

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

# «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



## ТЕЛЕКОНТРОЛЬ И ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ

### ЛЕКЦИЯ №9

### «Спутниковые каналы связи»

Лектор:  
доцент каф. ЭАФУ ФТИ  
Горюнов А.Г.

Томск 2012 г.

# План лекции

- ☐ Спутниковые системы связи
- ☐ VSAT-станция спутниковой связи
- ☐ Радиосигналы в спутниковых системах связи
- ☐ Вопросы текущего контроля на лекциях по модулю «Каналы связи»

# 9.1. Спутниковые системы связи

**Спутниковые системы связи** (ССС) известны давно, и используются для передачи различных сигналов на протяженные расстояния. С момента своего появления спутниковая связь стремительно развивалась, и по мере накопления опыта, совершенствования аппаратуры, развития методов передачи сигналов произошел переход от отдельных линий спутниковой связи к локальным и глобальным системам.

Такие темпы развития СССР объясняются рядом достоинств которыми они обладают. К ним, в частности, относятся большая пропускная способность, неограниченные перекрываемые пространства, высокое качество и надежность каналов связи. Эти достоинства, которые определяют широкие возможности спутниковой связи, делают ее уникальным и эффективным средством связи. Спутниковая связь в настоящее время является основным видом международной и национальной связи на большие и средние расстояния. Использование искусственных спутников Земли (ИСЗ) для организации связи продолжает расширяться по мере развития существующих сетей связи. Многие страны создают собственные национальные сети спутниковой связи.

Все системы можно разделить на системы двух видов: работающие через спутники на **негеостационарных** и **геостационарных** орбитах .

**Негеостационарные** спутники используются в основном для военных, научных и метеорологических исследований. Их главная особенность — невозможность поддержания круглосуточной связи с земной станцией (ЗС). Однако, перемещаясь по заданной орбите относительно поверхности Земли, они могут собирать данные с большой площади земной поверхности.

**Геостационарные** спутники выводятся на такую орбиту в плоскости экватора, при которой их **угловая скорость** совпадает со скоростью **вращения Земли** вокруг своей оси. Высота над поверхностью Земли, где выполняются условия постоянства скоростей и равенства центробежной и гравитационной сил, составляет **36** тысяч километров. Теоретически, один расположенный таким образом спутник может обеспечить качественную связь для трети земной поверхности. В действительности обслуживаемые территории существенно меньше.

Особенностью спутников на геостационарных орбитах является значительная временная задержка (порядка **240 мс**) в спутниковом канале, вызванная необходимостью два раза преодолевать расстояние в 36 тысяч километров от ЗС до спутника .

Рассмотрим системы, где применяются спутники связи, обращающиеся на орбитах синхронно с вращением Земли. Это позволяет существенно упростить систему связи. В этом случае каждая земная станция работает непрерывно с одним и тем же спутником связи.

Ранее, при использовании не синхронных спутников, существовала необходимость периодического переключения антенной системы каждой земной станции с одного спутника на другой, что естественно вызывало перерывы связи. К тому же, значительную часть стоимости ИЗС составляла не очень надежная аппаратура слежения.

Использование стационарных спутников связи обеспечивает бесперебойную связь, но требует дополнительного запаса рабочего тела для проведения многократных коррекций орбиты ИЗС. Считается, что этот дополнительный запас рабочего тела для коррекции орбиты является сравнительно небольшой платой за простоту эксплуатации системы и отсутствие перерывов связи. Земные станции при использовании стационарных спутников упрощаются за счет отказа от сложной и дорогой системы слежения.

Спутниковые системы связи могут различаться также и типом передаваемого сигнала, который может быть цифровым или аналоговым. Передача информации в цифровой форме обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами передачи.

## 9.2. VSAT-станция спутниковой связи

6

**VSAT**-станция (Very Small Aperture Terminal) – станция спутниковой связи с антенной малого диаметра, порядка 1,8...2,4 м. VSAT-станции используются для обмена информацией между наземными пунктами, а также в системах сбора и распределения данных. Спутниковые системы связи с сетью земных станций типа VSAT обеспечивают телефонную связь с цифровой передачей речи, а также передачу цифровой информации.

К станциям спутниковой связи типа VSAT относятся станции спутниковой связи, обладающие определенными характеристиками, описанными в Рекомендациях №№ 725-729 ММКР (**CCIR** – Center for Communication Interface Research).

Привлекательной особенностью станций VSAT является возможность их размещения в непосредственной близости от пользователей, которые благодаря этому могут обходиться без наземных линий связи.

