РЕКОМЕНДАЦИИ
по применению ВОСП в системах автоматизации технологических процессов
РМ4-234-91

ГПКИ "ПРОЕКТМОНТАЖАВТОМАТИКА"

1991

gost.e-ecolog.ru

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

Разработан – Государственным ордена Трудового Красного Знамени проектным и конструкторским институтом "Проектмонтажавтоматика"

Исполнители – Чудинов М.А., Гуров А.М., Манин В.С.

Рекомендации по применению ВОСП в системах автоматизации технологических процессов

РМ4-234-91
Вводится впервые

Дата введения 02.09.91

Настоящий материал содержит необходимые сведения для расчета волоконно-оптических линий связи, применяемых в системах автоматизации технологических процессов.

В справочной части помещены: марки оптических кабелей, выпускаемых отечественной промышленностью, приемники и передатчики оптического излучения, необходимый инструмент и оборудование для проведения монтажных работ, ранее не включенных в действующие технологические документы.

Указанные сведения даны по состоянию на 01.05.91. При их использовании следует учитывать возможные изменения, вносимые заводами-изготовителями.

Замечания и предложения по материалу проекта направлять по адресу: 123308, Москва, ГПКИ "ПРОЕКТМОНТАЖАВТОМАТИКА".

361-859 2.09.91 Инв

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Широкое применение микропроцессорной техники в автоматизированных системах управления технологическими процессами создало необходимые предпосылки для объединения всей микропроцессорной техники объекта в локальную информационно-вычислительную сеть (ЛИВС). Для реализации таких сетей необходимы надежные и быстродействующие линии связи между рассредоточенными на объекте устройствами системы автоматизации технологическими процессами.

Теоретические и экспериментальные исследования в области оптики и электроники, создание волоконных световодов с малыми оптическими потерями, полупроводниковых источников светового излучения и фотодетекторов привели к созданию и развитию световодных систем, используемых для сбора и передачи информации в автоматизированных системах.

1.2. Существующие проводные линии связи во многих случаях не обеспечивают выполнения высоких требований к каналам передачи данных. Замена металлических проводников волоконными световодами позволило эффективно использовать оптические частоты, которые на несколько порядков превышают частоты СВЧ - диапазона и построить системы связи, нечувствительные к воздействию электромагнитных помех, способные работать в условиях взрыво-и пожароопасных сред, совмещать в одном волокне сотни и тысячи каналов связи при очень высоких скоростях передачи информации, достигающих единиц и десятков гигабит в секунду. Применение волоконной техники позволяет решить ряд проблем, ограничивающих возможность применения современной электроники, вычислительной техники и др. Так во многих электронных устройствах для улуч-

шения отношения сигнал-шум и уменьшения вероятности возникновения ошибок необходима гальваническая развязка между отдельными элементами схемы. Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) обеспечивают идеальную гальваническую развязку. Широкие полосы пропускания световодных линий позволяют уплотнять сигналы, идущие по параллельным шинам, и передавать их по одному волоконному каналу. Недорогие ВОСП на скорости передачи до I-2 МБит/с с дальностью в несколько километров имеют широкие сферы применения. Это - автоматизированные системы управления технологическими процессами на металлургических, машиностроительных, энергетических и химических производствах.

Обеспечение высоких скоростей обмена информации между процессором и устройством памяти в ЭВМ на перестраиваемых структурах возможно только применяя световодные линии связи.

1.3. В данном материале применены термины в соответствии с РМ4-239-9I и приняты следующие сокращения:

ВОСП - волоконно-оптические системы передачи;
ВОЛС - волоконно-оптические линии связи;
ОВ - оптическое волокно;
ОК - оптический кабель;
АСУТП - автоматизированные системы управления автоматических процессов;
УВК - управляющий вычислительный комплекс;
ЭВМ - электронная вычислительная машина;
СД, СИД - светоизлучающие диоды;
ФД - фотодиод;
ЛФД - лавинный фотодиод;
ВОД - волоконно-оптический датчик;
КЭМ - квантово-электронный модуль;
РУ - ретрансляционный участок;
Пер.- передатчик;
Пр. - приемник;
L стр. - строительная длина;
пос. - последовательная;
гибр. - гибридная;
рез. - результирующая.

При проектировании ВОСП следует, как и при проектировании других объектов, учитывать следующие положения.

I.4. Последовательность проектирования - от общего к частному. Вначале решаются вопросы обоснования экономической целесообразности и необходимости сооружения ВОЛС в целом, а затем детализация по отдельным вопросам и устройствам (конструкция кабелей, трасса и прокладки, система передачи, электропитание, размещение регенерационных пунктов и т. д.).

I.5. Вариантность проектирования. Рассматриваются несколько вариантов решений и на основе технико-экономических показателей выбирается оптимальный.

I.6. Использование типовых проектов.

I.7. Экономическое обоснование.

Решение о проектировании ВОЛС принимается, исходя из экономического обоснования, подтверждающего целесообразность и необходимость сооружения ВОСП для данного объекта.

I.8. После определения необходимости применения ВОСП приступают к проектированию начиная с определения общих требований к системе.

К общим требованиям относят:

заданный объем передаваемой информации;

определяют необходимую полосу пропускания системы,

задаются скоростью передачи информации;

тип передаваемой информации: цифровой или аналоговой;

помехозащищенность системы (при особых требованиях определяют вероятность ошибки при передачи цифровой информации и от-

ношение сигнал-шум на входе оптического приемника);

расстояние между оконечными устройствами или терминалами, количество и характеристики терминалов;

условия прокладки линий связи и эксплуатации системы;

требования к массо-габаритным и стоимостным характеристикам, надежности системы.

Кроме этих основных требований необходимо учитывать воздействие на систему климатических факторов и агрессивности окружающей среды, наличие электромагнитных и радиационных воздействий и т. п.

1.9. Создание ВОСП определяется конкретными условиями автоматизируемого объекта и, как правило, является оригинальным проектом, хотя в нем могут присутствовать и типовые решения по отдельным вопросам.

1.10. Проектирование ВОСП является частью общего проектирования АСУ ТП. Стадийность разработки, состав и содержание документации должны приниматься по рекомендациям ГОСТ 34.201-89 и СРММ-3 АСУ ТП. Документация, отнесенная ГОСТ 34.201-89 к проектно-сметной, должна оформляться по стандартам СПДС и пособиям, выпущенным ГПКИ ПМА в их развитие.

1.11. В настоящее время для организации ВОЛС в АСУ ТП промышленностью не выпускаются комплексные технические средства, в состав которых входят оптические кабели и приемопередающие устройства. В связи с этим при применении ВОЛС, одновременно с проектной документацией по АСУ ТП, разрабатывают конструкторскую документацию на изготовление нестандартизированных технических средств (ТС), обеспечивающих стыковку поставляемых промышленностью (или нестандартизированных) УВК с ВОСП.

I.12. Комплект конструкторской документации рекомендуется выполнять по указаниям РМ4-I03-89. При этом основные элементы приемо-передающих устройств включаются в спецификацию и ведомость покупных изделий. Условные обозначения на схемах и чертежах конструкторской документации должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 2.76I-84 "Обозначения условные графические в схемах. Компоненты волоконно-оптических передач". Поставка ТС для ВОСП на объект должна осуществляться в полностью укомплектованном виде и готовых к функционированию.

I.13. В качестве нестандартизированных технических средств АСУ ТП, использующих для передачи информации ВОЛС, можно рекомендовать разработанный ГПКИ ПМА комплекс (КТС САДУ).

Нестандартизированные ТС должны применяться в соответствии с рекомендациями РТМ36.22.I3-90.

I.14. Запись ТС в спецификацию оборудования (СО) выполняют по указаниям РМ4-206-89, а изделий и материалов для монтажа ОК - по РМ4-206-89 и РМ4-I49-87.

2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2.I. Проектирование начинают с изучения поставленных задач перед ВОСП и анализа имеющейся элементной базы. Выбирают топологию системы, которая определяется ее назначением, числом терминалов, перспективой дальнейшего развития и модификации.

2.2. Важнейшим этапом проектирования является выбор типа оптического кабеля (ОК) при помощи которого выполняется требование по дальности связи и числу каналов информации.

2.3. Предусматривают резервирование каналов и системы элект питания.

2.4. Определяют ширину пропускания ОК в совокупности с источником излучения для того, чтобы обеспечить заданную скорость передачи информации (ширину пропускания - широкополосность) на данном расстоянии. Расчитывают число ретрансляторов в системе, если они необходимы. Выбирают пространственное, временное или спектральное уплотнение сигналов, вид модуляции.

2.5. При выборе элементной базы следует проводить экономическую оценку системы, связанную с определением удельной стоимости каждого элемента в общей сумме затрат на систему. Это позволит определить, что обуславливает основные затраты в системе: ОК, прямопередающие устройства, ретрансляторы и т. д. В большинстве случаев основные затраты падают на приобретение и прокладку ОК. В этом случае целесообразно выбирать ОК с возможно низким затуханием и широкой полосой частот в расчете на возможность развития системы.

2.6. Затем рассматривают и определяют необходимые требования к условиям прокладки, монтажу ОК, соединительных и оконечных устройств, определяют конструктивное размещение приемопередающих модулей. Устанавливают необходимые требования к производству измерительных и настроечных работ.

2.7. При выборе элементной базы и топологии системы в процессе проектирования необходимо определить наиболее уязвимые (по надежности) звенья ВОСП и предусмотреть их резервирование.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ВОСП

3.I. На базе волоконно-оптических кабелей и элементов интегральной оптики создаются системы сбора, передачи и распределения информации (черт.I) такие системы используются для:

магистральной передачи больших массивов информации;

комплексной связи УВК с разнесенными по объекту элементами системы управления, получение и локальное распределение измерительной информации о состоянии объекта.

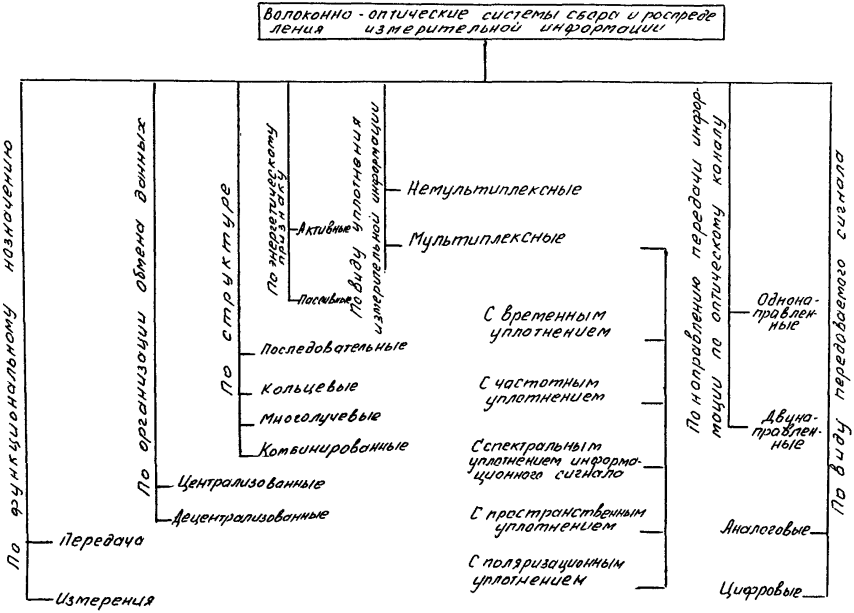
3.2. Для выполнения волоконно-оптических линий связи внутри объекта (межблочная связь внутри ЭВМ, связи внутри предприятия в пределах здания, зала и т. п.) применяют: полупроводниковые светодиоды (СД), Pin - фотодиоды (ФД) и оптические кабели (ОК) на основе многомодовых стеклянных или полимерных волокон со ступенчатым профилем.

Для выполнения ВОЛС в составе системы диспетчеризации объекта (комплекса), при сопряжении ЭВМ с далеко вынесенными терминалами, для сопряжения нескольких ЭВМ в единый управляющий вычислительный комплекс (УВК) объекта (производства) применяют: СД, полупроводниковые инжекционные лазеры (ПЛ), неразъемные и разъемные соединительные устройства, ФД, ОК на основе многомодовых из кварцевых или многокомпонентных стекол волокон со ступенчатым профилем.

3.3. Если ВОСП (волоконно-оптическая система передачи) выполняет функции не только передачи, но и получения измерительной информации, в ее составе должен быть набор соответствующих ВОД (волоконно-оптических датчиков).

3.4. По виду организации обмена данными ВОС могут быть централизованными, когда имеется центральная станция приема-передачи, осуществляющая управляемый обмен информацией с переферийными устройствами, и децентрализованными, в которых имеется несколько равноценных станций приема-передачи. При этом могут использоваться последовательная, кольцевая многолучевая и комбинированная конфигурации системы.

3.5. Системы могут быть активными и пассивными. Под активными понимаются такие, в которых входная величина способна оказывать энергетическое воздействие на переферийное устройство, создавая в конечном счете оптический сигнал (импульс тока возбуждающий источник излучения), пассивными - системы, в которых входная величина влияет на параметры оптического кабеля.


Волоконно-оптические системы сбора и распределения измерительной информации
По функциональному назначению
Передача
Измерения
По организации обмена данных
Централизованные
Децентрализованные
По структуре
Последовательные
Кольцевые
Многолучевые
Комбинированные
По энергетическому признаку
Активные
Пассивные
По виду уплотнения измерительной информации
Немультиплексные
Мультиплексные
С временным уплотнением
С частотным уплотнением
С спектральным уплотнением информационного сигнала
С пространственным уплотнением
С поляризационным уплотнением
По направлению передачи информации по оптическому каналу
Однонаправленные
Двунаправленные
По виду передаваемого сигнала
Аналоговые
Цифровые

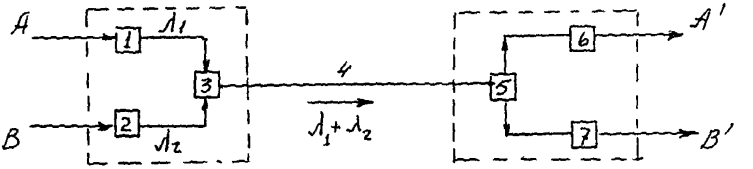
Черт.1

3.6. Для уплотнения собираемой и передаваемой информации, которая может быть представлена в аналоговом или цифровом виде, в ВОС при организации связи нескольких ВОД (датчиков или терминалов) со станцией (цент.управ. комплекс-машина) приема-передачи используют различные виды мультиплексирования: временное, частотное, спектральное поляризиционное и пространственное.

Информационную емкость ОК можно увеличить применяя различные методы уплотнения передаваемой информации - мультиплексирование.

3.7. Под мультиплексированием понимают процесс представления одного физического канала для передачи более чем одного информационного потока. Мультиплексирование является эффективным путем к уменьшению массогабаритных показателей ВОС и их удешевлению (черт 2).

Схема мультиплексирования оптического сигнала



Блок оптического передатчика

Блок оптического приемника

I,2 - оптические передатчики; 3 - волоконно-оптический разветвитель; 4 - ОК (волоконный световод); 5 - оптический демультиплексор; 6,7 - оптические приемники.

