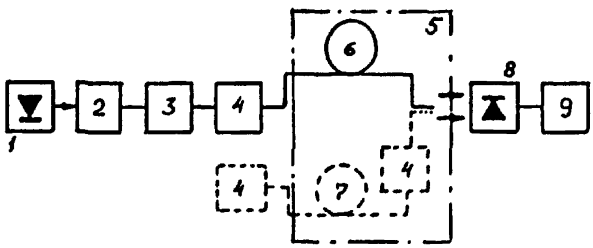



Рис.37 Измерение переходного затухания.

I -источник излучения; 2 -устройство ввода;
3 -смеситель мод; 4 -фильтр мод оболочки;
5 -измеряемый кабель; 6 -оптическое волокно, подверженное влиянию; 7 -влияющее волокно;
8 -приемник излучения; 9 -регистрирующее устройство.

Значение ширины полосы пропускания оптического кабеля принимают равной частоте, на которой амплитуды сигнала АЧХ уменьшилась на 3 дБ. Коэффициент широкополосности измеряемого световода определяют по формуле:

$$K = B \cdot L^{m} \qquad (5.6)$$

$B$ – ширина полосы пропускания измеряемого оптического световода, МГц

$L$ – длина измеряемого кабеля, км

$m$ – эмпирический параметр, установленный в технических условиях на конкретный оптический кабель.

5.3.5. Измерение переходного затухания и приращение затухания при воздействии внешних факторов.

Метод измерения переходного затухания основан на сравнении относительного уровня мощности оптического излучения на выходном (входном) конце световода измеряемого оптического кабеля, подверженного влиянию с уровнем мощности, введенной во влияющее волокно. Метод определяет переходное затухание на ближнем и дальнем конце кабеля.

Измерение переходного затухания в оптических кабелях проводят на установках, схема которой изображена на рис. Соединяют входной конец влияющего волокна с источником излучения, а выходной конец – с приемником излучения, юстируют схему на максимуму выходного сигнала. Выходной конец влияющего волокна отсоединяют от приемника излучения и соединяют с ним выходной конец подверженного влиянию волокна. Регистрируют показания, соответствующие уровню мощностей на входе (выходе) волокна. Не изменяя положения влияющего волокна в устройстве ввода обрывают влияющее волокно на расстоянии I м от входного торца. Регистрируют мощность излучения из волокна подверженного влиянию. В заключении определяют мощность на входе влияющего волокна, измеряя её на выходе короткого отрезка световода. По результатам измерений возможно определение переходного затухания на ближнем и дальнем концах оптического кабеля.

Метод измерения приращения затухания при воздействии внешних факторов предназначен для измерения такового приращения при механических нагрузках типа растяжения, изгибе и др. климатических воздействиях типа повышенной или пониженной температуры.

Приращение затухания определяют по результатам измерения мощности, излучаемой световодом измеряемого оптического кабеля до, вовремя и после окончания действия необходимого внешнего фактора в соответствии с техническими условиями на измеряемый оптический кабель. Обработка результатов - по ГОСТ 26814 - 86 п.5.6, 6,6.

5.4. Методика входного контроля кабеля волоконно-оптической линии связи и измерение затухания на участках ВОЛС.

Представленные методики разработаны в соответствии с ГОСТ 26814 - 86 на основании рассмотренных физических принципов.

Входной контроль кабеля ВОЛС.

Входной контроль кабеля ВОЛС производится при помощи оптического тестера ОМКЗ - 76 и устройстве для сварки КСС - III. Контроль состоит в замере потерь средней мощности оптического сигнала в контролируемом кабеле, определении коэффициентов затухания по результатам замеров и сравнении этих коэффициентов с паспортными. Перед началом измерений необходимо замерить величину мощности на выходе измерительной схемы.

5.4.I. Измерение мощности на выходе измерительной схемы.