## 9.2.1. Система SCPC

7

В России и в Европе существуют сети VSAT-станций, работающих на принципе **SCPC**. Стандартный вариант связи SCPC где используется связь по принципу «point-to-point» («точка-точка») – это две VSAT-станции, соединенные спутниковым каналом и расположенные у пользователей (см. рисунок 9.1).

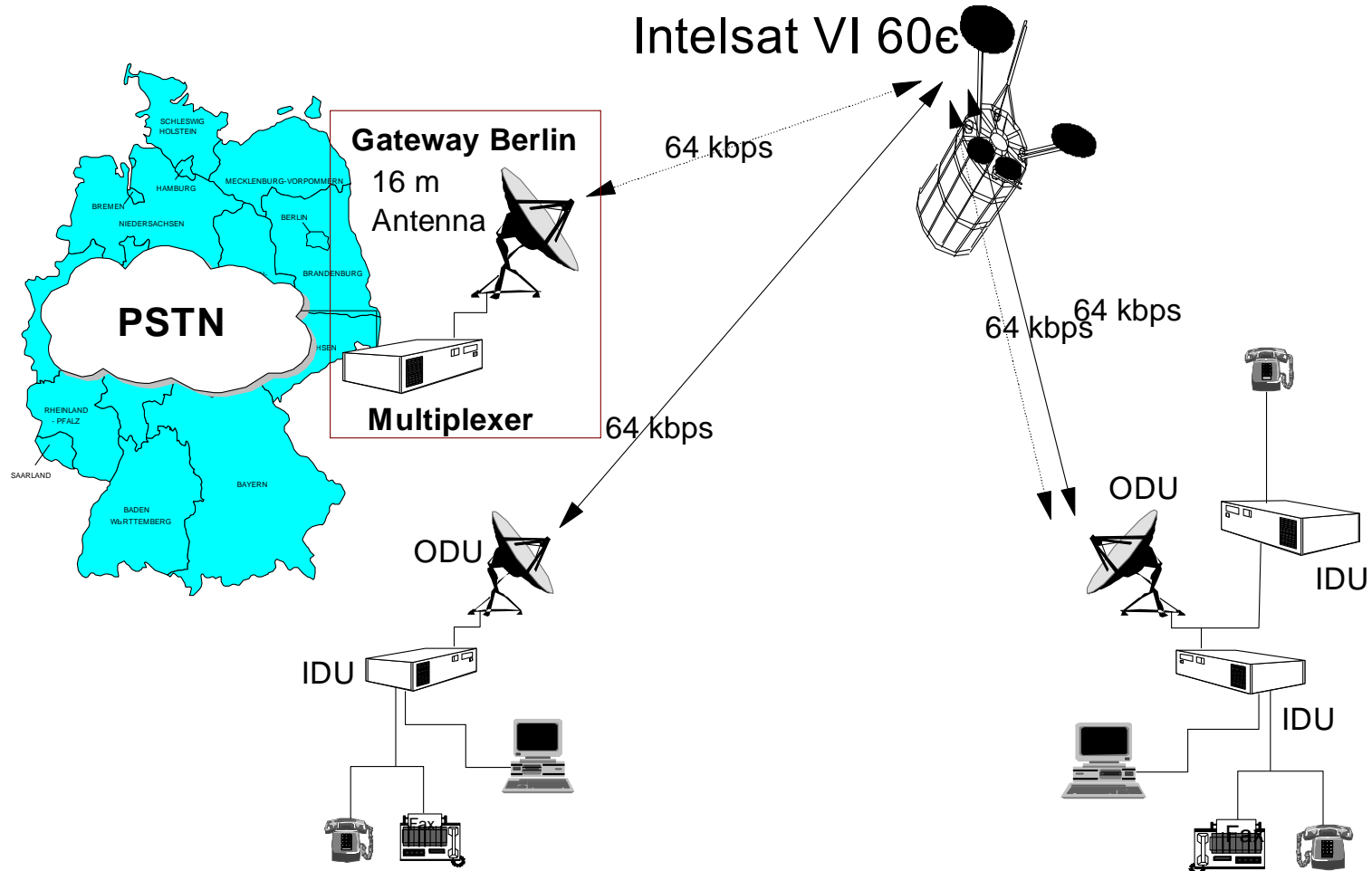


Рисунок 9.1 Схема работы SCPC-системы

## 9.2.2. TES-система

8

**TES**-система предназначена для обмена телефонной и цифровой информацией в сетях, что построены по принципу «**mesh**» («каждый с каждым») или, другими словами, в сетях с полным доступом. Это означает, что возможна телефонная связь между любыми двумя абонентами сети, кроме этого абонентам обеспечивается выход в международную сеть общего пользования через **телепорт** (**Gateway**) в Берлине.