Черт. 2

При мультиплексировании оптических сигналов две серии электрических импульсов с входов А и В поступают в оптические передатчики (обычно объединенные в один блок), где модулируют оптические несущие с данными волн λ_1 и λ_2. Волоконно-оптический разветвитель объединяет монохроматические световые потоки в групповой поток, который по ОВ проходит (передается) в блок оптического приемника. Блок оптического приемника содержит оптический демультиплексор, который разделяет световой поток на два монохроматических световых потока с данными волн λ_1 и λ_2, а также два оптических приемника, потребляющих световые потоки в две серии электрических сигналов.

4. ВРЕМЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ

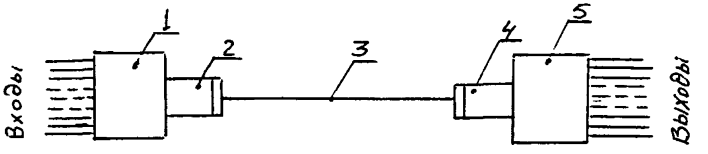
4.I. Временное мультиплексирование можно разбить на две группы:

активное временное уплотнение;

пассивное временное уплотнение.

В первой группе уплотнение входной информации осуществляется с помощью оптоэлектронных преобразователей, формирующих последовательность импульсов тока, протекающего через источник излучения, соединенный с передающим световодом, представляющий собой один материальный канал. Световод позволяет передавать несколько информационных каналов, т. к. для одного информационного сообщения используется часть периода (черт 3).

Активное временное мультиплексирование



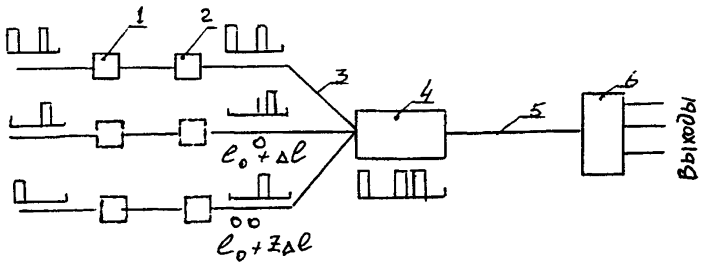
I - мультиплексор; 2 - излучатель; 3 - оптический световод (волокно); 4 - фотоприемник; 5 - демультиплексор.

Черт. 3

4.2. Системы с пассивным временным мультиплексированием основаны на использовании свойств волоконных световодов задерживать сигнал на время пропорциональное длине канала (примерно 5 нс/м). Если сообщения различных информационных каналов пропустить через световоды (волокно) различной длины, то

между ними образуется временный сдвиг.

Пассивное временное мультиплексирование
информационных каналов

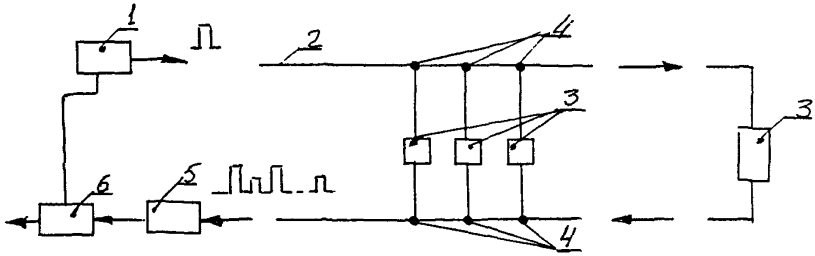


I - схема управления (электронный блок); 2 - излучатель; 3,5 - волоконный световод; 4 - оптический смеситель; 6 - демультиплексор.

Черт. 4

При пассивным временном мультиплексировании информации, получаемой с помощью набора волоконно-оптических датчиков применяется импульсный режим работы источников излучения. Генерируемая оптическая энергия с помощью делителей излучения распределяется между оптическими датчиками. В датчике происходит модуляция части оптического импульса и направляется к фотоприемнику станции приема. Оптические импульсы, приходящие к фотоприемнику от датчиков, разнесены во времени, т. к. оптическая длина пути, проходимая ими, различна. Для разделения импульсов используется электронный демультиплексор, имеющий синхронизацию от импульсного источника излучения (черт. 5).

Пассивное временное мультиплексирование измерительных каналов



I - излучатель; 2 - волоконный световод; 3 - оптические датчики; 4 - оптический смеситель; 5 - фотоприемник; 6 - демультиплексор.

Черт.5

5. МОДУЛЯЦИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ СВЯЗИ

5.I. Построение волоконно-оптических систем связи осуществляется по тем же принципам, что и для электрических систем аналогично назначения: электрический сигнал, сформированный при помощи одного из методов разделения каналов (частотного и временного), моделируем оптическую несущую. Поскольку фототок фотодетектора (ФД, ЛФД) пропорционален мощности (интенсивности) светового потока, как правило, применяется такая модуляция, при которой амплитуда модулируемого электрического сигнала определяет мощность светового потока. Наряду с этим многомодовостьизлучения полупроводниковых лазеров (ПЛ) при котором ширина спектра генерируемых колебаний достигает сотен мегагерц обуславливает применение модуляции интенсивности. При модуляции интенсивности с усереднением по многим методам эффекты паразитной модуляции отдельных составляющих поля сигнала в суммарном поле невилируются.

5.2. На внутриобъектовых и внутригородских линиях в качестве источников излучения используются некогерентные источники излучения - светодиоды. Эффект усереднения модуляции интенсивности позволяет создавать оптические передатчики с частотами модуляции до I00 МГц.

5.3. Существуют два основных способа модуляции: внутренний и внешний.

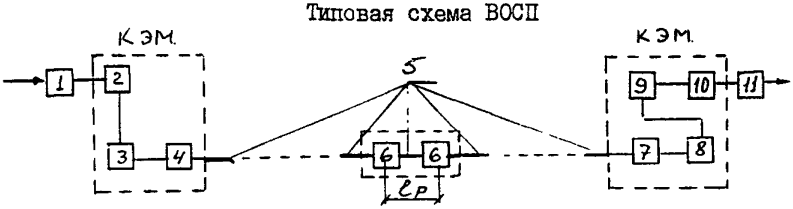
Внутренняя модуляция осуществляется либо путем непосредственного воздействия на источник излучения, либо путем изменений тока накачки (ПЛ, СД).

Внешняя модуляция позволяет при помощи специального устройства - модулятора - изменять параметры излучения немодулируемого

источника. При помощи модулятора реализовывают не только модуляцию интенсивности, но и другие виды модуляции, основанные на изменении частоты, фазы и поляризации.

5.4. ВОСП являются, как правило, цифровыми. Для кодирования информации используют различные методы, но наиболее удобна импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) интенсивности, т. к. значительно снижается требование к линейности амплитудных характеристик генератора (черт. 6).

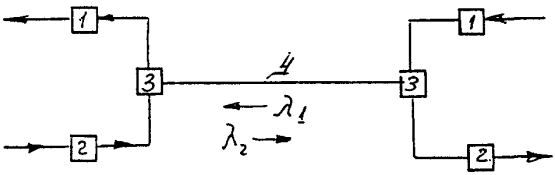
Типовая схема ВОСП



I - преобразователь кода (кодер); 2 - модулятор; 3 - оптический источник излучения; 4 - передающее согласующее оптическое устройство; 5 - оптический кабель (ИМ, ВС); 6 - линейный регенератор (при больших протяженных линиях); 7 - приемное согласующее оптическое устройство; 8 - фотодетектор; 9 - усилитель; I0 - демодулятор; II - преобразователь кода (декодер); КЭМ - квантово-электронный модуль.

Черт. 6

Дуплексная система передачи по одному оптическому волокну



I - полосовой фильтр (λ_I); 2 - полосовой фильтр (λ_2); 3 - волоконно-оптический разветвитель; 4 - волоконный световод.

Черт. 7

6. КОМПОНЕНТЫ ВОСП

6.1. Для внедрения локальных сетей на базе волоконной оптики необходим широкий набор функциональных элементов (компонентов) (черт. 8)(Приложения I, 2).



Черт. 8

6.2. Источники излучения

Для преобразования электрических сигналов в оптические на передающем конце ВОСП применяют в основном полупроводниковые инжекционные лазеры (ПЛ) и светоизлучающие диоды (СД, СИД). Передатчик должен обеспечивать эффективный ввод излучения в световод: иметь узкую спектральную полосу излучения; быстродействие, т. е. быстрое возникновение и гашение излучения; совместимость с интегральными схемами; устойчивость к механическим, температурным воздействиям; обеспечивать когерентность генери-

руемого излучения; иметь малые габариты, малую потребляемую мощность, надежность и долговечность. В зависимости от химического состава полупроводникового материала передатчики могут излучать световой поток с различной длиной волны. Основной материал для таких приборов применяют арсенид галлия $GaAs$ дающий длину волны (λ) $\simeq$ 0,9 мкм добавка Al уменьшает длину волны до 0,8 мкм $GaAlAs$ добавка фосфида галлия и индия увеличивает волну (λ) до I,6 мкм $InGaAsP$, поэтому при выборе сети необходимо обращать внимание и на химическую структуру излучателей.

6.3. Инжекционные лазеры

Инжекционный лазер представляет собой полупроводниковый прибор с Р-П-переходом (поэтому часто используется термин лазерный диод), в котором генерация когерентного излучения связана с инжекцией носителей заряда при протекании прямого тока через p-n-переход. Инжекционные лазеры обеспечивают скорость передачи сигналов до 5 Гбит/с и имеют ширину спектра излучения не превышающего 2 нм.

Широкое распространение получили гетеролазеры и особенно двойные гетероструктуры (ДГС) в которых наблюдается односторонняя инжекция при которой работает сверхтонкая активная область, позволяющая получать малые пороговые плотности тока и значительные выходные мощности.

6.4. Световоды

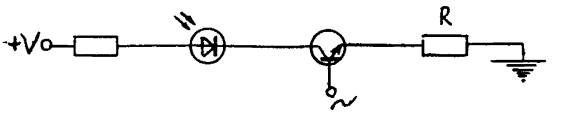
Световоды представляют собой полупроводниковый диод с Р-П-переходом, протекание тока через который вызывает интенсивное некогерентное излучение. Светодиоды обеспечивают скорость передачи сигналов до I00 МБит/с и имеют ширину спектра излуче-

ния 20-40 нм. Наиболее предпочтительно применение суперлюминисцентных светодиодов, которые имеют значительно более высокую яркость при малой излучающей поверхности, что позволяет получать излучение более направленное. Суперлюминисцентные светодиоды обеспечивают передачу сигналов со скоростью до 200 МБит/сек при ширине спектра излучения до 20 нм.

Сравнительные характеристики излучателей

Характеристика источника излучения	Светодиод	Лазер
Мощность, мВт	I-5	Многомодовые - 40 Одномодовые - 5-I0
Эффективность излучения, %	0,03	2-4
Модуляция	ИКМ	ИКМ
Скорость передачи информации, Гбит/с	до 0,I *(0,2)*	до 5
Ширина спектра, нм	30-50	0,I-0,5
Диаграмма направленности	60-80° (симметричная)	4-20° (тип веера)
Длина волны, мкм	0,85	I,3
Срок службы, ч	$I0^{5}$	$I0^{4}$

Для источников излучения в основном применяют схемы прямого включения (черт. 9, I0).



Транзисторная схема, используемая для аналоговой модуляции интенсивности излучения

Черт.9

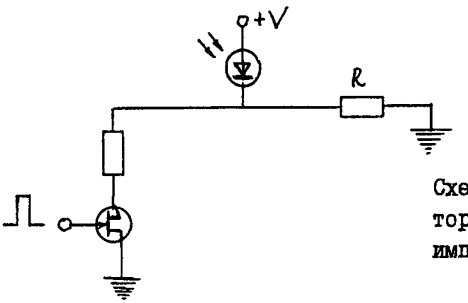


Схема с полевым транзистором, применяемая для импульсной модуляции

Черт. I0

Управляющий ток подается на базу транзистора.

Резистор R в цепи полевого транзистора используют для установки тока смещения (несколько меньшего порога лазерной генерации лазерного диода). Таким образом повышается скорость переключения.

6.5. Фотоприемники

Фотоприемник - приемник оптического излучения подразделяются на две группы: тепловые, интегрирующие результаты воздействия излучения за длительное время, и фотоэлектрические, использующие внешний или внутренний фотоэффект.

К фотоприемникам предъявляются следующие основные требования:

I. Высокая чувствительность на заданной фиксированной длине волны, генерируемой основными типами лазеров и светодиодов

0,8 — 0,95 мкм ($GaAlAs$ и $GaAs$ -лазеры)

0,55 — 0,9 мкм ($GaAsP$, $GaAlAs$, $GaAs$ -светодиоды)

I,3 — I,55 мкм ($InGaAsP$ -лазеры и светодиоды)

2. Высокое быстродействие.

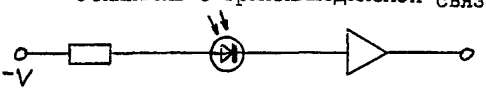
3. Малые уровни шумов.

Лучшими среди дискретных фотоприемников с малой апертурой (малой площадью активной поверхности) с высоким быстродействием являются кремниевые с P-i-n- - структурой и лавинные фотодиоды.

Кремниевые P-i-n - диоды на длине волны λ =0,9 имеют чувствительность 0,7 А/Вт и быстродействие 10^{-9} — 10^{-10}с.

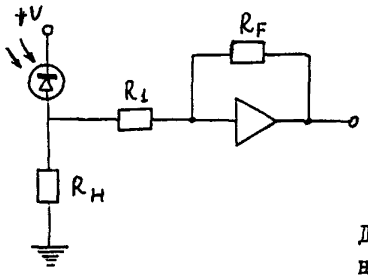
Для приемников оптического излучения P-i-n и лавинных фотодиодов применяют следующие схемы включения (черт II, I2).

Усилитель с трансимпедансной связью



Черт. II

Усилитель напряжения



Для усиления падения напряжения на резисторе R_H применяют операционный усилитель

Черт. I2

6.6. Квантово-электронные модули

Наиболее широкое применение получили квантово-электронные модули (КЭМ). Модули выполнены в виде герметичных микросборок (на основе тонкопленочной гибридной технологии), имеющих оптический разъем для подключения оптического кабеля с диаметром сердечника многомодового волокна 50 м.м. "Центром" передающего модуля является излучатель. В качестве излучателя применяют полупроводниковые инжекционные гетеролазеры на основе соединений $GaAlAs$ (для диапазона длин волн 0,8–0,9 мкм) и $In GaAsP$ (I,3–I,6 мкм). Приемный КЭМ состоит из фотодетектора (p-i-n диода или лавинного фотодиода) и усилителя с системой АРУ.

Для уменьшения потерь на ввод излучения между излучателем и разъемом применены согласующие устройства. Электронная схема обеспечивает его согласование со стандартами сигналами семейства ТТЛ или СЭЛ интегральных схем.