На рис. 36 изображена схема измерения средней мощности оптического сигнала замкнутая "накоротко". Она состоит из :

- блока индикации ОМКЗ-76,
- источника оптического сигнала - преобразователя СИД или ЛД,
- смесителя мод,
- адаптера, соединенного фланцем с фотопреобразователем,
- фотопреобразователя ФП,

Измерения производятся в следующей последовательности:

I. Подключить блок индикации ОМКЗ-76 кабелем питания через разъем на задней стенке к источнику постоянного тока напряжением I2 В (штекер с красной меткой на "+" источника, а с зеле-

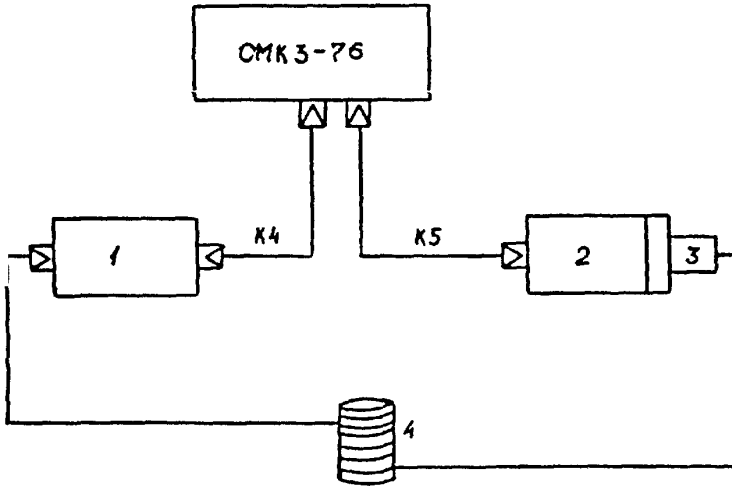



Рис. 36 Измерение мощности на выходе измерительной схемы.

1 - светоизлучающий диод; 2 -фотоприемник;
3 - адаптер; 4 - смеситель мод.

ной на "-" ) и заземлить его.

2. Соединить электрическим кабелем К4 разъём на блоке индикации (передняя панель) и разъём на преобразователе (или ЛД). Преобразователь СИД предпочтительнее из-за стабильности. Преобразователь ЛД используется при контроле кабеля длиной более 3 км

3. Подсоединить оптический соединитель смесителя мод к преобразователю СИД (ЛД).

4. Электрическим кабелем К5 соединить разём на передней панели блока индикации с разъёмом преобразователя ФП, который в свою очередь состыковать со стороны оптического входа с фланцем адаптера.

5. На блоке индикации нажать кнопку

6. Включить блок питания, нажать кнопку включения питания на передней панели блока индикации. При падении напряжения питания ниже 8 + 10 В начинает мигать индикатор ПИТАНИЕ над кнопкой, сигнализирующей о неисправности батарей или источника питания.

7. Нажать кнопку ВКЛ/ОТКЛ включить преобразователь СИД (ЛД) и прогреть в течении 15 мин.

8. Зачистить свободный конец смесителя мод. Проверить на микроскопе КСС-III качество торца волокна в соответствии с п. 1.2.2.2. ГОСТ 26814-86 "Кабели оптические".

9. Заложить подготовленное волокно смесителя мод в адаптер так, чтобы он выступал из него не более чем на 1 + 2 мм и вставить в раструб фланца, присоединенного к преобразователю ФП. При этом индикатор покажет величину мощности в децибеллах и должен гореть светодиодный индикатор РЕЖ.

10. Измерения производить с нажатой кнопкой $\frac{dBm}{W}$ для получения показаний в децибеллах.

11. Измерения производить не менее 3-х раз, каждый раз заново скалывая торец волокна. Если результат какого-либо измерения отличается более чем на 0,1 дБ от среднего, то замер

повторяется, а этот результат исключается.

І2. При каждом замере контролируется девиация мощности от вращения адаптера относительно преобразователя ФП на 90, І80, 270. При этом если показания мощности меняются более чем на 0,І дБ, то это означает либо неправильную центровку волокна в адаптере, либо плохой скол торца волокна, либо загрязнение поверхности чувствительного элемента преобразователя ФП. В этих случаях принимают меры по устранению указанных недостатков и повторяют замер.

І3. Среднее значение мощности на выходе измерительной схемы определяется по формуле:

$$A_o = \frac{A_{o1} + A_{o2} + \cdots + A_{on}}{n} \qquad (5.7)$$

$A_o$ - среднее значение мощности в дБ,

$A_{oI}$- $A_{on}$- результаты замеров в дБ,

n - число замеров.

5.4.2. Контроль кабеля.

Схема измерения мощности на выходе кабеля изображена на рис. 5.9.

І. Вынуть из адаптера торец волокна смесителя мод и вставить его в зажим (неподвижный) устройства для сварки КСС-ІІІ.

2. Зачистить один из концов волокна кабеля и, проконтролировав торец на микроскопе КСС-ІІІ, вставить его в адаптер чтобы он выступал не более чем на І + 2 мм. Соединить адаптер с преобразователем ФП.