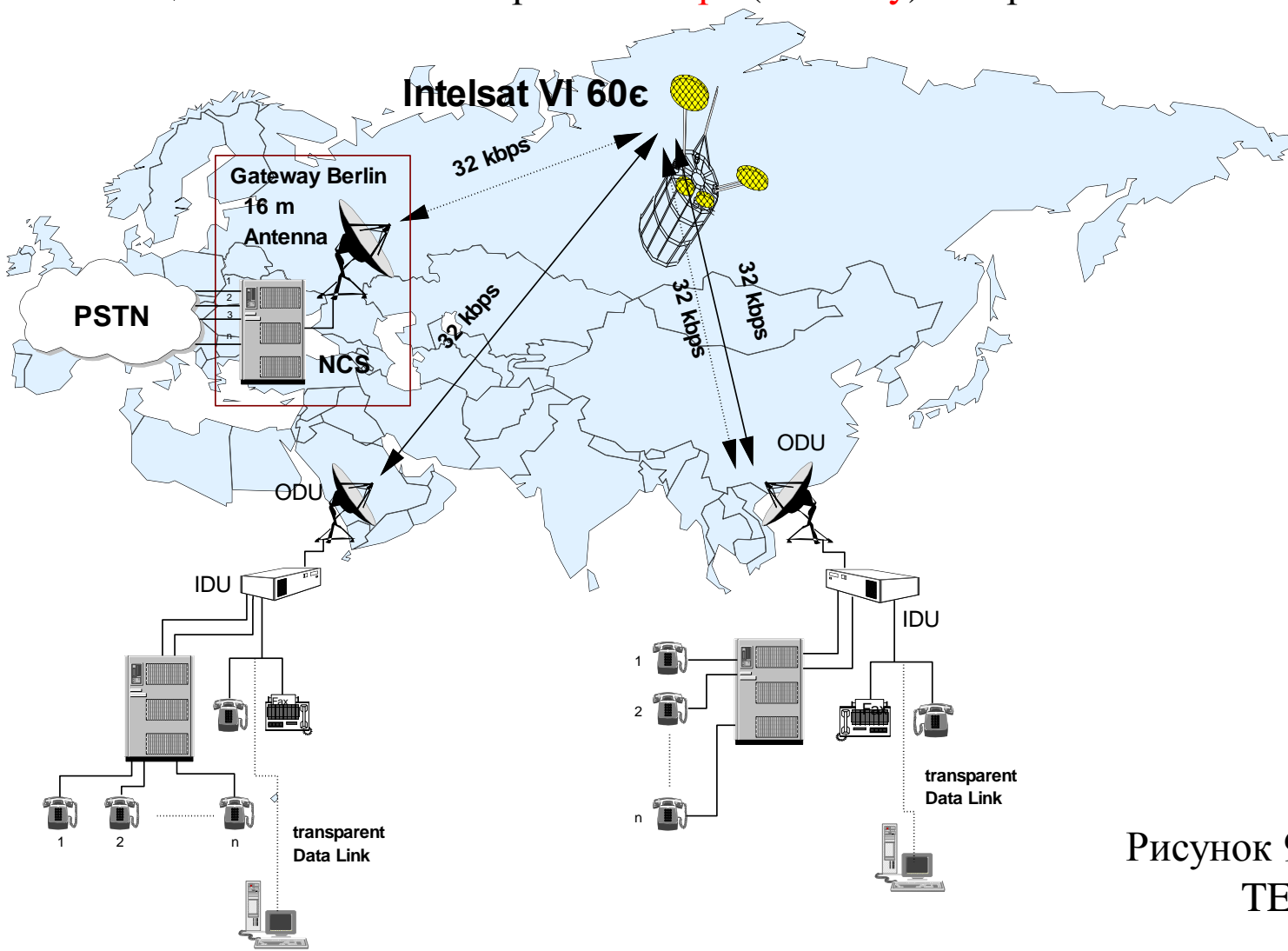


Рисунок 9.2 Схема работы  
TES-системы



Сеть работает по принципу **DAMA** – когда абонент не имеет жестко закрепленного за ним спутникового канала, а этот канал предоставляется ему по первому требованию, причем с высокой (более 99%) вероятностью.