Характеристики основных КЭМ применяемых для ВОЛС

Характеристика	МДП-I-IA(Б), МДП-2-2А(Б), МДП-3-3А(Б)	КЭМ-8-4ПДА(Б)	КЭМ-34-4ПДА(Б)
Длина волны излучения, мкм	0,78-0,88	0,82-0,88	0,82-0,88
Ширина спектра излучения, мкм	4	4	4
Средняя мощность излучения при диаметре сопряжения 50 мкм и А=0,2 мВт	2	I	I
Ток потребления, мА	300	300	30
Максимальная частота следования импульсов, МГц	I7	I7	50
Напряжение питания, В	5,26	4,5	4,5
Скорость передачи информации, Мбит/с	8,5	8,5	34,5
Гарантийный срок, ч	$I0^4$	$I0^4$	$I0^4$
Масса модуля, г	-	80	80
Интервал рабочих температур, °С	От -60 до +55	От -I0 до +40	От -I0 до +40

7. СТРУКТУРНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ВОСП

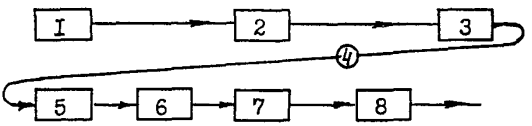
7.I. Основными элементами каждой световодной системы связи являются (черт.13):

блок оптического передатчика, в котором электрические сигналы, поступающие на вход системы, преобразуются в оптические импульсы, передаваемые затем в световодную линию связи;

волоконно-оптическая линия;

блок оптического приемника, принимающего оптические сигналы и преобразующего их в электрические импульсы, поступающие на выход системы связи после декодирования и усиления.

Простейшая структура ВОСП (принципиальная схема)



I - источник электрических сигналов;

2 - кодирующее устройство и модулятор;

3 - оптический источник (излучатель);

4 - волоконный световод (оптический кабель);

5 - фотодетектор;

6 - предварительный усилитель;

7 - фильтр низких частот;

8 - устройство обработки сигнала (декодер)

Черт. 13

7.2. Волоконно-оптические системы передачи могут быть универсальными или специализированными, выполняющими одну или несколько конкретных функций.

При проектировании ВОСП для каждой световодной системы связи разрабатывается структура, и определяются ее технические характеристики. Под структурой понимается расположение в системе передающих и принимающих оптических устройств, световодных линий и их соединений и разветвлений, интерфейсов, аппаратуры отображения информации и т. п.

7.3. К техническим характеристикам относятся: энергетический бюджет системы; ширина полосы пропускания, показатели информационной емкости, скорости обмена информацией, данные о надежности, сроки службы, допустимые значения температур во время эксплуатации, чувствительность системы к воздействию механических нагрузок, электрических, магнитных и аккустических полей, сведения о ремонтопригодности системы и др.

7.4. Структура и технические характеристики системы взаимосвязаны. С другой стороны функциональное назначение системы в некоторой степени предопределяет ее структуру.

ВОСП структурно подразделяются на две категории: системы без ретрансляторов и системы с ретрансляторами, регенерирующими оптические сигналы.

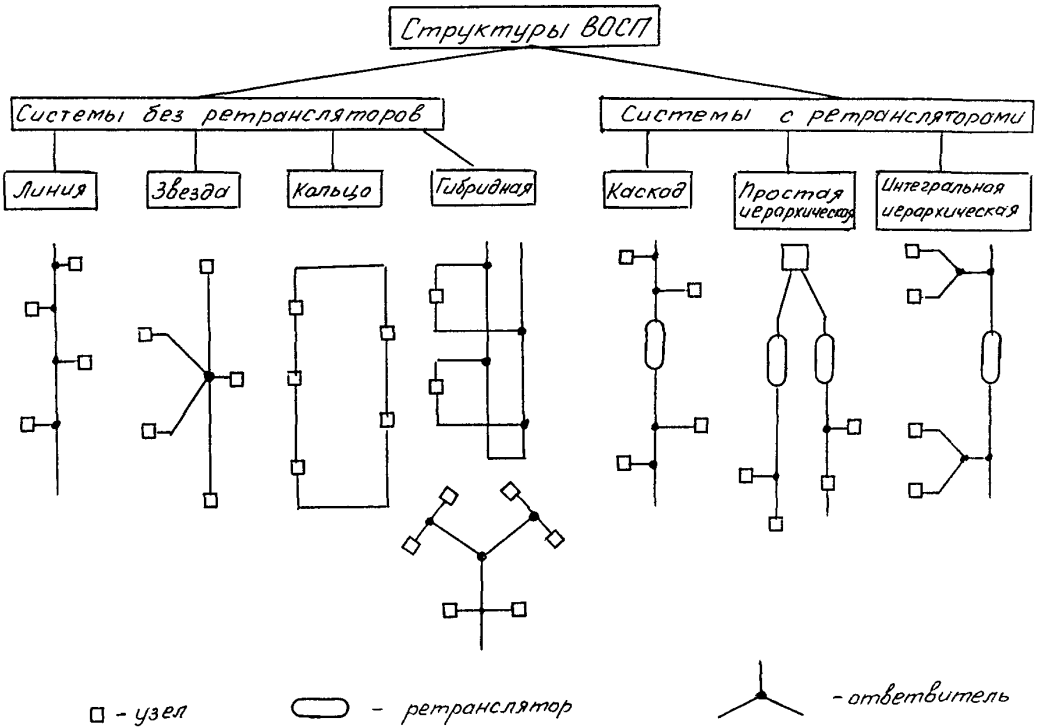
Ретрансляторов не содержат системы связи и передачи данных: внутриприборные, межприборные, а также внутриобъектовые со сравнительно небольшим числом терминалов. Ретрансляторы необходимы в системах многоканальной связи, а также во внутриобъектовых и зоновых системах с многими терминалами, в которых накапливаются значительные оптические потери в соединителях и разветвителях.

Классификация простейших структур ВОСП (черт. 14).

7.5. Простейшие системы без ретрансляторов именуются последовательными и гибридными структурами.

Последовательные	Гибридные
"Линия", именуемая также Т-образной системой, "звезда" (радиальная), "петля", или "кольцо"	Различные сочетания последовательных структур "звезда-общая шина".

КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУР ВОСП



Черт. 14.

Полносвязная (гибридная) – узлы (терминалы) соединяются линиями связи по принципу „каждый с каждым", поэтому она обладает наибольшей живучестью и надежностью, но при этом она наиболее экономична, так как содержит $N(N-1)/2$ линий связи, где N – число узлов.

Узловая радиальная (линия) – узлы терминалы соединяются между собой минимальным ($N-1$) числом линий связи без образования замкнутых петель и при правильном выборе структуры сеть имеет минимальную общую длину линий связи. Надежность не велика.

Звездообразная (звезда) – проста, обеспечивает быстрое нахождение повреждений, легко перестраивается с изменением нагрузки, но имеет низкую эффективность использования линий связи.

Кольцевая (кольцо) – обеспечивает высокую степень использования линий, но сложна в разработке и в организации обмена информации.

Выбор структурной схемы сети имеет два аспекта: физический и программно-логический.

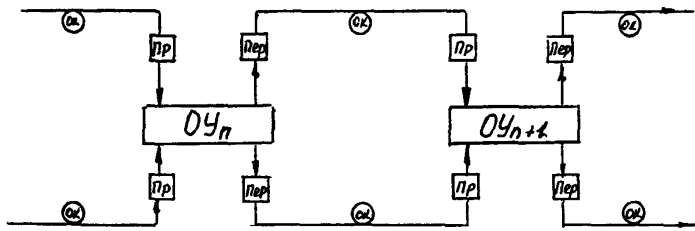
Физическая структура сети определяется составом, размещением и схемой соединения ее аппаратных средств.

Программно-логическая структура определяется совокупностью протоколов, регламентирующих работу сети, и взаимодействие системных приборов.

7.6. При выборе топологии (структуры)системы необходимо учитывать число оконечных устройств обработки информации (УОИ). Подключение ОУ и УОИ к сети возможно следующими способами:

активным через оптоэлектронные преобразователи, пассивным и комбинированный (черт. I5, I6).

Пример активного подключения ОУ к сети с топологией системы магистраль или кольцо



Пер – передатчик оптического сигнала

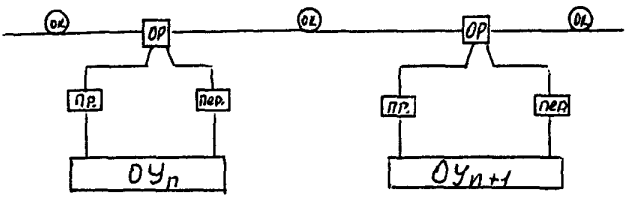
Пр – приемник оптического сигнала

Ок – оптический кабель

Черт. I5

На черт. I5 показан способ активного подключения, причем для повышения надежности в этой сети предусмотрено два кольца. Оптический приемник и передатчик выполняют роль регистратора, поэтому при выходе из строя прерывается передача в данной магистрали. Использование резервной магистрали приводит к увеличению стоимости сети. В связи с этим желательно применять комбинированный способ подключения.

Пример комбинированного способа подключения с топологией типа "шина" или "кольцо"



ОР – оптический разветвитель

ОУ – оконечное устройство

ОК – оптический кабель

Черт. I6

8. РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА И СУММАРНЫХ ПОТЕРЬ НЕКОТОРЫХ СТРУКТУР ВОЛС

8.I. Последовательная ("линия") структура

При таком структурном построении систем связи оптические сигналы, несущие информацию, распространяются по общему световоду и по ответвлениям передаются в отдельные узлы абонентские терминалы (АТ). Источникам сигналов может быть один передающий модуль (блок), присоединенный к общему световоду или несколько передающих модулей, находящихся в некоторых узлах системы. Приемные модули и различные терминальные устройства должны размещаться в узлах системы. Структура системы может предусматривать однонаправленную или дуплексную связь, а также наличие мультиплексоров и демультиплексоров.

Динамический диапазон для такой системы определяется выражением:

$$\mathcal{DD} = \left\{ A_{ср} L_c^2 L_t \left(\frac{N-2}{N-1} \right) \right\}^{2-N} \qquad (I)$$

где $A_{ср} = e^{-\alpha l/(N-1)}$ – среднее затухание между терминалами

α – коэффициент затухания световода;

l – длина волоконной линии ;

N – количество терминалов .

$L_t = \frac{T_t}{1-2C_t}$ – суммарные потери в ответвляющем соединителе

T_t – отношение входящей в ответвитель мощности к входящей

C_t – доля мощности, отводимой из общей оптической магистрали к терминалу;

Среднее значение величины $L + L_c^2$ составляет примерно I,5 дБ.

Отношение величины оптической мощности (ОМ) в линии передачи на входе одного терминала к величине мощности на входе другого терминала определяется суммарной величиной потерь в системе.

$$OM = 0{,}5 A_{cp}^{N-1} \cdot L_c^{2N-2} \cdot L_t^{N-2} \cdot C_t (1-2C_t)^{N-2} \quad (2)$$

Суммарные потери в последовательной системе, исключая потери в самом световоде, можно представить следующим выражением

$$TSL = L_{3f} + L_{tr} + L_{ct} + 2L_{ce} + (N-3)\cdot(2L_{ce} + L_{ct} + L_{it}) \quad (3)$$

где L_{3f} – фактор разветвления в двунаправленном ответвителе (3,дБ);

L_{tr} – коэффициент ответвления Т – образного ответвления (обычно составляет до 12Б);

L_{ct} – собственные потери Т-образного ответвителя (обычно составляют I,5– 2 дБ);

L_{ce} – потери в кабельном разъеме (0,5–I,5 дБ);

L_{it} – вносимые потери, связанные с мощностью ответвляемой в Т-образном ответвителе и равна $10\lg(1-L_t)$.

Используя вышеприведенные значения потерь, уравнения для суммарных потерь в распределенных системах можно представить упрощенно в функции числа терминалов:

$$TSL \cong 4{,}5N + 3{,}5 \quad (4)$$

Такие системы связи можно использовать для небольшого числа терминалов ($N \leq 5$) при небольшой протяженности волоконно-оптического тракта. Кроме того, терминалы расположенные на различных расстояниях от оптических модулей, работают в таких системах в неодинаковых условиях. На фотодетекторы терминалов, находящихся далеко от передающих модулей, будут поступать относительно слабые оптические сигналы. Это можно устранить вводя различные коэффициенты ввода у каждого терминала для обеспечения одинаковой величины сигнала в каждом детекторе. В этом случае эффективность соединения при передаче информации от I-го терминала к N -му такая же, как и при обратной передаче от N -го к I-му.

Такая схема может стать очень громоздкой и будет описываться выражением:

$$OM = \frac{A_{cp} L_c^2}{2} \cdot \frac{(A_{cp} L_t L_c^2)^{N-2} (1 - A_{cp} L_t + L_c)^2}{(1 - A_{cp} L + L_c^2)^{N-1}} \qquad (5)$$

Систему такого типа иногда называют пирамидальной дуплексной. Но и она менее предпочтительна относительно других структур, т. к. гибкость системы при проведении реконструкционных работ по ее расширению ограничена, т. е. она должна расчитываться для определенного числа терминалов.

Использование в последовательной (линии) структуре ретрансляторов улучшает положение, но из-за того, что ретрансляторы располагаются в "линии" последовательно, система перестанет функционировать, если даже один ретранслятор выйдет из строя. Для повышения эксплуатационной надежности системы необходимо дублирование ретрансляторов.

8.2. Кольцевая структура

В такой структуре информация передается по кольцевому волоконно-оптическому тракту, к которому при помощи Т-образных ответвителей подключены узлы системы (т. е. абонентские терминалы) или непосредственно от I-го узла системы к 2-му и т. д. до N-го, а от N-го к I-му узлу. Приемо-передающие модули размещаются в узлах системы. Возможна как однонаправленная так и дуплексная передача.

Динамический диапазон (ДД), суммарные потери (ОМ) определяются выражениями, аналогичными выражениям (I)-(4).

Кольцевые структуры обладают всеми недостатками последовательной ("линии") структуры и в то же время требуют определенного пространственного размещения узлов системы и дублирования оптических путей с целью повышения надежности. Кольцевые структуры позволяют подключить большее число терминалов, чем в "линии", и значительно снизить объемно-массовые параметры системы, когда позволяют ее технические характеристики, по сравнению с радиальной структурой за счет уменьшения длины волоконно-оптического кабеля и исключения тиражирования приемо-передающих блоков в центральном узле системы.

8.3. Звездообразная структура

В системах связи, имеющих такую структуру, информационные сигналы могут генерироваться одним передающим модулем, находящимся в центре звезды ("активная звезда"), или несколькими модулями, расположенными в узлах на концах лучей звезды. В центре звезды может располагаться устройство, коммутирующее передачу сообщений.