3. Зачистить другой конец этого же волокна и вставить его в подвижный зажим КСС-ІІІ.

4. Проверив качество торца, произвести его юстировку с торцем волокна смесителя мод на расстоянии не более чем І/3 Д (где Д-диаметр волокна). Юстировку можно проконтролировать по максимальному показанию мощности на блоке индикации ОМКЗ-76. Если максимум передаваемой мощности не совпадает с основным положением торцев волокна, то необходимо сделать новые сколы на обоих торцах.

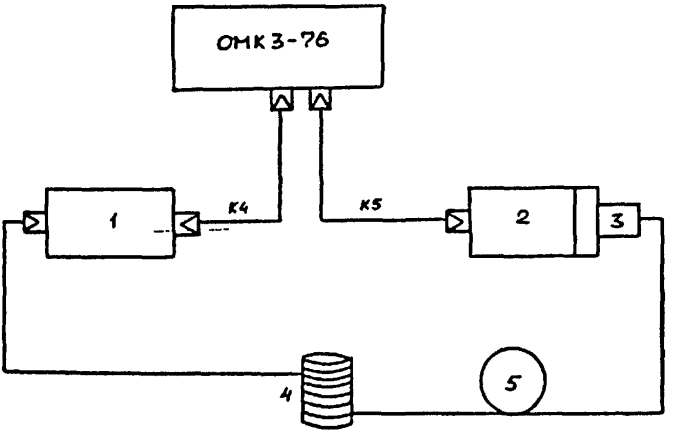



Рис. 39 Измерение мощности на выходе контролируемого кабеля.

1 -светоизлучающий диод; 2 -фотоприемник;
3 -адаптер; 4 -смеситель мод;
5 -контролируемый кабель.

5. Сведя торцы волокон почти до касания, измерить мощность на выходе кабеля в децибелах, контролируя при этом девиацию от вращения адаптера относительно преобразователя ФП.

6. Вычислить коэффициент затухания волокна по формуле:

$$\alpha = \frac{|\bar{A}_c - A_1|}{l} \left[\frac{дБ}{км}\right] \qquad (5.8)$$

$\alpha$ – коэффициент затухания дБ/км,

$\bar{A}_c$ – среднее значение мощности на выходе измерительной схемы дБ,

$A_1$ – значение мощности на выходе кабеля дБ,

$l$ – паспортная длина кабеля км.

7. Если полученный результат отличается от паспортного более чем на 15 %, то измерения производят не менее трех раз со скалыванием обоих торцов контролируемого волокна ( в адаптере и подвижном зажиме КСС-III). При этом результат измерения А с отклонением более чем на 0,1 дБ считается недействительным. Вычисляется А – среднее значение мощности на выходе контролируемого волокна. Затухание определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{|\bar{A}_c - A_1|}{l} \left[\frac{дБ}{км}\right] \qquad (5.9)$$

8. Такой же трехкратный замер производится при получении величины $\alpha$ отличающейся от максимально допустимого значения менее чем на 15 % (Например, при $\alpha$ =5 дБ/км замеры повторяются 3 раза при $\alpha$ = 4,25 дБ/км).

5.4.3. Измерение затухания на участках ВОЛС.

Контроль качества смонтированных участков ВОЛС производится на местах заделки оптических разъемных соединителей методом вносимых потерь. Данная методика аналогична методике входного контроля кабеля ВОЛС.

Для контроля производится замер затухания и расчет коэффициента затухания по результатам замеров. Перед началом измерения кабель и его оптические разъёмные соединители должны быть выдержаны при предельных климатических условиях (в пределах заданных технических условий на ВОЛС) не менее 3-х часов.

Торцы всех сочленяемых соединений перед измерениями протираются спиртом.

Измерение мощности на выходе схемы.

На рис. *40* изображена схема измерения средней мощности на выходе смесителя мод. Источником оптического излучения служит лазер генератора оптических импульсов ОГ5-87 (или другой источник, работающий в диапазоне частот данной ВОЛС с нестабильностью не более I дБ за 8 часов непрерывной работы).

I. Собрать схему по рис. *40*.

2. Заземлить ОГ5-87 и ОМ3-65 и подвести к ним электрическое питание.