Этот способ позволяет уменьшить число арендуемых спутниковых каналов и обеспечить приемлемые цены для абонентов.

В целом, использование именно TES-системы является самым оперативным и действенным способом доступа в международную телефонную сеть, а также хорошим средством связи с теми областями, которые обладают либо неразвитой инфраструктурой связи, либо вообще не имеют таковой.

**Система персональных земных станций (Personal Earth Station) PES™** – спутниковая диалоговая пакетно-коммутируемая сеть, предназначенная для обмена телефонной и цифровой информацией в рамках ССС с топологией типа «звезда», с возможностью полного дуплекса. Система располагает крупной и дорогой центральной станцией (HUB station) и многими небольшими и недорогими периферийными станциями PES или REMOTE (см. рисунок 9.3).

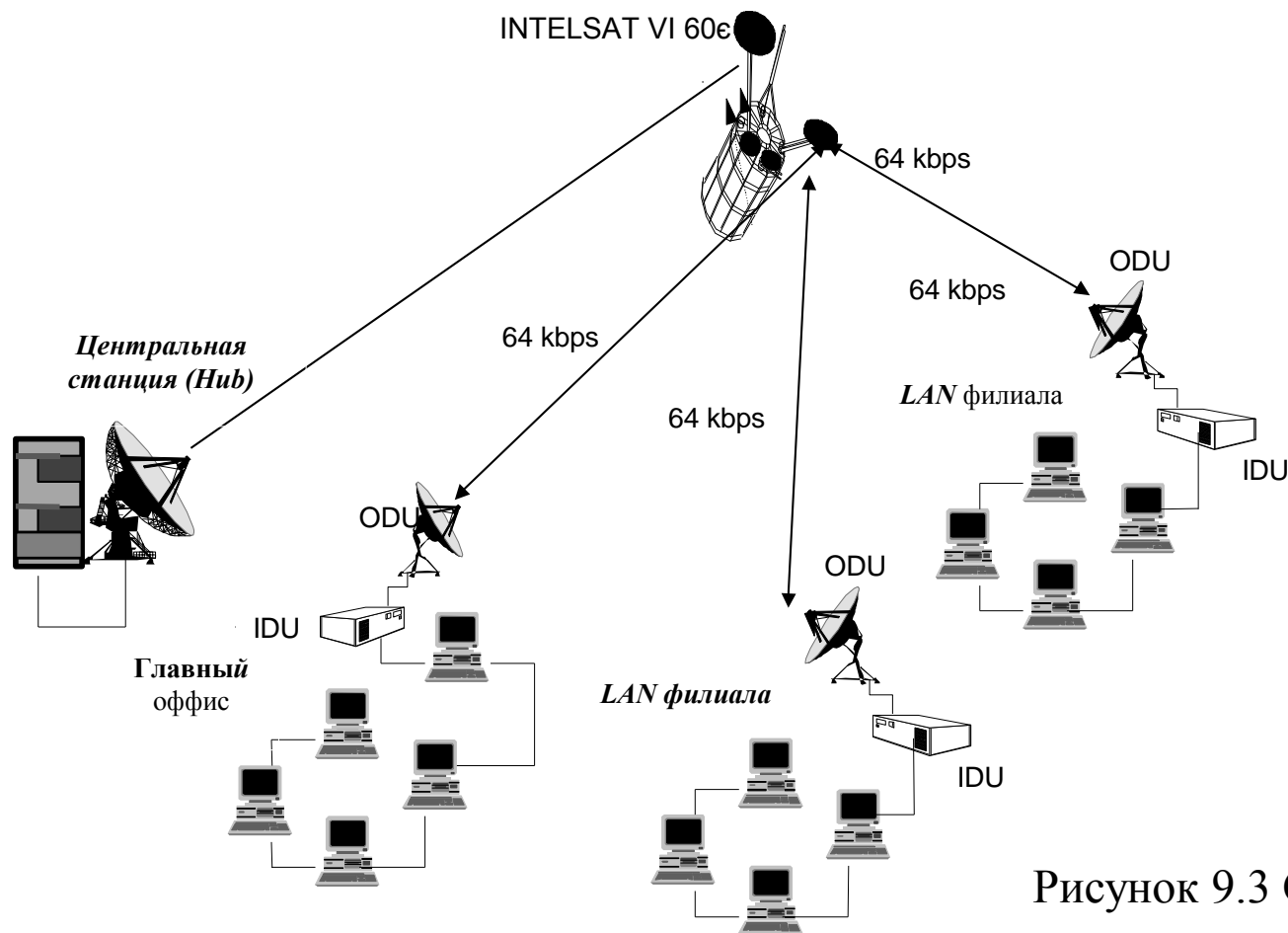


Рисунок 9.3 Структура PES-системы

Стандартный вариант связи SCPC (связь по топологии «точка-точка») – это две VSAT-станции, расположенные у в двух пунктах, и соединяются через спутник. Канал связи жестко закреплен за пользователем.