Для осуществления двухсторонней связи между узлами звезды в каждом из них может располагаться передающий модуль и одновременно приемный модуль. Однако звезда с дуплексными линиями может быть построена и с централизованным оптическим питанием, при котором в каждый из ее лучей поступает свет от общего источника, помещенного в центре звезды. В этом случае в узлах, находящихся на концах лучей, должны иметься не передающие модули, а модуляторы. Динамический диапазон (ДД) в звездообразной структуре определяется выражением

$$ДД = A_{ср}^{(2-N)/2}, \qquad (6)$$

а величина отношения оптической мощности в линии передачи на входе одного терминала к величине мощности на выходе другого терминала будет

$$ОМ = A_{ср}^{N-1} L_c^4 L_{из} L_з / N, \qquad (7)$$

где $L_{из}$ – вносимые потери в соединители типа звезда,

$L_з$ – коэффициент разветвления двунаправленного соединителя ($\simeq$ 3 дБ)

Суммарные потери равны:

$$ТЗЛ = 4L_{ce} + L_{сз} + L_{из} + L_{зф}, \qquad (8)$$

где $L_{из}$ – вносимые потери при разветвлении сигнала звездообразным соединителем ($10 \lg N$);

$L_{сз}$ – внутренние потери в соединители типа звезда (6–8 дБ),

(9)

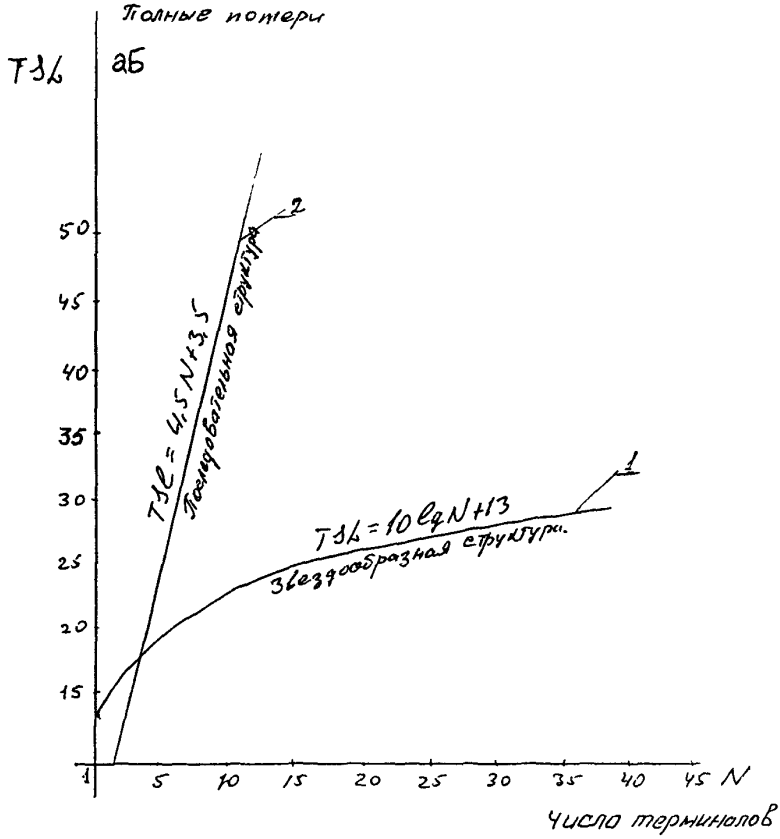
Построим зависимость полных потерь в звездообразной и последовательной структурах от количества используемых терминалов, применяя выражения (9) и (4). (Черт. I7 кривая I и кривая 2).

При $N \leq 5$ суммарные потери в обоих распределительных системах примерно одинаковы, однако для большего числа терминалов различие между ними быстро увеличивается. Для N =I0 в последовательной структуре $T\mathcal{U} \simeq 48$ дБ, а в звездообразной $T\mathcal{U} \simeq 23$ дБ. "Звезда" имеет преимущества перед "линией" по уровню сигналов при большом числе терминалов ($N > I0$). Поскольку радиальная система имеет только один смеситель сигналов, то в ней не возникает проблем приема, характерных для последовательных систем и связанных с необходимостью иметь аппаратуру автоматического регулирования усиления с большим динамическим диапазоном для обработки больших сигналов от близко расположенных терминалов и слабых сигналов от удаленных терминалов. Если все расстояния до терминалов одинаковые, то динамический диапазон в "звезде" может приближаться к теоретическому значению равному I (0 дБ), при одинаковом затухании в кабеле во всех ветвях. Недостатком радиальной структуры является большая длина линии связи с каждым терминалом, что требует при одинаковом числе терминалов использовать более длинные кабели.

8.4. Габаритные структуры

Для построения больших сетей (большая протяженность, большое количество терминалов и т. д.) обычно применяют системы распределения данных, в которых комбинируются элементы всех типов структур. В некоторых гибридных системах можно приблизиться к величине ДД достигаемой в радиальной, с суммарными потерями лишь

Зависимость полных потерь в распредилительной системе от количества терминалов



Черт. 17

несколько большими, чем в радиальной. Применяя гибридные структуры можно достичь большей гибкости при реконструкции и расширению систем и при этом использовать меньше кабеля, чем в случае чисто радиальной, а в некоторых случаях они могут стать единственными, например в системах кабельного телевидения.

9. ПРИМЕР АНАЛИЗА СТРУКТУР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

9.I. Проектирование световодных систем связи определяется следующими основными требованиями: необходимой скоростью передачи информации, вероятностью ошибки при кодировании цифровой информации, расстояниями между оконечными устройствами, количеством присоединяемых абонентских терминалов, протяженностью линии.

Рассмотрим "последовательную" и гибридную виды "звезда-общая шина".

Дано: Локальная сеть:

расстояние между абонентскими терминалами (АТ) - 2 км;

максимальное удаление АТ от центральной станции (ЦС) - 20 км;

минимальное удаление АТ от ЦС - 2 км;

обмен информацией в соответствии с ГОСТ 27285-87;

скорость передачи I МБит/с;

вероятность ошибки 10^{-9};

манчестерский сигнал (код 1В2В-В).

Учесть, что $P_{из} \simeq 0$дБ/м $P_{пр} \simeq -40$дБ/м.

число АТ (N)=10 терминалов

Исходя из заданных условий необходимо провести выбор компонентов ВОСП: оптического кабеля; передающего устройства; фотодиода.

9.2. Выбор типа излучателя (передающего устройства)

Выбор конкретного типа излучателя определяется необходимым уровнем мощности излучения, вводимой в оптический кабель, интер-

валом рабочих температур, ресурсом, потребляемой мощностью и стоимостью.

По требованию условий нам необходимо иметь излучатель с мощностью $P_{изл}$ =1 мВт. Такую мощность излучения нам обеспечит лазерный диод, генерирующий свет с длиной волны λ =1,3 мкм. В то же время лазерные диоды легко обеспечивают значительную долю (> 50%) ввода излучения в световод с сердцевиной 50 мкм и числовой апертурой NA =0,2. Выбираем многомодовый лазерный диод типа ИЛПН-206, работающий на длине волны λ =1,3 мкм с $P_{изл} \geqslant$ 1 мВт.

9.3. Выбор оптического кабеля

Важнейшими характеристиками оптического кабеля являются: затухание сигнала в оптическом кабеле на определенной длине в зависимости от длины волны передаваемого излучения; веса и размеров (габаритов), простота сращивания и ввода излучения.

Выбираем оптический кабель типа ОЗКГ-1-07, имеющий многомодовое волокно с градиентным профилем показателя применение типа "кварц-кварц" 50/125 (диаметр сердцевины ОВ-50 мкм) рабочую длину волны λ =1,3 мкм, полосу пропускания 800 МГц/км, оптические потери в световодном волокне α =0,7дБ/км и строительную длину 2,2 км.

9.4. Выбор фотоприемника

Фотоприемник должен обладать высокой чувствительностью в рабочем диапазоне длин волн, малой инерционностью, низким уровнем шума, малым габаритным размером. В фотодиодах со структурой типа P-i-n возможно расширение частотного диапазона фотодетектора без снижения его чувствительности. В диапазоне волн λ =1,3 мкм лучшими характеристиками обладают фотодиоды на основе германия.

Выбираем в качестве фотоприемника германиевый Р-i-n фотодиод типа "Базис-2", работающий в фотодиодном режиме без лавинного умножения на длине волны λ =I,3мкм.

9.5. Расчет потерь в оптическом тракте

Исходя из условия $P_{изл} \simeq 0$дБм и $P_{пр} \simeq -40$дБм

Полный энергетический бюджет системы будет равен 40 дБ. Из условия $(P_{из}-P_{пр})-Q_{тр} \geqslant$ I0 дБ получаем, что суммарные потери в оптическом тракте не должны быть больше 30 дБ.

Произведем расчет оптических потерь $Q_{тр}$ для последовательной и гибридной структур.

Общие оптические потери определяются следующим выражением:

$$Q_{тр} = \alpha \cdot L + \frac{L - L_{стр}}{L_{стр}} \cdot \alpha_{соед} + \alpha_{раз} \cdot N_{раз} + \alpha_{отв} \cdot N_{отв} + \alpha_{рем}; \quad (10)$$

где α – затухание ОК=0,7 дБ;

L – общая длина линии =20 км;

$L_{стр}$ – строительная длина ОК=2,2 км;

$\alpha_{соед}$ – потери в соединении строительных длин =0,2;

$\alpha_{раз}$ – потери в разъеме =I дБ;

$\alpha_{отв}$ – потери в ответвителе оптической мощности;

$\alpha_{рем}$ – потери при ремонте, реконструкции =2 дБ;

Определим потери в ответвителях с ответвлением мощности (коэф. деления) 2%, I0%, 25%, 50%.

Потери определяются 2 дБ+I0$lg\left(\frac{I}{I-K_{дел}}\right)$

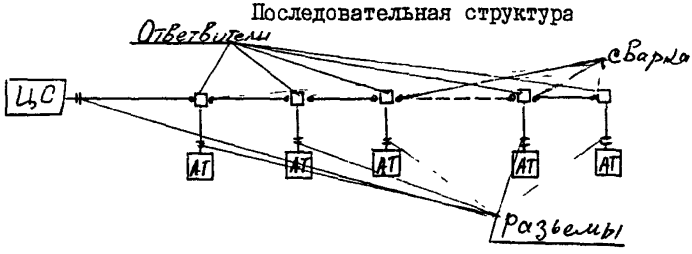
Рассчитаем потери ответвителей и запишем в таблицс.

Ответвитель	Величина потерь
2%	2,08 дБ
I0%	2,45 дБ
25%	3,24 дБ
50%	5,0I дБ

В начале линии применяем ответвители с коэффициентом деления 2%, перед последним терминалом необходимо установить ответвитель с коэффициентом деления равным 50%.

Соединение строительных длин сваркой.

Последовательная структура



Дано: $N_{АТ}$ =I0 , L - 20 км , $L_{стр}$ -2,2 км , $2\%_{отв.}$-8 .

Согласно выражения (I0) оптические потери составляют

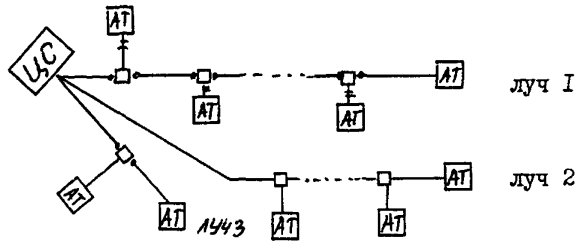
$$Q_{тр} = 0,7 \cdot 20 + \frac{20-2,2}{2,2} \cdot 0,2 + 1,0 \cdot 1 + 2,08 \cdot 8 + 5,01 \cdot 1 + 2 = 50,26 дБ$$

Такой уровень потерь не обеспечивает подключения I0 терминалов. Следовательно необходимо уменьшение их количества, чтобы выполнялось требование

$Q_{тр}$ должно быть $\leqslant 30$ дБ,

принимаем $N=5$ тогда $Q_{тр}=34,23$ дБ опять структура не обеспечивает выполнение задания и только при $N=4$ структура обеспечивает их работу, хотя условия задачи не выполнены - подключить I0 абонентских терминалов на длине ОК=20 км

Гибридная структура "Звезда-общая шина"



$Q_{тр}$ будет определена для каждого луча с добавлением потерь на "звезду" на основе выражения (I0) $\alpha_{звезды}=3$ дБ.

Задается: I луч-5 терминалов $L_{линии}=11$ км;

2 луч-3 терминала тогда $L=18$ км

3 луч-2 терминала на максимальном удалении 20 км

$Q_{тр}^{(I)}=28,75$ дБ $Q_{тр}^{(2)}=29,13$ дБ $Q_{тр}^{(3)}=27,7$

Структура "звезда-общая шина" обеспечивает подключение I0 абонентских терминалов, т.к. $Q_{тр}$ каждого луча менее установленных допустимых потерь равных 30 дБ.

9.6. Выводы. Выбираем структуру ВОСП "Звезда-общая шина"

Обоснование. Структура "последовательная" не обеспечивает подключение заданного количества АТ при установленной мощности излучения и при выбранных компонентах ВОСП. Не сохраняется условие $Q_{тр} \leqslant 30$ дБ.

Структура "звезда-общая шина" позволяет подключить все количество АТ, установленных заданием (обеспечивается условие $Q_{тр} \leqslant 30$ дБ) при той же мощности излучения и выбранных компонентах ВОСП. Однако такая структура предопределяет увеличенный расход ОК, что в итоге несущественно влияет на стоимость системы.

9.7. Технико-экономическое обоснование выбора гибридной структуры ("звезда-общая шина")

На основании анализа рассмотренных структур ВОСП можно сделать следующие выводы:

I. Применение "последовательной" структуры ВОСП не обеспечивает подключения заданного количества абонентских терминалов на протяженных линиях (I0 АТ, $\mathcal{L}_{мин}$ = 20 км).

2. Для подключения указанного количества абонентских терминалов (I0 АТ) "последовательная" структура вынуждает применять дополнительные линии (две линии протяженностью по I0 км с 3-мя АТ и передающим модулем на каждой линии).

3. Гибридная структура "звезда-общая шина" позволяет подключать указанное количество абонентских терминалов (I0 АТ), хотя и увеличивает общую длину линий примерно в два раза.

4. "Звезда-общая шина" обеспечивает работу абонентских терминалов на одном передающем модуле.

На основании вышеизложенного рассмотрим экономическую эффективность выбора структуры "звезда-общая шина".

Стоимость системы определяется суммой цен абонентских терминалов, стоимостью оптического кабеля, передающих модулей и ценой монтажных работ.

Примем стоимость монтажных работ одинаковой для обоих структур ВОСП,

тогда стоимость системы связи будет:

$$C = C_{АТ} \cdot m + C_{ок} \cdot n + C_{пер},$$

где $C_{ат}$ - стоимость абонентского терминала - I тыс. руб.

$C_{ок}$ - стоимость оптического кабеля - 2 тыс. руб/км

$C_{пер}$ - стоимость передающего модуля - 0,6 тыс. руб.

Последовательная структура.

Стоимость системы с 4-мя АТ на линии в 20 км

$$C_I = I.4+20.2+0,6=44,6 \text{ тыс. руб.}$$

Для обеспечения подключения еще 6 АТ необходимо две линии со стоимостью 23,6 тыс.руб. каждая, тогда общая стоимость ВОСП при "последовательной структуре" будет $C_I+C_2+C_3$;

$$C_{общая} = 44,6+(2x23,6)=95,8 \text{ тыс.руб.}$$

Гибридная структура.