3. На ОГ5-87 включить:

- тумблер питания,
- переключатель ЛАЗЕР/ОТКЛ,
- переключатель мощность Р в положение Р/2,

В данном методе используется немодулированное излучение лазера ОГ5-87. В случае необходимости имитации реальных оптических сигналов связи ОГ5-87 используется согласно его техническому описанию и инструкции по эксплуатации.

4. На ваттметре ОМ3-65 включить клавишу СЕТЬ/ПИТ и выбрать необходимый предел измерения мощности при помощи клавиши ПРЕДЕЛЫ, чтобы использовались все четыре разряда дисплея. В случае перегрузки предела загораются все точки между цифрами. При этом необходимо перейти на более высокий предел измерения.

5. После 30 минутного прогрева зарегистрировать величину излучаемой мощности на выходе смесителя мод.

6. Измерения повторить не менее 3-х раз. Измерения, отличающиеся от средней величины более чем на 5 %, считаются недействительными и повторяются. Средняя излучаемая мощность на выходе смесителя мод определяется по формуле:

$$\overline{P}_{см} = \frac{P_{см_1} + P_{см_2} + \dots + P_{см_N}}{N} \qquad (5.10)$$

$N$ - число измерений $\geq 3$




Рис. 40 Измерение средней мощности на выходе смесителя мод.

I -смеситель мод; 2 -фотоприемник;
3 -соединитель оптический.

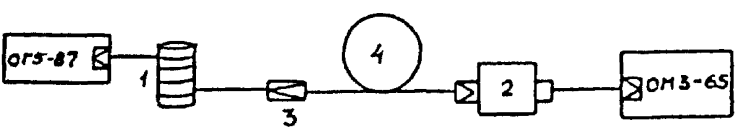



Рис. 41 Измерение средней мощности на выходе кабеля ВОЛС.

I -смеситель мод; 2 -фотоприемник;
3 -соединитель оптический; 4 -измеряемый кабель.

Измерение средней мощности на выходе кабеля ВОЛС.

Измерения проводят согласно схеме, изображенной на рис. 41.

По результатам измерений рассчитывается средняя величина мощности на выходе кабеля:

$$\overline{P}_к = \frac{P_{к1} + P_{к2} + \cdots + P_{кN}}{N} \qquad (5.II)$$

$N$ – число измерений.

Обработка результатов измерений.

I. Рассчитать затухание в кабеле по формуле:

$$A = 10\,lg\,\overline{P}_{см}/\overline{P}_к \quad [дБ] \qquad (5.I2)$$

$A$ – затухание в контролируемом кабеле,

$\overline{P}_{см}$ – среднее значение мощности на выходе смесителя мод,

$\overline{P}_к$ – среднее значение мощности на выходе кабеля.

Следует обратить внимание на обязательность одинаковой размерности единиц измерения.

При необходимости их приводят в соизмеримые значения пользуясь соотношениями:

I мВт = I000 мкВт

I мкВт = I000 нВт (5.I3)

2. Рассчитывают коэффициент затухания на участке ВОЛС по формуле:

$$\alpha = \frac{A}{l} \quad [\frac{дБ}{км}] \qquad (5.I4)$$

$\alpha$ – коэффициент затухания,

$A$ – затухание кабеля, дБ

$l$ – длина кабеля, км

3. Если величины A и $\alpha$ не превышают 80 % от предельно допустимых по техническим условиям величин, то данный участок можно считать годным к эксплуатации.

4. Если величины A и $\alpha$ получаются в пределах 80 ÷ I00 % от предельно допустимых величин, то производится сравнение с заводскими сертификатами на проложенный кабель. При чем для участка

проложенного из сварных кусков кабеля расчетное затухание будет равно:

$$A_p = \alpha_1 \cdot l_1 + \alpha_2 l + \cdots + \alpha_n l \qquad (5.I5)$$

$A_p$ -расчетная величина затухания участка ВОЛС

$\alpha_n, l_n$ -соответственно коэффициенты затухания и длины кусков кабеля

Расчетный коэффициент затухания будет равен:

$$\alpha_p = \frac{A_p}{l_1 + l_2 + \cdots + l_n} \qquad (5.I6)$$

$A_p$-расчетная величина затухания участка ВОЛС

$l_n$-длины кусков кабеля.

Участок ВОЛС можно считать годным к эксплуатации если замеренные и расчетные величины $A$ и $\alpha$ не отличаются друг от друга более чем на I0 %.