Радиочастоты и другие параметры спутникового канала

Станции спутниковой связи работают обычно в 2 диапазонах: С-диапазон (прием 4 ГГц, передача 6 ГГц) и Ku-диапазон (прием 11 ГГц, передача 14 ГГц).

Так как передача идет в цифровом виде, то используется фазовая модуляция.

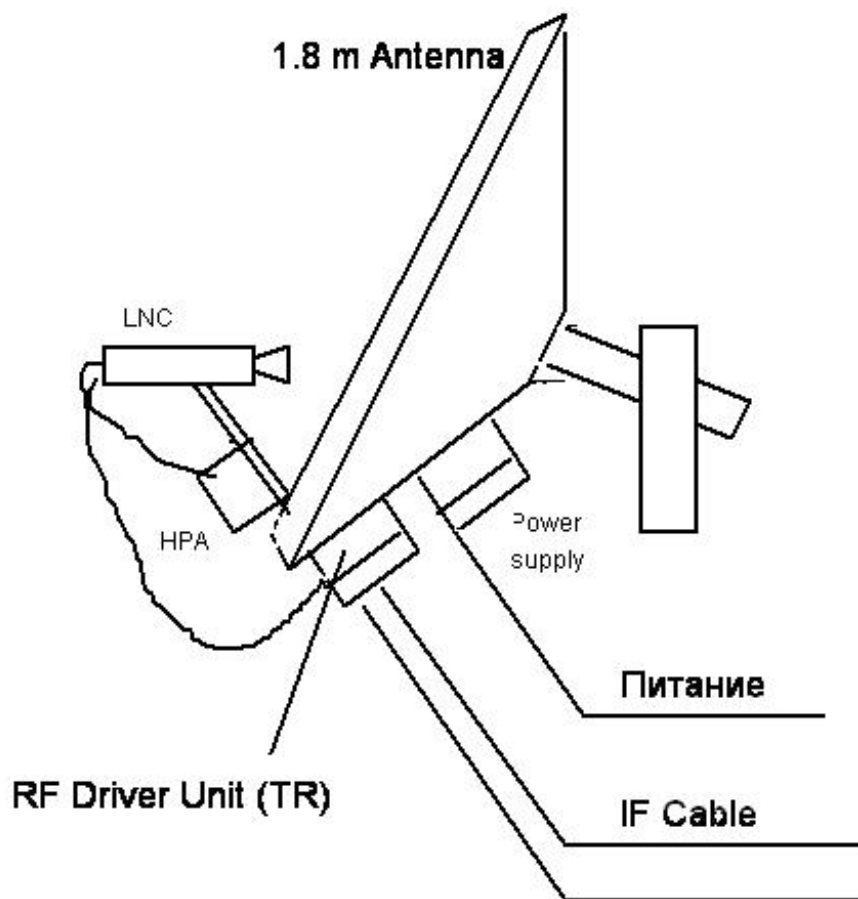
Так как, чем уже занимаемая полоса, тем меньше используется ресурс спутника, то применяется модуляция **QPSK** (**QuadriPhase Shift Keying** – квадратичная манипуляция), которая эффективнее в 1,5 раза модуляции **BPSK** (**Binary Phase Shift Keying** – двоичная манипуляция), т.е. в один и тот же период времени при всех остальных равных условиях с помощью QPSK передается в 1,5 раза больше информации, чем с использованием BPSK.

Для увеличения надежности приема передаваемого сигнала, требуемая по стандарту SSOG-309 величина ошибок **BER** (**Bit Error Rate** – вероятность ошибки) составляет  $1 \times 10^{-8}$ , применяются различные методы помехозащитного кодирования. Одним из таких методов является метод прямого исправления ошибок Forward Error Correct (**FEC**), при этом методе сообщение делится на некоторые кванты и отдельные кванты передаются повторно.