Расход оптического кабеля должны увеличить в два раза (задание 20 км - получаем - 40 км) стоимость системы "звезда-общая шина" будет

$$C_{общая} = I.I0+40.2+0,6=90,6 \text{ тыс.руб.}$$

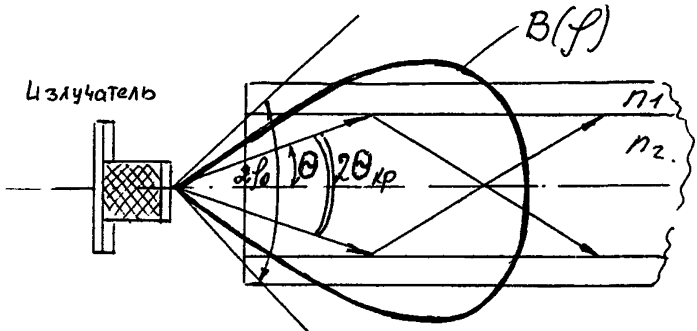
Экономия от применения структуры "звезда-общая шина" составит

$$Э = C^{пос.}_{общ.} - C^{гибр.}_{общ} = 95,8-90,6=5,2 \text{ тыс.руб.}$$

Экономия подтверждает правильность выбора гибридной структуры для ВОСП.

I0. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВВОДЕ В ВОЛОКНО

I0.I. В реальных системах при составлении энергетического баланса необходимо определять и учитывать величину потерь оптического излучения при вводе в волокно (черт. I7).



Черт. I7

I0.2. Для передачи энергии по световоду используется явление полного внутреннего отражения на границе раздела двух сред и соблюдается условие $n_1 > n_2$

В зависимости от угла θ имеют место волны излучения, преломленные лучи и отраженные. Лучи, вошедшие в волокно под разными углами θ, могут или покинуть световод или полностью остаться в нем, значит есть какой-то критический угол $\theta_{кр}$, при котором выполняется явление полного внутреннего отражения будет соответствовать углу от ражения φ_n . Величину $\theta_{кр}$ называют апертурным углом.

$$\theta_{кр} = arc\,sin A = arc\,sin\sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (11),$$

где А - числовая апертура

Режим полного внутреннего отражения зависит от диаграммы направленности (ДН) источника излучения. Значительные потери световой энергии возникают когда ДН превышает предельный угол захвата торцом *волокна* и в нашем случае $\Theta_{кр}$.

$$ДН \Rightarrow B(\varphi) = B_0 (\cos\varphi)^m,$$

где B_0 - энергетическая яркость вдоль оси светового лучка (φ =0)

Ширина ДН=2φ_0 где φ_0 - угол между осью светового потока и направлением в котором энергетическая яркость равна B0/

показатель m для светодиодов низкой яркости равен I, для светодиодов высокой яркости принимают от 2 до 5, для полупроводниковых инжекционных лазеров равен I0.

I0.3. Если диаграмма направленности обладает осевой симметрией, то потери (ηБ) излучения на вводе в торец волоконного световода определяются

$$\eta = 10 \lg \frac{P_и}{P_{пер}} = 10 \lg \left[\frac{2 S_и}{(m+1) S_c A_д^2} \right], \quad (12)$$

$P_и$ - мощность источника излучения;

$P_{пер}$ - мощность излучения вводимая в световод;

$S_и$ - площадь излучающей поверхности источника излучения;

S_c - площадь сердцевины световода;

$A_д$ - действительная числовая апертура.

II. ПОТЕРИ НА ИЗГИБАХ И МИКРОИЗГИБАХ СВЕТОВОДОВ

При изгибах световодов, как правило теряется мощность передаваемого излучения. Это приводит к дополнительным потерям, которые могут быть малы, если радиус кривизны изгиба достаточно велик.

Для оценки потерь $\alpha_{и,дБ}$ на изгибе радиуса R в многомодовом светодиоде можно пользоваться приближенной формулой:

$$\alpha_{и} = 10 \lg \left(1 - \frac{\alpha}{R\Delta}\right)^{q}, \quad (13)$$

где q =I для градиентных световодов;

q =2 для ступенчатых световодов.

Пример: 2a=50 мкм - диаметр сердцевины,

Δ =0,0I и R=22 см получаем для градиентных световодов $\alpha_{и}$=0,I, для ступенчатых -0,2 дБ. Точную оценку потерь определить сложно, т. к. необходимо вычеслить межмодовую дисперсию взаимовлияния мод при их смешении при изгибах, определить какая часть электромагнитной волны излучается в пространство, фазовую скорость моды и изменение ее после изгиба. Поэтому формула достаточна для оценки потерь при выборе световода для ВОСП.

I2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЛИНИИ (УЧАСТКА РЕГЕНЕРАЦИИ)

I2.I. Одним из главных расчетов проекта ВОЛС является определение длины регенерационного участка.

Длина участка регенерации ВОЛС, после прохождения которого сигнал требует полного восстановления, определяется энергетическим потенциалом аппаратуры $a = a\ell$ и передаточными параметрами кабеля: коэффициентом затухания α и дисперсией τ. Затухание приводит к ослаблению сигнала и уменьшает дальность передачи. Дисперсия ограничивает пропускную способность световода $\Delta F = \frac{1}{\tau}$ которая оказывается тем сильней, чем длинней линия ($\ell_{\Delta F}$).

Полоса пропускания частот ΔF и дальность передачи связаны следующим соотношением:

$$\Delta F / \Delta F_x = \ell_x / \ell \quad (14),$$

где значения с индексом X – искомые, а без – заданные, тогда

$$\Delta F_x = \Delta F \quad \text{и} \quad \ell_x = \ell \frac{\Delta}{\Delta F_x} .$$

Общее затухание участка (линии) ВОЛС определяют:

$$\alpha = 10 \lg \left(\frac{P_{пер.}}{P_{пр.}} \right) = P_{пер.} - P_{пр.} = \alpha L_p + \alpha N_{нс} + \alpha_{рс} N_{рс} \quad (15),$$

где $P_{пер.}$, $P_{пр.}$ – мощность оптического излучения источника или уровень мощности излучения вводимого в светодиод;

$P_{пр.}$, $P_{пр.}$ – мощность или уровень мощности принимаемого оптического сигнала;

$N_{н.с.}$ – число неразъемных соединений оптических волокон;

$N_{р.с.}$ – число разъемных соединений оптических волокон;

$\alpha_{н.с}$ $\alpha_{р.с}$ – потери в неразъемном или в разъемном соединении.

I2.2. Пример: Определить максимальную длину участка регенерации $L_р$ ВОЛС со скоростью передачи информации В=8,448 МБит/с . Оптический кабель имеет коэффициент затухания α =3 дБ/км, многомодовый со ступенчатым профилем показателя преломления. Сердечник-кварц (показатель преломления $П_I$=I,5I Δn =0,0I5). Соединение строительной длины в I км. ($l_{стр}$) сваркой,вносимое затухание $\alpha_{н.с.}$=0,2 дБ. Передающий оптический модуль (ПОМ) – инжекционный лазер мощность $P_{пер}$ =2,5 мВт.

Приемный оптический модуль (ПрОМ) – лавинный фотодиод ЛФД с предварительным усилителем на полевом транзисторе.

Динамический диапазон передаваемого сигнала I0 дБ, вносимые потери в месте контакта (ввода) световода с окнами фотодетектора I дБ. На участке регенерации два разъема ($\alpha_{рс}$ =I дБ) для подключения ПОМ и ПрОМ к кабелю. Длина установившейся связи $L_у$=0,2 км

Решение. Максимальную длину участка регенерации можно определить,используя выражение (I4). Выражение (I4) запишем в виде:

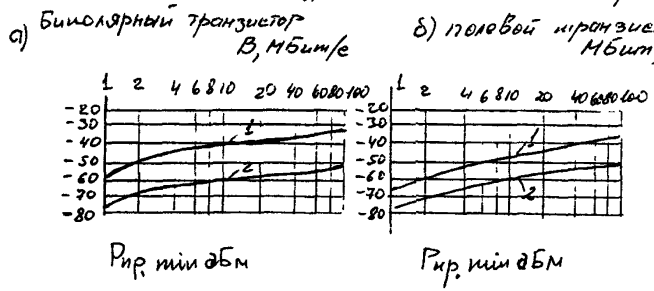
$$L_р = \frac{P_{пер.} - P_{пр.} - \alpha_{р.с.} N_{р.с.} + \alpha_{н.с.}}{\alpha + (\alpha_{нс} / l_{стр})} \qquad (I6)$$

здесь учтено, что число неразъемных соединений строительных длин ОК на участке $N_{н.с.} = \frac{L_р}{l_{стр}} - I$.

Уровень мощности, вводимой в световод определяется по выражению (15)

$$P_{пер.} = 10 \lg 2{,}5 = 3{,}98 дБм$$

Минимально допустимый уровень определяем по графикам интенсивности излучения в паспортах фотодетекторов и транзисторов. Зависимость минимально допустимого уровня мощностей от скорости передачи информации при использовании биполярного (а) и полевого (б) транзисторов (черт. I8) I - кривая для ФД, 2 - кривая для ЛФД.



Черт I8

Уровень мощности оптического излучения, вводимого в световод, выражается в дБм и определяют:

$$P_{изл} = 10 \lg (P_{изл}/P_0) \qquad (17)$$

где $P_0 = 1$ мВт.

Уровень мощности принимаемого оптического сигнала (зависит от чувствительности приемного устройства)

$$P_{пр} = P_{пр.min.} + C \qquad (18)$$

где С - слагаемое, учитывающее необходимое увеличение уровня мощности принимаемого оптического сигнала по сравнению $P_{пр\,min}$ за счет динамического диапазона и потерь в месте соединения световода с фотодетектором.

Общая величина уширения импульсов на участке длиной L

$$\tau = \sqrt{\tau_{мм}^2 + \tau_{хр}^2} = \sqrt{\tau_{мм}^2 + (\tau_в + \tau_{нат})^2}, \quad (19)$$

где $\tau_{мм}$ и $\tau_{хр} = \tau_в + \tau_{нат}$ - уширение импульса в результате межмодовой ($\tau_{мм}$) и хроматической ($\tau_{хр}$) дисперсий

В линейных кодах длительность импульса принимают или Т или Т/2, В цифровых кодах минимальный интервал между импульсами-Т/2.

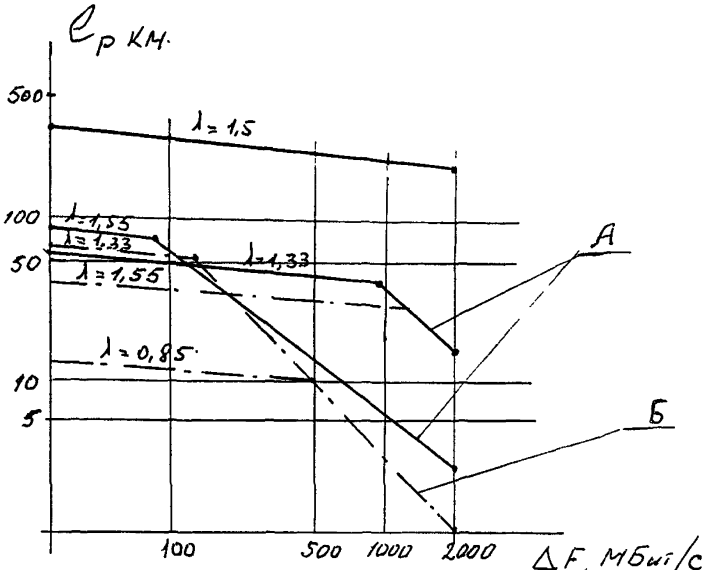
Уширение импульса на длине участка регенерации $\tau_р$ в общем случае определяется согласно выражению (I9) при $L = L_р$, чтобы не было перекрытия между соседними импульсами на входе приемного устройства $\tau_р$ не должно превышать Т/2 и может быть $\tau \leq I/2B$ (19а)

где В= I/T - скорость передачи информации.

Используя выражения (I4) и (I9) возможно определить максимальную длину участка регенерации.

Одним из главных расчетов проекта является определение длины регенерационного участка ВОЛС. Желательно, чтобы $L_р$ была максимальной. Величина $L_р$ в основном определяется двумя факторами: потерями и дисперсией в ОК. Экспериментальными исследованиями была выведена зависимость расстояния от скорости передачи информации ΔF и длины волны λ (черт. I9).

Зависимость расстояния между ретрансляторами
от скорости передачи



А – одномодовые волокна
Б – многомодовые волокна.

На участке А в одномодовых волокнах происходит ограничение $\ell_р$ за счет шумов разделения мод излучателя (лазера).

На участке Б ограничение $\ell_р$ происходит из-за модовой дисперсии.

Черт. I9

при В=8,448 МБит/с $P_{пр.}^{min}$=-62 дБм, согласно (I5), уровень мощности принимаемого сигнала будет равен $P_{пр.}$=-62+I0+I=5I дБм по выражению (I9) находим максимальную длину участка регенерации (обусловленную потерями)

$$L_р = \frac{3{,}98 + 51 - 1{\cdot}2 + 0{,}2}{3 + 0{,}2/1} = 16{,}6 \text{ км}$$

в многомодовом ступенчатом световоде уширение импульсов определяется межмодовой дисперсий в соответствии

$$\tau_{мм} \begin{cases} \frac{\Delta n}{c} L = \frac{n_1 \Delta}{c} L & \text{при } L < L_у \\ \frac{\Delta n}{c}\sqrt{L L_у} = \frac{n_1 \Delta}{c}\sqrt{L L_у} & \text{при } L \geq L_у \end{cases} \qquad (20)$$

где $L_у$ - установившаяся длина связи между модами

если $L < L_у$ - взаимодействие мод не успевает оказать заметного влияния на распространение импульса и межмодовая дисперсия линейно возрастает с их распространением вдаль волокна.

если $L \geq L_у$ - взаимодействие мод приводит к Гауссову распределению поля в световоде и дисперсия растет в соответствии $\sqrt{L}$

в многомодовых волоконных световодах внутримодой дисперсией можно принебречь и величину уширения импульсов на участке световода длиной L можно рассчитать по

$$\tau = \sqrt{\tau_{мм}^2 + \tau_{мат}^2} \qquad (2I)$$

в многомодовом ступенчатом световоде уширение импульса определяется межмодовой дисперсией в соответствии (20) и (21) при $L = L_p$ получаем:

$$\tau_p = \tau_{ммр} = \frac{\Delta n}{c}\sqrt{L L_y},$$

по (19) находим максимальную длину участка регенерации

$$\frac{\Delta n}{c}\cdot\sqrt{L_p L_y} \le \frac{1}{2B},$$

$$L_p = \frac{1}{2B\left(\frac{\Delta n}{c}\right)^2 L_y} = \frac{1}{(2\cdot 8{,}448\cdot 10^6\cdot \frac{0{,}015}{3\cdot 10^5})^2\cdot 0{,}2} = 7\ км$$

максимальная длина участка регенерации ВОЛС не должна быть больше 7 км.