5. Если участок ВОЛС по результатам измерений не может быть признан годным к эксплуатации, то производят:

-переделку оптических соединителей кабеля,

-переварку сварных стыков,

-частичную или полную замену кабеля.

Замеры потерь можно производить используя два оптических тестера типа ОМКЗ-76, по схемам, изображенным на рис. 40 и 41. При этом участок ВОЛС может считаться годным к эксплуатации если измеренные величины $\alpha$ и $A$ не превышают 70 % от предельно допустимых, либо не превышая предельно допустимых в то же время не отличаются от расчетных более чем на I5 %.

Для комплексной оценки качества линии связи целесообразно выполнить измерение распределения оптических потерь по её длине. Основой таких измерений служит способ, описанный в п.5.3.3. Применение рефлектометра для данных целей позволяет получить рефлектограмму, которая будет являться образцовой для всех последующих аналогичных измерений, т.к. на ней будет проявляться информация о всех особенностях данной линии: наличие разъемных соединителей, местах сварки (с примерной оценкой их качества), местах повышенного затухания, обрывах и т.п. Сравнение полученных рефлектограмм с образцовой позволяет диагностировать повреж-

дения линии с большой степенью достоверности (на основании новых характерных точек или изломов, отсутствовавших на образцовой рефлектограмме). Один из возможных видов такой рефлектограммы (или кривой обратнорассеянного излучения) приведен на рис. 12. Спады интенсивности обратнорассеянного излучения (А) говорят о местах повышенного затухания. Характерные точки (В) говорят о наличии обрыва. Если таких точек более одной, волокно имеет обрывы, если она одна, то о наличии обрыва судят по результатам сравнения значений обратнорассеянной мощности Р при измерениях с иммерсионной жидкостью на конце линии и без неё. При обрыве волокна оба эти значения равны. Значения позволяют судить о расстоянии от места измерения до местонахождения данной неоднородности.

5.5. Измеряемые параметры приемных и передающих оптических модулей. Приемные и передающие оптические модули являются устройствами, входящими в состав оконечных (или промежуточных) устройств волоконно-оптических линий связи. Передающий оптический модуль представляет собой электронно-оптический преобразователь, приемный оптический модуль - оптико-электронный преобразователь. Модули бывают аналоговые и цифровые. Они могут содержать кодирующие или декодирующие устройства или преобразователи кодов.

Входное устройство передающего и выходное устройство приемного модулей рассчитаны на работу с сигналами соответствующими уровням цифровых микросхем ТТЛ или ЭСЛ логики. В аналоговых модулях используется амплитудная, частотная или фазовая модуляции. И приемные, и передающие оптические модули полностью характеризуются своей системой параметров. У передающих модулей возможно изменение средней мощности импульса выходного сигнала и мощности фонового излучения (средняя мощность излучения на выходе передающего модуля при электрическом сигнале запуска на входе модуля, соответствующем уровне логического нуля заданного формата данных) от температуры. Исследуется влияние напряжения на важнейшие параметры модуля - максимальную скорость передачи данных (или максимальная частота повторения импульсов), также средние и фоновые мощности излучения.

Возможно измерение выходной числовой апертуры. Для приемных модулей актуально измерение зависимостей от температуры уровня собственных шумов, пороговой мощности импульса излучения на входе модуля, выходного напряжения логических состояний, вероятности ошибки в единицу времени при приеме информации. Также исследуется влияние напряжения питания на эти параметры. Кроме того, как для передающих так и для приемных модулей важно измерять временную стабильность перечисленных параметров.

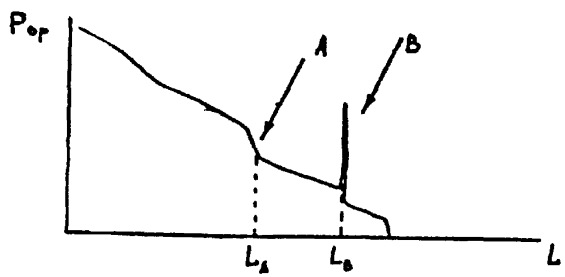



Рис. 42 Возможный вид кривой обратнорассеянного излучения.

## 6. Литература


I. Дж.Гауэр. Оптические системы связи. - М.:Радио и связь, I989.

2. Ю.Р.Носов. Оптоэлектроника - М.:Радио и связь, I989.

3. Волоконная оптика и приборостроение. Под.ред.М.М.Бутусова. Л.:Машиностроение, I987.