## 9.2.5. Конструкция и технические характеристики

12

Спутниковая станция типа VSAT по конструктивному признаку состоит из высокочастотного **ODU** (**OutDoor Unit** – внешний модуль) и низкочастотного **IDU** (**InDoor Unit** – внутренний модуль) модуля. ODU, состоящий из антенны и приемопередатчика, размещается вне здания, в котором устанавливается IDU, состоящий из модема и мультиплексора (каналообразующей аппаратуры), как показано на рисунке 9.4.



Стандартный вариант комплектации включает параболическую антенну небольшого диаметра и приемопередатчик. В зависимости от месторасположения спутниковой станции по отношению к центру зоны освещения спутника и скорости передачи в канале используются более мощные передатчики или антенны большего диаметра. В помещении устанавливается модем и мультиплексор.

Рисунок 9.4 Внешний блок (антенна и приемопередатчик)

ODU и IDU соединены между собой радиочастотными Radio Frequency (RF) кабелями. По ним идет сигнал промежуточной частоты Intermedia Frequency (IF).

IF используемая бывает 70 или 140 МГц.

По функциональному назначению VSAT-станция делится на базовый комплект, который обеспечивает передачу самого канала и дополнительное оборудование, которое обеспечивает мультиплексирование этого канала.

### **Внешний блок**

Внешний, или как его иногда называют высокочастотный блок, состоит из антенны и приемопередающего блока, который устанавливается на этой антенне. Приемопередающий блок обеспечивает преобразование низкочастотного сигнала, его усиление и передачу «вверх», а также прием высокочастотного сигнала со спутника его преобразование в низкочастотный и передачу к внутреннему блоку.

### **Антенна**

Однозеркальная антенна обычно выполняется по схеме офсет (со смещенным центром). Схема офсет позволяет снизить уровень боковых лепестков идущих параллельно земли и дающих максимальные помехи. Также данная схема позволяет избежать накопления атмосферных осадков на поверхности рефлектора.

Антенна состоит из:

- рефлектора (зеркала),
- системы облучения,
- опорно-поворотного основания (ОПУ).

## Приемопередающий блок

Основной терминал состоит из:

- СВЧ блока преобразования частот
- усилителя мощности – Solid-State Power Amplifier – твердокристаллический усилитель (SSPA) или Traveling Wave Tube – лампа бегущей волны (TWT),
- малошумящего конвертора – LNC,
- блока электропитания – Power Supply – блок питания (PS)
- соединительных кабелей.

Функция приемопередатчика заключается в преобразовании, после модулятора, сигнала IF, на конверторе вверх, в RF сигнал для передачи через антенну и в преобразовании полученного RF сигнала в сигнал IF, на конверторе вниз, для блока, используемого как демодулятор.

**Внутренний блок** представляет собой 19” стойку с установленными в ней спутниковым модемом и мультиплексором. Иногда в стойке устанавливается и дополнительное оборудование сумматоры, вентиляторы, UPS (Uninterruptable Power Supply – блок бесперебойного питания) и т.п. UPS может устанавливаться и вне стойки, отдельно.

**Спутниковый модем** в части модулятора предназначен для кодирования передаваемого цифрового потока, пришедшего из мультиплексора, модулирования сигнала по IF, необходимого усиления и передачи сигнала на внешний блок. И приема сигнала IF из внешнего блока, усиления его, демодулирование в цифровой сигнал, декодирование и передачу в мультиплексор, в части демодулятора.

**Мультиплексор** предназначен для мультиплексирования голосовой, факсимильной информации и передаваемых данных. Мультиплексор позволяет скомбинировать ежедневные телефонные и факсимильные сообщения с синхронной и асинхронной передачей данных в один канал, передаваемый по локальным сетям, наземным или спутниковым линиям. Это позволяет снизить телекоммуникационные затраты путем увеличения возможностей передачи важной информации и одновременного уменьшения пропускной способности канала.

### **Спутниковый Шлюз**

Для выхода на сети наземных телекоммуникаций используются спутниковые шлюзы (большие станции к которым подключены через спутник VSAT-станции).

Шлюз может обеспечивать:

- выход на телефонные сети;
- услуги междугородной связи с выходом на сеть общего пользования;
- услуги международной телефонной связи;
- выход на специальные телефонные сети, например «Искра-2»;
- выход на сети передачи данных (POCHET, INTERNET, RELCOM и др.);
- возможность аренды наземного канала до любой точки в г. Москве.

В последнее время в большинстве современных и проектируемых системах находит применение стандарт ISDN. Существуют глобальные сети, в которых этот стандарт взят за основу, например EuroISDN. ISDN в глобальных сетях применяется и в России.