I3. ЗАКОН СУММИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОК

Суммирование параметров ОК необходимо проводить при определении максимальной длины ретрансляционного участка для составления карты соединения ОК, располагая их по возрастающим значениям затухания или дисперсии. Затухание (α_i) и дисперсия (τ_i) при соединении m строительных длин ОВ со ступенчатым профилем без связи мод выражается

$$\left.\begin{aligned} \alpha_{рез.} &\approx \sum_{i=1}^{m} a_i + \sum_{i=1}^{m} a_{mi} \\ \tau_{рез.} &\approx \sum_{i=1}^{m} \tau_i \end{aligned}\right\} \qquad (22)$$

Дисперсия двух строительных длин ОВ с градиентным профилем без связи мод выражается

$$\tau_{12} = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 + 2\tau_1\tau_2 \cdot r_{12}}, \qquad (23)$$

где r_{12} - коэффициент корреляции принимающий значение от -I до +I

при соединении m строительных длин будет

$$\tau_{рез.}^2 = \sum_{i=1}^{m} \tau_i^2 + \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{m} r_{ij}\tau_i\tau_j \qquad (24)$$

при значениях $r_{12} < $ -I и 0 значения дисперсии при сращивании отдельных участков ВОЛС уменьшаются.

При сильной модовой связи значения дисперсии суммируются по закону квадратного корня

$$\tau_{рез.} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \tau_i^2} \qquad (25)$$

Согласно экспериментальных последований этот закон выражается

$$\tau_{рез.} \approx \left[\sum_{i=1}^{m} \tau^2\right]^{0,65} \qquad (26)$$

По паспортным данным, имеющимся в наличии на ОК, вычисляют среднее значение $\alpha_{стр i}$ или $\tau_{стр i}$ и заносят в таблицы. Затем для самого длинного ретрансляционного участка (РУ) отбирают необходимое количество строительных длин с минимальным средним значением дисперсии. Пользуясь выражениями (22)-(26) определяют ожидаемые значения затухания $\alpha_{рез}$ и дисперсии $\tau_{рез}$, которые должны быть меньше допустимых значений $\alpha_{доп.}$ или $\tau_{доп.}$ для данного РУ.

I4. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МОНТАЖУ ВОЛС

I4.I. Способ монтажа ВОЛС выбирается в зависимости от условий окружающей среды, назначения помещений, расположения оборудования, удобства эксплуатации и особенностями строительных конструкций и архитектуры зданий с учетом требований изм.№ I СНиП 3.05.07-85

I4.2. Линии связи, выполненные оптическими кабелями (ОК) могут прокладываться,как правило, следующими способами:

В производственных и иных помещениях, а также в наружных установках- непосредственно по поверхности стен и конструкций;

на лотках (различных модификаций) в пластмассовых и стальных коробах различных модификаций (глухих, с крышками и т. п.);

в пластмассовых и стальных защитных трубах;

в металлорукаве;

на трассе;

в кабельной канализации;

непосредственно в грунт (траншеях).

I4.3. Трассы ОК должны прокладываться по кратчайшим расстояниям, с минимальным числом поворотов.

Открытую прокладку незащищенных ОК по стенам следует выполнять на уровне не менее 2 м от уровня пола или рабочей площадки обслуживания. В местах, где возможны механические повреждения, ОК должны быть защищены применением отрезков труб, металлическим уголкам, перфопрофилем или устройством скрытой проводки.

Вертикальные участки ОК должны быть защищены от механических повреждений от уровня пола на высоту не менее 2 м.

I4.3. Расстояние между точками крепления открыто проложенных ОК зависит от их конструкции и должно быть не более 0,8 м. Расстояние между точками крепления выбирается так, чтобы стрела провиса на I м составляла не более 3 мм.

I4.4. Радиус поворота (изгиба) ОК должен быть не менее 20 наружных диаметров прокладываемого кабеля и тяговые усилия при прокладке не должны превышать значений, указанных в ТУ или паспорте на кабель.

I4.5. Допустимое тяговое усилие определяется

$$F = P \cdot \ell \cdot f, \qquad (27)$$

где P - масса кабеля в кг/м;

ℓ - длина трассы канализации (труб, металлорукава, короба и т. п.);

f - коэффициент трения материала оболочки ОК.

Среднее значение коэффициента трения до ОК с полиэтиленовой (поливинилхлоридной) оболочкой составляет:

при прокладке в:

полиэтиленовых трубах	- 0,29;
металлических трубах	- 0,3;
металлорукавах	- 0,3I;
асбестоцементных трубах	- 0,32;
бетонных трубах	- 0,38.

Допустимые длины ОК с учетом приведенных коэффициентов и допустимых тяговых усилий приведены в таблице А.

Таблица А.

Масса кабеля кг/км	Предельная длина (м) ОК в полиэтиленовой оболочке для протягивания в каналы канализации (трубой) через несколько колодцев					
	бетонных		асбестоцементных		полиэтиленовых	
	с допустимым тяговым усилием (н)					
	600	I200	600	I200	600	I200
80	2000	4000	2300	4600	3000	6000
I60	990	I980	I200	2400	I300	2600

Во всех случаях тяжение осуществлять только используя силовые элементы ОК (трос, проволоку, нити). В целях защиты ОК от случайных механических повреждений во время эксплуатации и монтажа проводок систем автоматизации, как правило, не допускается совместная прокладка. Если невозможно организовать самостоятельную трассу ОК, допускается совместная прокладка ОК с проводками СА в одном лотке или коробе при условии создания перегородок вдоль лотка или короба.

I4.6. Бригады занятые монтажом ВОЛС, должны иметь необходимый набор приборов и инструментов (приложение 3). Во время проведения монтажных работ (выполнение различных измерений на оптических кабелях и их соединении в муфтах и т.п.) оформляются и передаются заказчику рабочие протоколы согласно приложения 3.

I5. ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ВОСП

I5.I. Оптический кабель - кабельное изделие содержащее один или несколько оптических волокон, модулей или жгутов, заключенных в общую оболочку, поверх которой в зависимости от условий эксплуатации может быть наложен защитный покров.

Волоконно-оптические кабели (ОК) по своему назначению могут быть классифицированы: магистральные, зоновые, городские, объектовые (станционные) и монтажные.

Для локальных сетей систем автоматизации и сетей связи управляющих вычислительных комплексов межмашинной связи в основном применяются зоновые, объектовые и монтажные (Приложение 2.).

I5.2. При проектировании ВОСП разработчики могут применять световоды и оптические кабели различной длины, изготовленные разными предприятиями. Для надежной работы ВОЛС необходимо иметь световоды или оптические кабели с одинаковыми параметрами или по крайней мере с параметрами, удовлетворяющими предельные требования эксплуатации и монтажа (рабочая температура, механическая прочность, срок службы и т. п.), т. к. практика показала, что именно эти параметры существенно отличаются от партии к партии.

Все это обуславливает необходимость контроля параметров перед монтажом и тщательной подбор при проектировании.

I5.3. За основу взяты кабели восьмиволоконной конструкции позволяющие закладывать в конструкцию 4,6 или 8 волокон. Они имеют ступенчатые и градиентное оптическое волокно (диаметр сердцевины 50 мкм, оболочки I25 мкм).

В настоящее время принята следующая маркировка оптических кабелей:

первые две буквы указывают назначение кабеля ОК - линейный ГТС; ОЗК - зоновый; ОМЗ - магистральный; ОН - станционный;

группа цифр обозначают:

диаметр сердцевины для кабелей;

номер разработки;

I - без заполнения сердечника;

2 - с гидрофобным заполнением;

километрическое затухание (ослабление);

число волокон-

(числитель в дроби марки кабеля означает число оптических волокон, а знаменатель - число медных жил для дистанционного питания).

Пример: ОК-50-2-5-4 означает линейный кабель для ГТС на основе оптического волокна с диаметром сердцевины 50 мкм, разработка 2 (с гидрофобным заполнением сердечника) с километрическим ослаблением 5 дБ/км и четырьмя оптическими волокнами.

ОЗКГ-I-0,7-4/4 - зоновый кабель на основе градиентных оптических волокон с диаметром сердцевины 50 мкм и оболочки I25 мкм, без заполнения сердечника, километрическое затухание-0,7 дБ/км, 4 оптических волокна и 4 медных жилы.

I5.4. Для изготовления оптических волокон применяют материалы, обладающие минимальными потерями и высокой прозрачностью.

Отечественные стеклянные световоды состоят из пары стекол ТК-I6 (сердцевина) и ЛК-6 (оболочка).

Диаметр световодов 30 мкм, при этом толщина оболочки составляет единицы мкм. Апертура равна 0,5, т. е. угол входного пучка лучей, распространяющихся по световоду, не покидая его, составляет 30 °.

Полимерные световоды обладают примерно такими же характеристиками, что и стеклянные.

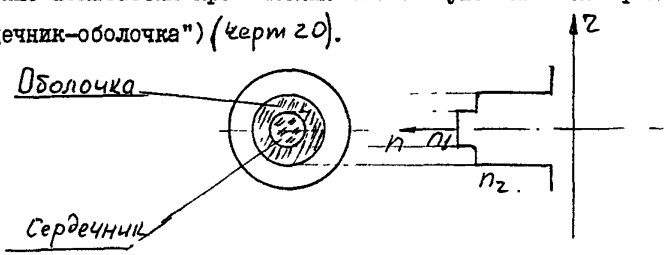
Они удобны в обращении, нет жестких условий при формировании и обработке торцов, что делает их незаменимыми при лабораторных исследованиях и изготовлении приборов и оснастки недлительного пользования. Однако их промышленное применение сдерживается их быстрым старением (под действием различных воздействий – температуры, влажности, механических усилий и т. п., происходит деградация материала и значительное снижение светопропускания).

Кварцевые световоды имеют малое затухание (меньше единицы на I км), однако их апертура мала (0,2 – угол составляет II,5 °; 0,I – угол примерно 6°), что вызывает сложность ввода излучения.

Диаметр кварцевого волокна составляет обычно 50 мкм и оболочка I20 мкм, которая бывает двух типов: кварцевая и полимерная.

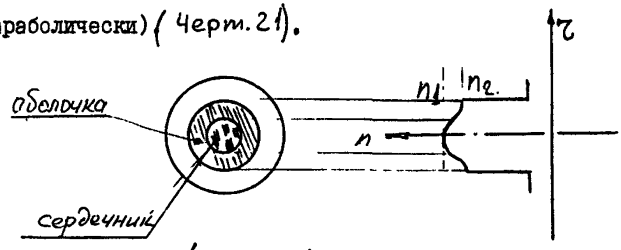
I5.5. Световоды подразделяются на "ступенчатые" и "градиентные". Названия определяют профиль показателя преломления.

Ступенчатые световоды (сердечник) имеют постоянное по радиусу значение показателя преломления (есть ступенька и на границе "сердечник–оболочка") (черт 20).



Черт. 20

Градиентные световоды (сердечник) имеют плавное изменение значения показателя преломления от центра к краю (отсутствуют ступенька значение показателя преломления изменяется по диаметру волокна параболически) (Черт. 21).



Черт. 21

Следствием такого распределения показателя преломления является самофокусировка лучей, лучи почти не приближаются к боковой поверхности сердечника и пропускание увеличивается. Градиентные световоды имеются среди стеклянных, полимерных, но наибольшее распространение они получили в семействе кварцевых.

Кварцевые световоды, обладая высоким светопропусканием, имеют малую апертуру снижающую эффективность источника излучения (при вводе). При длине линии в 30–50 м совокупность апертуры и светопропускания стеклянных, полимерных и кварцевых световодов выравнивается. При длинах свыше 50 м предпочтительно применение кварцевых световодов, т. к. с увеличением длины линии светопропускание является основным фактором на затухание сигнала.

I5.6. Световоды (оптические волокна) разделяются на одномодовые и многомодовые, это обусловлено числом распространяющихся на рабочей частоте волн (мод) по сечению сердечника. Число мод находится в прямой зависимости от диаметра d сердечника и длины волны λ . С увеличением диаметра сердечника и уменьшением длины волны число мод возрастает.

При $d = \lambda$ в поперечном сечении световода указывается только одна волна – одномодовая передача сигнала.

При $d > \lambda$ в поперечном сечении световода укладывается несколько волн – многомодовая передача сигнала.

В настоящее время принято при длинах волн λ =0,8–I,6 мкм применять световоды с диаметром сердечника d =4–8 мкм для одномодовой передачи и при d =50 мкм–для многомодовой передачи.

Число мод можно определить по формуле

$$N = (\pi d n_1/\lambda)^2 \Delta, \quad (28)$$

где $\Delta = (n_1 - n_2) n_1$

n_1 – показатель преломления сердечника;

n_2 – показатель преломления оболочки;

Δ обычно составляет 0,0I–0,003.

По числу мод классификация световодов будет иметь

N =I при $d = \lambda$ – одномодовые

N >I при $d > \lambda$ – многомодовые

I5.7. Основные характеристики световодов

К основным характеристикам световодов относятся светопропускание (потери), спектральный диапазон и апертуру.

Светопропускание (пропускная способность) характеризует долю излучения, прошедшего через световод, и существенно зависит от типа и свойств световодов (одно или многомодовых, градиентных или ступенчатых), а также от типа излучателя (лазер или светоизлучающий диод).

Потери, появляющиеся при передаче по световоду, выражаются в дицебелах на километр (дБ/км).

Для инженерных расчетов можно пользоваться упрощенной формулой (достаточная для практики точность).

$$\tau = \tau_{погл.} \cdot \tau_{фр.} \cdot \tau_{отр} \cdot \tau_{кр}, \quad (29)$$

где $\tau_{погл.}$ – потери, обусловленные материалам световода ($\tau_{погл.} = e^{-\kappa \ell}$)

$\tau_{фр.}$ – потери, вызванные френелевским отражением от торцов световода $\tau_{фр.} = (1-\rho_{фр})^2$

$\tau_{отр.}$ – потери, вызванные отображением на границе "сердцевина–оболочка" $\tau_{отр.} = (1-\alpha)^J$

$\tau_{кр.}$ – составляющая, обусловленная "краевым эффектом"

Значения $\tau_{фр}, \tau_{отр}$ и $\tau_{кр}$ практически не изменяются от световода к световоду и в большинстве случаев определяются экспериментально, тогда выражение (32) можно представить в виде

$$\tau = C \cdot e^{-\kappa \ell}, \quad (30)$$

где С – постоянный коэффициент равный произведению $\tau_{фр} \cdot \tau_{отр} \cdot \tau_{к}$, а $e^{-\kappa \ell}$ характеризует потери на поглащение излучения в материале световода.

Апертура, или числовая апертура, NA является важной характеристикой световода, представляющая собой синус максимального угла падения лучей на торец световода, при котором в световоде луч на границу "сердцевина–оболочка" падает над критическим углом $\Theta_{кр}$ и выполняется условие полного внутреннего отображения $\Theta_{кр} = \rho_n$;

где φ_n – угол полного внутреннего отображения ,

$$NA = n_0 \sin\alpha_m ,$$

так как $n_0 \sin\alpha_n = n_1 \cdot \sin\varphi = n_1 \cos\theta_{кр}$ то учитывая, что $n_1 \sin\theta_{кр} = n_2$,

где n_0, n_1, n_2 – показатели преломления наружной среды сердцевины и оболочки

имеем: $$NA = n_0 \sin\alpha_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad . \qquad (31)$$

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

Чем больше угол φ_n , тем меньше апертурный угол волокна $\theta_{кр}$. Луч в торец световода следует вводить под углом, меньшим апертурного угла волокна $\theta_{кр}$.