4. И.И.Гродне. Волоконно-оптические линии связи. М.:Радио и связь, I990.

5. Б.А.Карасюк, Г.И.Корнеев. Оптические системы связи и световодные датчики. - М.:Радио и связь, I985.

6. Н.А.Семенов. Оптические кабели связи. - М.:Радио и связь, I98I.

7. М.Д.Аксененко, М.А.Бараночников. Приемники оптического излучения. Справочник. - М.:Радио и связь, I987.

8. В.Н.Жуков, В.А.Курилов. Сварка оптического волокна, (Методические указания НФ ИПК). I990.

9. В.А.Курилов, Ф.М.Смазнов, Ю.Г.Шкода. Элементы функциональной электроники в АПОИ. Учебное пособие. - М.: I985.

I0. В.Е.Колесниченко. Схемотехнические решения при организации множественного доступа к моноканалу в локальных сетях. Зарубежная радиоэлектроника, вып.8, I990.

II. З.П.Лунева, П.Н.Гусич, А.В.Смирнов. Система кабельного телевидения со световодными линиями связи. Средства связи, № I, I987.

I2. Ю.М.Кирик, М.И.Кривошеев и др. Передача ТВ сигналов методом ИМ по оптическому кабелю. Электросвязь, I985, № 5.

I3. А.А.Аликин, О.И.Горбунов и др. Цифровая волоконно-оптическая система передачи данных. Электросвязь, № I0, I985.

I4. Н.В.Кобзев, А.А.Осташин, В.А.Курилов, Г.П.Смирнов. Современные возможности автоматизации производства на основе волоконно-оптических систем передач информации// Монтаж и наладка средств автоматизации и связи. I995, № I.

I5. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие /А.С.Клюев, Б.В.Глазов, А.Х.Дубровский, А.А.Клюев; под.ред.А.С.Клюева - 2-е изд.,перераб. и доп.-М.: Энергоатомиздат, I990.

СОДЕРЖАНИЕ


I. Общие положения . . . . . 3

2. Волоконно-оптические информационные системы (системы связи) . . . . . 6

2.2. Отличительные особенности ВОСС в зависимости от их назначения . . . . . 9

2.3. Принципы укрупненного расчета построения волоконно-оптических линий связи . . . . . II

2.4. Структурные схемы волоконно-оптических сетей I5

3. Компоненты и устройства ВОСС . . . . . 2I

3.I. Классификация компонентов волоконно-оптических систем передачи (Оптическое волокно) . . . . . 2I

3.2. Конструкции оптического кабеля . . . . . 37

3.3. Оптические соединители . . . . . 38

3.4. Оптические разветвители . . . . . 42

3.5. Оптические оттенюаторы . . . . . 45

3.6. Переходные шнуры, вилки, розетки . . . . . 47

3.7. Передающие и приемные оптоэлектронные модули 48

3.8. Системы сбора, передачи и распределения информации в сетях АСУТП и АСУП . . . . . 54

3.9. Волоконно-оптические компоненты для организации локальных вычислительных сетей с использованием ВОЛС . . . . . 57

4. Строительство волоконно-оптических линий связи 77

5. Измерения параметров ВОЛС . . . . . 83

5.I. Классификация измеряемых параметров волоконных световодов . . . . . 84

5.I.I. Геометрические параметры . . . . . 86

5.I.2. Оптические параметры . . . . . 86

5.I.3. Параметры затухания излучения . . . . . 87

5.I.4. Параметры широкополосности . . . . . 87

5.I.5. Основные параметры, подлежащие измерению . . . . . 88

5.2. Вспомогательные технические приемы и средства при проведении измерений . . . . . 89

5.2.1. Подготовка световодов . . . . . 89
5.2.2. Возбуждение световодов . . . . . 89
5.3. Методы, средства и приемы измерений . . . . 92
5.3.1. Измерение затухания . . . . . 92
5.3.2. Измерение распределения оптических потерь на длине оптического кабеля . . 97
5.3.3. Измерение апертурных характеристик 99
5.3.4. Измерение широкополосности . . . . . 101
5.3.5. Измерение переходного затухания и приращения затухания при воздействии внешних факторов . . . . . 105
5.4. Входной контроль кабеля волоконно-оптической линии связи и измерение затухания на участках ВОЛС . . . . . 106
5.5. Измеряемые параметры приемных и передающих оптических модулей . . . . . 116
6. Литература . . . . . 118

gost.e-ecolog.ru