Шлюз позволяет обеспечить высокоскоростной выход на INTERNET, до 2 Мбит/сек. В данном варианте возможно получить доступ ко всем услугам INTERNET (WWW, TelNet, E-mail, FTP и др.).

## 9.3. Радиосигналы в спутниковых системах связи

Основой любой системы радиосвязи является аппаратура формирования радиосигналов на передающей стороне и аппаратура, обеспечивающая обработку и выделение информации на приемной стороне. Именно **аппаратура сигналообразования** определяет помехоустойчивость системы и полосу частот, занимаемую радиосигналами, что, в конечном итоге, является определяющими параметрами для оценки экономической эффективности системы.

В общем случае под **аппаратурой сигналообразования** понимается совокупность технических средств, предназначенных для формирования и обработки сигналов, используемых для передачи информации в цифровых системах.

В спутниковой связи эти операции обычно выполняет **модем** радиосигналов, который помимо традиционных функций модуляции и демодуляции выполняет роль кодера и декодера, локального мультиплексора, перемежителя символов, скремблера и т.д.

Таким образом, современные спутниковые модемы обеспечивают выполнение всех функций по преобразованию информационных и служебных последовательностей символов в радиосигналы промежуточной частоты на передаче и обратное преобразование на приемной стороне.



В соответствии с теорией потенциальной помехоустойчивости наилучшие показатели достоверности приема двоичной информации без избыточности обеспечиваются в случае использования противоположных сигналов и их когерентной обработки на приеме.

Данному требованию удовлетворяют некоторые типы **фазоманипулированных** сигналов.

Наиболее широкое распространение получили фазоманипулированные радиосигналы:

- двухфазная фазовая манипуляция (ФМ-2);
- четырефазная фазовая манипуляция (ФМ-4);
- офсетная ФМ-4;
- манипуляция с минимальным сдвигом частоты (ММС);
- восьмифазная фазовая манипуляция (ФМ-8);
- 16-позиционная квадратурная амплитудная манипуляция (КАМ-16).

В спутниковых системах связи, как правило, используются **сверточные** (рассмотреть самостоятельно) коды с кодовым ограничением 7 и скоростями кодирования  $r = 1/2$  и  $3/4$ , а в ряде случаев  $7/8$  для сигналов с ФМ-2, ФМ-4 и КАМ-16.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

# «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



## ТЕЛЕКОНТРОЛЬ И ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ

### ЛЕКЦИЯ №10

### «Оптические каналы связи»

Лектор:  
доцент каф. ЭАФУ ФТИ  
Горюнов А.Г.

Томск 2012 г.

# План лекции

- ☐ Особенности оптических систем связи
- ☐ Оптическое волокно
- ☐ Волоконно-оптический кабель
- ☐ Оптические соединители
- ☐ Электронные компоненты систем оптической связи
- ☐ Применение волоконно-оптических линий связи

# 10.1. Особенности оптических систем связи

**Волоконно-оптические линии связи** — это вид связи, при котором информация передается по оптическим диэлектрическим волноводам, известным под названием «оптическое волокно».

Оптическое волокно в настоящее время считается самой совершенной физической средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Основания так считать вытекают из ряда особенностей, присущих оптическим волноводам.

## 10.1.1. Физические особенности

1. Широкополосность оптических сигналов, обусловленная чрезвычайно высокой частотой несущей ( $F_0 = 10^{14}$  Гц).
2. Очень малое (по сравнению с другими средами) затухание светового сигнала в волокне. Лучшие образцы российского волокна имеют затухание 0,22 дБ/км на длине волны 1,55 мкм, что позволяет строить линии связи длиной до 100 км без регенерации сигналов.

1. Волокно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому недорогого материала, в отличие от меди.
2. Оптические волокна имеют диаметр около 100 мкм, то есть очень компактны и легки, что делает их перспективными для использования в авиации, приборостроении, в кабельной технике.
3. Стекланные волокна – не металл, при строительстве систем связи автоматически достигается гальваническая развязка сегментов.
4. Системы связи на основе оптических волокон устойчивы к электромагнитным помехам, а передаваемая по световодам информация защищена от несанкционированного доступа.
5. Важное свойство оптического волокна – долговечность. Время жизни волокна, то есть сохранение им своих свойств в определенных пределах, превышает 25 лет, что позволяет проложить оптико-волоконный кабель один раз и, по мере необходимости, наращивать пропускную способность канала путем замены приемников и передатчиков на более быстродействующие.