Спектральный диапазон – диапазон волн оптического излучения передаваемого световодам, или полоса светопропускания. У большинства стекол, полимера и кварца полоса лежит в среднем в пределах 0,45–2 мкм с провалом до уровня $\approx 0{,}7$ на длине волны I,4 мкм.

КОМПОНЕНТЫ ВОСП

Таблица I

Тип излучателя	Обозначение НТД	Длина волны, мкм	Ширина полосы, нм	Мощность излучения, мВт	Излучающая площадка, $мм^2$	Временная задержка, нс	Диаграмма направленности	Срок службы, ч	Рабочий ток, мА
Светодиоды									
АЛ106А	ФНО.336.002ТУ	0,92-0,935	-	0,2	-	10	25	-	100
АЛ107А	ФНО.336.015ТУ	0,9-1,2	30	6	2	350	40	15×10^{-3}	100
АЛ108А	УЖО.336.096ТУ	0,82-0,9	-	1,5	-	-	90	-	100
АЛ115А	аАО.336.168ТУ	0,9-1,0	-	10	-	300	90	-	50
АЛ118А	аАО.336.308ТУ	0,9-1,0	-	2	-	100	90	-	50
АЛ119А	аАО.336.309ТУ	0,93	-	40	-	1000	-	-	300
АЛ124	аАО.336.505ТУ	0,87	60	4	0,4	20	60	15×10^{3}	100
ЗЛ128А-1	-	0,8-0,9	-	1	-	40	-	-	20

Продолжение табл.I

Тип излучателя	Обозначение ТУ	Длина волны, мкм	Ширина полосы, нм	Мощность излучения, мВт	Излучающая площадка, мм^2	Временная задержка, нс	Диаграмма направленности	Срок службы, ч.	Рабочий ток, мА
Лазеры									
32ДЛ-101	-	0,82	5	10	0,001х х0,02	10^{-7}	60	10^3	330
32ДЛ-103		0,9	-	5-10	0,001х х0,01	-	-	10^4	250
ИЛПН-101	ОДО.397.259ТУ	0,8	4	5	0,001х х0,02	-	60	10^4	500
ИЛПН-202	-	1,3	-	3	Согласующий элемент	3	-	10^4	350
ИЛПН-301	-	0,85	5	0,1	то же	10	-	5^3	200

Таблица 2

Марка фотоприемника	Тип фотодиода	Чувствит. площадка, мм^2	Чувствительность, А/Вт	Время нарастан, нс	Темневой ток, мА	Спектральный диапазон, мкм	Срок службы, ч,	Рабоч. напряж, В.
ЛФД-2А	Лавинный	I	0,5	I	I	0,5-I,6	2000	I6-25
ФД-8	—	2	8	-	I	0,5-I,6	5000	20
ФД-227	—	2,2	0,3	20	0,I	0,8-0,9	I0000	20
ФД-25I	—	-	0,35	2	0,0I	0,8-0,9	I0000	I0
ФД-252	—	Согласующий элемент 0,6 или 0,9	0,45	5	0,0I	0,8-0,9	I0000	5
ФД-27I	—	-	0,4	3	-	0,8-0,9	I0000	-
ФД-272	—	-	0,4	2	-	0,8-0,9	I0000	-

Таблица 3

Тип ответвителя	Назначение	Изготовитель	Вносимые потери, дБ	Диапазон рабочих температур, °С	Габаритные размеры, мм	Структура разветвления
Волоконно-оптические разветвления	Предназначены для деления оптической мощности между несколькими каналами передачи и могут быть использованы как объединители	Управление перспективных технологий Ленинградский филиал Ленинград, II9406, а/я 500				
I:2 (У-типа)			0,5-0,8	от -50 до +70	6,0xII,0x x46,0	
2:2 (Х-типа)			До 2,0	от -50 до +70	-"-	
I:4			До I,6	от -50 до +70	6,0x25,0x x80,0	
I:8			2,5-3,0	-		
Т-образный	то же на одномодовых волоконных световодах (кабелях) $\lambda = 1{,}3$ мкм		-	-	6,0x50,0x x110	
2:2 (Х-типа)			до 0,3	от -10 до +50	6,0xII,0x x46,0	

Таблица 4

Тип	Назначение	Изгото - витель	Вносимые потери, дБ	Диаметр оболочки волоконного световода, мм	Диаметр кварцевой жилы, мкм	Габаритные размеры, мм
Адаптеры для ВОСП	Предназначены для механического закрепления волоконного световода с диаметром кварцевой жилы I25,200, 400,600 мкм	Управление перспективных технологий г.Ленинград, I99406 а/я 500				
Тип I под конкретный тип волокна			до I,0	0,3+I,0	I25-600	⌀I0,0IX47,0
Тип 2 универсальный						⌀I0,0IX53,0

Таблица 5

Тип	Назначение	Изготовитель	Диаметр,	Вносимые потери, дБ	Габаритные размеры, мм
Оптический соединитель "Лист"	Предназначен для разъемного соединения оптических кабелей, кабелей с источниками и приемниками излучения, оптического кабеля с приемопередающими модулями	Завод "Дальсвязь" г.Ленинград	Оптического волокна 50/I25 мкм	Оптического сигнала, не более I	Вилки ⌀ I0x40; розетки 22x22;
Оптический соединитель "Левша"	Предназначен для разъемного соединения между собой оптических одномодовых кабелей		Оптического волокна I0/I25 мкм; (оптического кабеля 3 мм, наконечника 2,5 мм)	Не более 0,7	Вилки ⌀ I0x45; розетки I5xI5xI5;

Таблица 6

Тип	Назначение	Изготовитель	Число коммутированных каналов	Диапазон рабочих температур	Вносимое затухание, дБ	Переходное затухание, дБ	Рабочее напряжение, В	Срок службы	Виброустойчивость в диапазоне частот	Ударная прочность, g	Линейные ускорения, g	Время срабатывания, мс	Масса, г
Оптический переключатель ПКО-ПБО 3-Т2х2	Предназначен для коммутации сигналов в волоконно-оптических системах связи	Завод "Дальсвязь", г.Ленинград	2х2	от -30 до +70°С	Среднее I дБ максимальное I,8 дБ	>50 дБ	5; I2; 24	$>10^5$ срабатываний	В диапазоне частот от I до 2000 Гц при ускорении 20 g	75	50	I5	30 (без учета оптического кабеля)

Таблица 7

Тип	Назначение	Изготовитель	Собственные потери дБ	Максимально вносимое затухание, дБ	Комбинация фильтров	Погрешность установки затухания, дБ	Входной и выходной разъемы, мм	Используемые длины волн, мкм	Используемый оптический кабель градиентный	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Оптические аттенюаторы	Широко используются в системах волоконно-оптической связи. Предназначены для внесения в оптический тракт системы заданного значения затухания. Применяются для настройки, регулировки и калибровки приборов измерения средней мощности	"Zondas" 232010 г.Вильнюс, а/я 1683	2,3	60	1дБх10 и 10дБх5	3-10дБ± ±0,2 дБ; 11-19дБ± ±0,3 дБ; 20-30дБ± ±0,4дБ; 31-60дБ± ±0,5дБ	2,5:М8х0,50 2,5:М8х0,75	0,85; 1,3	50/125 мкм	50х55х х30	0,4

Продолжение табл. 7

Тип прибора	Назначение	Изготовитель	Длина волны оптической несущей, мкм	Диапазон рабочих частот по уровню 3дБ, МГц	Неравномерность А4Х, дБ	КСВН выхода в тракте, 50 Ом	Коэф. передачи В/мВт	Максимальный выходной сигнал, В	Чувствительность, дБм	Длительность фронта и среза переходной характеристики, нс	Выброс переходной характеристики, %	Оптический вход	Питание, В; Гц; Вт	Габариты, мм	Масса, кг
Преобразователь оптоэлектронный "ОПРМ-0,2"	Применяется в качестве приемника оптических сигналов с амплитудной модуляцией при измерениях параметров элементов волоконно-оптических систем передачи	Специальное конструкторское бюро института радиотехники и электроники АН СССР	I,3	0,I-2000	Не более ±I,5	Не более 2	5±0,7; 3±0,5; 2±0,3; I±0,2	Не менее ±0,5	Не менее минус 27	Не более 0,25	Не более I0	Оптический соединитель по РФ3.906.057 (М8х0,75 ф2,5) или по РФ3.906.0I9ТУ (М8х0,75 ф2,5)	220; 50; I0	220 х I80 х 85	3

Продолжение табл. 7

Тип прибора	Назначение	Изготовитель	Скорость передачи данных МБит/с	Длина волны оптического излучения, мкм	Максимальная пиковая оптическая мощность вводимая в волокно, Вт	Чувствительность приемника при коэф. ошибок не более I0-I0 дБ	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Трансивер волоконно-оптический для локальной вычислительной сети	Предназначен для использования в локальных вычислительных сетях	Специальное конструкторское бюро института радиотехники и электроники АН СССР (СКБ ИРЭ АН СССР)	I0	0,85	Не менее I4	Не менее минус 36	I60x xI35x32	0,6

Продолжение табл. 7

Тип прибора	Назначение	Изготовитель	Длина волны оптической несущей, мкм	Диапазон частот модуляции по уровню -3 дБ, МГц	Неравномерность АЧХ, дБ	КСВН входа в тракте 50 Ом	Коэффициент передачи, $\frac{мВт}{В}$	Средняя выходная оптическая мощность, мВт	Оптический выход	Питание, В; Гц; Вт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Преобразователь электронно-оптический "ОПРД-02"	Применяется в качестве источника оптических сигналов с амплитудной модуляцией при измерениях параметров элементов волоконно-оптических систем передачи	Специальное конструкторское бюро института радиотехники и электроники АН СССР	I,3	I – -2000	Не более ±I,5	Не более 2	5±0,7, 3±0,5, 2±0,3, I±0,2	Не менее 0,5	Одномодовый оптический соединитель РФ3.906.057 (М8х х0,75 ⌀2,5 мм)	220, 50, I0	220х хI80х х85	3

Продолжение табл. 7

Тип прибора	Назначение	Изготовитель	Длина волны излучения мкм	Полоса пропускания модуля по уровню -3дБ в пределах, МГц	Коэффициент преобразования мВ/МВт	Максимальный размах выходного сигнала на нагрузке 50 Ом, В	Тип соединителя	Напряжение питания, В	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
Фотоприемник измерительный, 0,001-500 МГц	Предназначен для преобразования оптических сигналов в электрические и может быть использован для контроля частотных характеристик и формы переходных процессов оптических передатчиков	Специальное конструкторское бюро института радиотехники и электроники АН СССР (СКБ ИРЭ АН СССР)	1,3	от 0,001 до 500	с p-i-n фотодиодом 3500 с лавинным фотодиодом до 20000	1,0	Оптический соединитель по РФ3.906.019ТУ (М8х х0,75, ϕ2,5) или (М8х х0,5, ϕ2,5)	12,0	120х60х х25	0,2

Продолжение табл. 7

Тип прибора	Назначение	Изготовитель	Длина волны излучения, мкм	Скорость передачи информации, Мбит/с	Длина волоконно-оптического кабеля, км	Энергетический потенциал пары передатчик-приемник, дБ	Тип соединителя	Потребляемая мощность, Вт	Габаритные размеры, мм
Приемопередатчик оптический для локальных вычислительных сетей	Предназначен для работы в локальных волоконно-оптических сетях связи с протоколом обмена, аналогичным стандарту МОС 8802.5	Специальное конструкторское бюро института радиотехники и электроники АН СССР (СКБ ИРЭ АН СССР)	I,3	I0	2 — I0	40	Оптический соединитель по РФ3.906.0I9ТУ (М8х0,75 ⌀ 2,5) или (М8х0,5, ⌀2,5)	I0	360х200х х30

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ ДЛЯ ВОСП

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина волны, мкм	Апертура
Кабели световодные ОК-МСОI-I	ТУI6.705.287-83 г.Мытищи НПО "Контакт"	Предназначены для работы в условиях внутри- и межблочного монтажа в аппаратуре	От -I0 до +70°С	I/0	60	40	0,85±0,03	0,2
ОК-ВСОI-I				I/0				
ОК-ВСОI-4				4/0				
ОК-ВСОI-4/4				4/4				
ОК-ВСОI-I2				I2/0				
ОК-МСОI-I-20				II				
ОК-МСОI-I-I0				I	30			
ОК-МС08-I			От -40 до +70°С	8/I	I0	400	0,85	0,22

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, мкм	Аппертура
Кабели оптические для городских линий связи								
ОН-50-I-3-I	ТУI6-705.296-86 Подольский кабельный завод	Предназначены для работы в помещениях телефонных станций	От -I0 до +55°С	I/0	3			
ОН-50-I-3-2				2/0	3			
ОН-50-I-5-I	Одескабель			I/0	5		0,85	0,2±0,02
ОН-50-I-5-2				2/0	5			
ОК-50-2-3-4	Подольский кабельный завод	Предназначены для городских телефонных сетей, прокладки в телефонной канализации, трубах, блоках, и коллекторах ручным и механическим способом	От -40 до +55°С	4/0	3			
ОК-50-2-3-8				8/0	3			
ОК-50-2-5-4	Одескабель			4/0	5			
ОК-50-2-5-8				8/0	5			
Кабель световодный сейсмический СР50-2-2/4ж	ТУI6-705.364-84 Ташкенткабель	Предназначен для использования в сейсмокомплексе при проведении сейсморазведочных работ	От -60 до +70°С	2/4	I0	20	0,85	

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, λ мкм	Апертура
Кабель световодный грузонесущий плаСВР-50-I-4/2I	ТУI6-705.352-8I	Предназначен для работы в морской воде	От -4 до +35°С	I0	10	20	0,85	
Кабели световодные теплостойкие	ТУI6-705.36I-84	Предназначены для работы в условиях внутри и межблочного монтажа в бортовых световодных системах связи и передачи информации	От -60 до +200°С			20	0,85	
СБ50-2-I				I	30			0,22
СБ50-2-2				2				
СБ50-2-4				4				
СБ200-2-I				I				0,30
СБ200-2-2				2				0,22
СБ200-2-4				4				

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, мкм	Апертура
Кабели световодные								
ОК-МС06-I	ТУ16-705.380-85 г.Мытищи НПО "Контакт"	Предназначены для работы в условиях внутри и межблочного монтажа в бортовых световодных системах связи и передачи информации	От -60 до +85°С	I	I0	400 (или I50)	0,85± 0,03	0,20± 0,02
ОК-БС06-I				I				
ОК-БС06-2				2				
ОК-БС06-2/2				2/2				
ОК-БС06-4				4				
ОК-БС06-4/4				4/4				
Кабели световодные								
ОК-МС04-I	ТУ16-705.381-85 г.Мытищи НПО "Контакт"	Предназначены для работы в условиях внутри и межблочного монтажа в бортовых волоконно-оптических систем связи	От -40 до +85	I	50	20	0,85	0,27
ОК-МС07-I			От -60 до +85	I				
ОК-БС04-I			От -40 до +85	I				
ОК-БС07-I			От -60 до +85	I				
ОК-БС04-2			От -40 до +85	2				
ОК-БС07-2			От -60 до +85	2				

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, λ мкм	Апертура
Кабели световодные								
ОК-БС04-2/2	ТУ16-705.381-85 г.Мытищи НПО "Контакт"		От -40 до +85	2/2	50	20	0,85	0,27
ОК-БС07-2/2			От -60 до +85	2/2				
ОК-БС04-4			От -40 до +85	4				
ОК-БС07-4			От -60 до +85	4				
ОК-БС04-4/4			От -40 до +85	4/4				
ОК-БС07-4/4			От -60 до +85	4/4				
ОК-БС04-8			От -40 до +85	8				
ОК-БС07-8			От -60 до +85	8				

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, км	Апертура
Кабель оптический с продольной и поперечной герметизацией		Предназначен для работы в фиксированном состоянии внутри помещений в составе оптической линии связи						
ОКН-01-20-4/0	ТУ16-705.390-85		От 0 до 55°С	4/0	40	15	0,85	0,28
ОКН-01-20-8/0				8/0				
ОКН-02-20-4/0				4/0				
ОКН-02-20-8/0			От -40 до +55°С	8/0				
Кабель световодный		Предназначен для волоконно-оптических систем передачи информации, для стационарной прокладки						
ОК-ССО1-4-300	ТУ16-705.410-85 г.Мытищи НПО"Контакт"		От -60 до +85°С	4	10	300 (или 150)		0,18± 0,02
ОК-ССО1-4-150				4/0	7			
Кабель оптический		Предназначен для работы в условиях фиксированного монтажа и строительства линий связи с осуществлением многократных перемоток (снятий)						
ОЛПГ-50-1	ТУ16-705.454-87 г.Подольск п/я В-2521		От -40 до +70°С	2/0	20	40		
ОЛПГ-50-6				2/0				
ОЛПГ-50-2	п/я А-107 г.Москва			2,6,8/10	15/20	150	0,85 или 1,3	0,20± 0,02
ОЛПГ-50-3				2,4,6, 8/10	15			

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы МГц	Рабочая длина, λ мкм	Аперт-ура
ОЛПГ-50-7	ТУ16-705.454-87		От −40 до +70°С	2/10	15/20	150	0,85–1,3	
ОЛПГ-50-9				2,4/0	10			
ОЛПГ-50-4				2,4/0	15			
ОЛПГ-50-8				2,4/0	15/20			
ОЛПГ-50-5				2,4/0	15			
ОЛПГ-50-10				2,4/0	10			
Кабель оптический ОЗКГ-I-07-4/4	ТУ16-705.455-87 г.Подольск	Предназначен для использования в зоновых сетях связи, для прокладки в кабельной канализации, трубах, блоках и коллекторах, грунтах всех категорий, кроме подверженных мерзлотным деформациям, и в воде	От −40 до +55°С	4/4	0,7	150 (400)	I,3	0,2+0,02
ОЗКГ-I-0,7-8/4				8/4				
ОЗКГ-I-0,7-4/0				4/0				
ОЗКГ-I-0,7-8/0				8/0				
ОЗКГ-I-I,0-4/4				4/4				
ОЗКГ-I-I,0-8/4				8/4	I,0			
ОЗКГ-I-I,0-4/0				4/0				

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, λ мкм	Аперт-ура
ОЗКГ-I-I,0-8/0	ТУ16-705.465-87	при пересечении неглубоких болот, несудоходных рек со спокойным течением воды (с обязательным заглублением в дно) ручным и механическим способами		8/0				
ОЗКГ-I-I,5-4/4				4/4				
ОЗКГ-I-I,5-8/4				8/4	I,5			
ОЗКГ-I-I,5-4,0				4				
ОЗКГ-I-I,5-8/0				8/0				
Кабели оптические ОМЗКГ-I0-I-0,7	ТУI6-К7I-0I8-88	Предназначены для прокладки в кабельной канализации, трубах, блоках и коллекторах, грунтах всех категорий, кроме подверженных мерзлотным деформациям	От -40 до +50°С	I0/I		от 150 до 800		
ОМЗКГ-I0-2-0,7				I0/2				
ОМЗКГ-I0-3-0,7				I0/3	0,7		I,3	0,2
ОМЗКВ-I0-I-0,7				I0/I				
ОН-I0-I-I,0-I		Предназначены для работы в помещениях телефонных станций в стационарных условиях	От -I0 до +55°С и в аппаратуре от -40 до +55°С		I,0	40		

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, мкм	Апертура
Кабели оптические ОК-ПН-01	ТУ16.К71-026-88	Предназначены для работы в условиях стационарной, нестационарной и воздушной прокладки в составе линий связи	От -60 до +70°С	1	6;8	150	1,3	0,20+-0,02
ОК-ПН-02				1	8; 10		0,85	
Кабели оптические ОК-50-ІФ-1/0	ТУ16-705.254-82 п/я А-1127 г.Москва	Предназначены для работы в условиях фиксированного монтажа	От -30 до +70°С	1/0	30	200	0,85 - 1,3	0,20 ± ± 0,02
ОК-50-ІВ-1/0				1/0				
ОК-50-ІФ-2/0				2/0				
ОК-50-ІВ-2/0				2/0				
ОК-50-ІФ-4/0				4/0				
ОК-50-ІВ-4/0				4/0				
ОК-50-ІФ-6/0				6/0				
ОК-50-ІВ-6/0				6/0				
ОК-50-ІФ-8/0				8/0				
ОК-50-ІВ-8/0				8/0				

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, λ мкм	Апертура
ОК-50-IB-I0/0	*7416-705.254-82*			I0/0				
ОК-50-IB-I2/0				I2/0				
ОК-50-2-4/0				4/0				
ОК-50-2-6/0				6/0				
ОК-50-2-8/0				8/0				
ОК-50-3-6/0				6/0				
ОК-50-3-8/0				8/0				
ОК-50-4-4/0				4/0				
ОК-50-4-6/0				6/0				
ОК-50-4-8/0				8/0				
Кабель световодный ОК-СС-02	ТУI6-К7I-052-89	Предназначен для волоконно-оптических систем для стационарных объектов и сооружений	От -I5 до +50°С	I	6,I0	25	0,85	0,27
ОК-СС-03				2,4,6				
ОК-СС-4				2,4,6				

Тип ОК марка	Обозначение ТУ, завод-изготовитель	Назначение	Рабочий диапазон температур	Количество каналов	Коэф. затухания, дБ	Ширина полосы, МГц	Рабочая длина, λ мкм.	Апертура
Кабели МВО-I	Завод "Анод" г.Дядьково Брестской обл.	Предназначены для работы в условиях внутри- и межблочного монтажа в аппаратуре, Для организации диспетчерской директорской и др.видов связи. Могут быть использованы для организации связи в локальных сетях	От -40 до +60°С	I/0	25	50	0,85 , I,3	0,22
Кабели МВО-2	То же			2/0	25	50	0,8 , I,3	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПЕРЕЧЕНЬ

ПРИБОРОВ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ИНСТРУМЕНТА ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ МОНТАЖЕ ОК.

Комплексная бригада в составе 5 человек:

Инженер измеритель - I (бригадир)
Техник измеритель - I
Монтажник (оператор-сварщик) - I
Монтажник КИПиА 6-го разряда - I
Монтажник 5-го разряда - I

Наименование	Ед. изм.	Кол.
Переносное устройство для сварки оптических волокон КСС-III	шт.	I
Источник электропитания постоянного тока не менее 5А напряжением I2В	шт.	I
Измерительные приборы (нормализующее устройство)	шт.	1
Катушка с оптическим волокном длиною не менее I000 м	шт.	1
Тестер оптический ОМК3-76	шт.	2
Измеритель затухания ИФI93-I ИФI93-2	шт.	1
Генератор оптических и электрических импульсов комбинированный ОГ5-87	шт.	I
Ваттметр поглощаемой мощности оптический ОМ3-65(66)	шт.	1

Наименование	Ед. изм	Кол.
Тестер оптический ОМКЗ-76	шт.	3
Рефлектометр обратного рассеивания Анду, Анритц (Япония) Фельтон и Гильем (ФРГ)	шт.	I
Радиостанция типа "Лен" или "Кактус"	компл.	3
Телефон типа "МБ" с индуктурным вызовом	шт.	3
Переговорное устройство УВС	шт.	3
Насос автомобильный с рессивером и устройством осушки воздуха	шт.	I
Рулетка измерительная	шт.	2
Рамка ножовочная ручная	шт.	
Полотно ножовочное по металлу	шт.	
Нож монтерский	шт.	
Набор НСП-IМ для пропано-воздушной пайки	компл.	I
Насадки к газовоздушной горелке ГПВМ-0,I	компл.	I
Плоскогубцы	шт.	2
Кусачки боковые	шт.	4
Кордная металлическая щетка	шт.	2
Емкость для разогрева заливочной массы (заполнителя)	шт.	2
Воронка	шт.	2
Термометр со шкалой до I00 ^{o}C	шт.	2

Протокол входного контроля измерения
затухания оптических волокон

Форма I

Длина ОК, м	Номер ОВ	Паспортные данные	Мощность излучения	Результаты расчета		Дата проверки
		Затухание ОВ		Затухание дБ	Коэффициент затухания дБ/км	

Затухание оптических волокон определяют по формуле

$$A = 10 \lg \frac{P_{вх}}{P_{вых}},$$

где $P_{вх.}$ и $P_{вых.}$ - значение сигналов, соответствующие уровням мощности на входе и выходе ОВ.

Коэффициент затухания ОВ определяют по формуле

$$\alpha = \frac{\lambda}{L_2 - L_1} \text{ дБ/км}$$

где L_1 и L_2 - длина короткого и длинного отрезка волокна.

Среднее значение выходной и входной мощности определяют после проведения трех измерений по формулам

$$P_{вых} = \frac{P_{1вых} + P_{2вых} + P_{3вых}}{3}$$

$$P_{вх} = \frac{P_{1вх} + P_{2вх} + P_{3вх}}{3}$$

Проверку производил _____

(Ф.И.О. исполнителя)

Паспорт регенерационного участка

Регенерационный участок

Номер ОВ	Мощность излучения, единица мощности мВ		Результаты расчета	Дата измерения
	Направление А–Б	Направление Б–А	Затухание А, дБ	

Измерение производил _____

(Ф.И.О. исполнителя)

ПАСПОРТ
на смонтированную соединительную
муфту

Муфта № _____

Оптическая линия связи _____
Регенерационный участок _____
Марка оптического кабеля_____
Монтаж производил _____
(наименование монтажной

_____
организации, Ф.И.О. исполнителей, дата)

Сведения о ремонте _____
_____
_____

Измерительные приборы _____
_____

Номер ОВ	Направление измерения. Затухание дБ/км	
	А-Б	Б-С
I		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

ПРОТОКОЛ
входного контроля оптического кабеля
(измерения затухания оптических волокон)

Марка кабеля _____
Количество оптических волокон _____

Прибор: тип _____
завод.номер _____
год.выпуска _____

Длина кабеля на барабане (бухта)	Номер ОВ	Затухание, дБ		Дата проверки	Заключение о пригодности
		по паспорту	фактическое		

Проверку производил _____
(Ф.И.О. исполнителя)

ПРОТОКОЛ
измерений смонтированной ВОЛС

Комиссия в составе

Монтажная организация (подрядчик) _____
(должность, фамилия, и.о.

_____
исполнителей

Заказчик _____
(должность, фамилия, и.о.)

произвела осмотр и измерение смонтированной ВОЛС

I. Монтаж выполнен в соответствии с ПСД

рабочие чертежи _____

отступление от рабочих чертежей _____

2. Затухание отдельных ОВ

A_I= A_2= A_3= A_4= A_5= A_6= A_7= A_8=

3. Обрывы и неоднородности, возникающие в результате монтажа_____

_____.

4. Заключение о сдаче-приемке ВОЛС _____

_____

Представитель
монтажной организации

М.П.

_____I9_____

_____
подпись

Представитель
заказчика

М.П.

_____ I9_____

_____
подпись

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25462-82 — Волоконная оптика. Термины и определения
2. ГОСТ 26599-85 — Компоненты волоконно-оптических систем передачи. Термины и определения
3. ГОСТ 25868-83 — Устройство ввода, вывода и подготовки данных вычислительных машин
4. ГОСТ 26814-86 — Кабели оптические
5. Андрушко Л.М. — Волоконно-оптические линии связи, Москва "Радио и связь", 1984 г.
6. Гроднев И.И. — Оптические кабели. Москва, "Энергоатомиздат", 1985 г.
7. Верник С.М., Гитин В.Я., Иванов В.С. — Оптические кабели связи. Москва, "Радио и связь", 1988 г.
8. Элион Г. — Волоконная оптика в системах связи. Москва "Мир", 1981 г.
9. Гроднев И.И. — Волоконно-оптические линии связи, Москва "Радио-связь", 1990 г.
10. Ионов А.Д. Попов Б.В. — Линии связи, Москва "Радио-связь", 1990 г.
11. Носов Ю.Р. — Оптоэлектроника, Москва "Радио-связь", 1989 г.
12. Бусурин В.И. Носов Ю.Р. — Волоконно-оптические датчики Москва, "Энергоатомиздат", 1990 г.
13. Усо П.К. — Волоконная оптика, Москва, "Энергоатомиздат", 1988 г.
14. Руководство по монтажу, измерениям и сдаче в эксплуатацию волоконно-оптических линий связи. I и II книги. Москва тр-т СМА. 1989 г.
15. Руководство по прокладке, монтажу и сдаче в эксплуатацию волоконно-оптических линий связи внутризоновых сетей. ГУССС. СКТБ СТЗ. 1987 г.

16. Андреев А.И. Потери на микрощитах в волоконных световодах и волоконно-оптических кабелях "Квантовая электроника", 1980 г., т.7, № 1

17. Свечников Г.С. Источники излучения для интегральной оптики. Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. Киев, "Наукова думка", 1985 г., вып.7

18. Мурадян А.Г. Системы передачи информации по оптическому кабелю. Москва "Связь", 1980 г.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Основные положения 2
2. Последовательность проектирования 7
3. Классификация ВОСП 9
4. Временное мультиплексирование I4
5. Модуляция в оптических линиях I7
6. Компоненты ВОСП 20
7. Структурное построение ВОСП 27
8. Расчет динамического диапазона и суммарных потерь некоторых структур ВОЛС 34
9. Пример анализа структур при проектировании локальной сети 47
I0. Определение потерь оптического излучения на вводе в оптическое волокно 49
II. Потери на изгибах и микроизгибах световодов 5I
I2. Определение длины линии (участка регенерации) 52
I3. Закон суммирования параметров ОК 59
I4. Основные требования, предъявляемые к монтажу ВОЛС 6I
I5. Оптические кабели, применяемые для ВОСП 64
Приложение I. Компоненты ВОСП 7I
Приложение 2. Оптические кабели для ВОСП 84
Приложение 3. Перечень оборудования и рабочих протоколов 95

Заместитель главного инженера ГПКИ "Проектмонтажавтоматика" М.А.Чудинов

Начальник отдела А.М.Гуров

Начальник сектора В.С.Манин

Нормоконтроль Ю.И.Сердобинцев

gost.e-ecolog.ru

ГПКИ ПМА 3-27г-480 экз 03 09 91г