### **Есть в волоконной технологии и свои недостатки:**

1. При создании линии связи требуются высоконадежные активные элементы, преобразующие электрические сигналы в свет и свет в электрические сигналы. Необходимы также оптические коннекторы (соединители) с малыми оптическими потерями и большим ресурсом на подключение-отключение. Точность изготовления таких элементов линии связи должна соответствовать длине волны излучения, то есть погрешности должны быть порядка доли микрона. Поэтому производство таких компонентов оптических линий связи дорогостоящее.
2. Другой недостаток заключается в том, что для монтажа оптических волокон требуется прецизионное, а потому достаточно дорогое, технологическое оборудование.
3. Как следствие, при аварии (обрыве) оптического кабеля затраты на восстановление выше, чем при работе с медными кабелями.

**Преимущества** от применения волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) настолько значительны, что, несмотря на перечисленные недостатки оптического волокна, эти линии связи все шире используются для передачи информации.

## 10.2. Оптическое волокно

Важнейший из компонентов ВОЛС – **оптическое волокно** (ОВ). Для передачи сигналов применяются два вида волокна: **одномодовое** и **многомодовое**.

Свое название волокна получили от способа распространения излучения в них. Волокно состоит из сердцевины и оболочки с разными показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$  (см. рисунок 10.1).

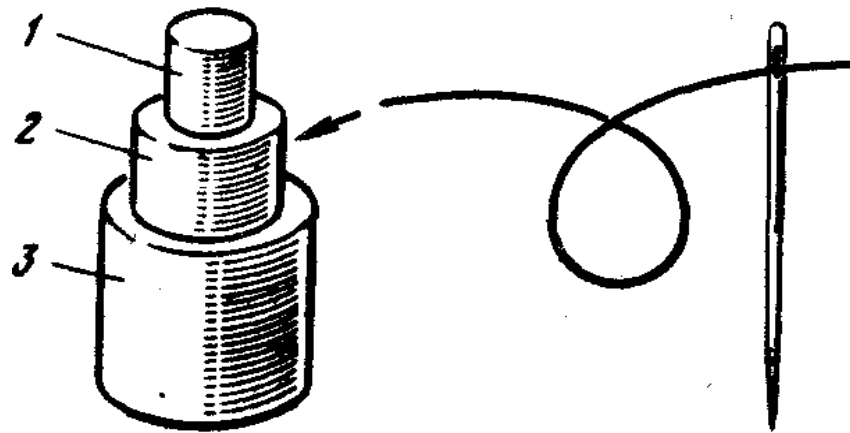
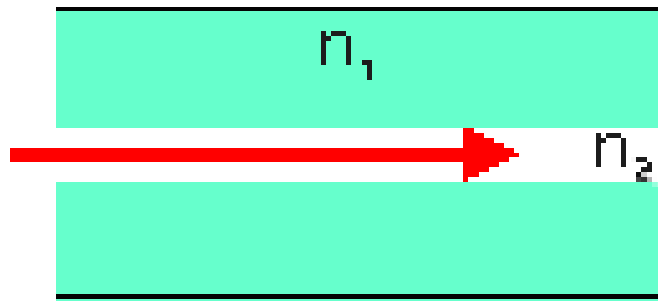


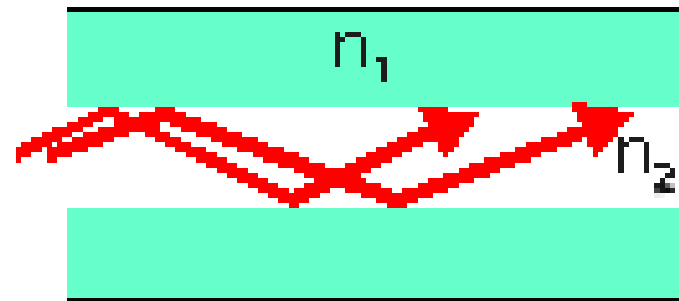
Рисунок 10.1 Сечение оптического волокна:  
1 – сердцевина; 2 — оболочка; 3 — защитное покрытие.

В **одномодовом** (см. рисунок 10.2а) волокне диаметр световодной жилы порядка 8-10 мкм, то есть сравним с длиной световой волны. При такой геометрии в волокне может распространяться только один луч (одна мода).

В **многомодовом** (см. рисунок 10.2б) волокне размер световодной жилы порядка 50-60 мкм, что делает возможным распространение большого числа лучей (много мод).



а)



б)

Рисунок 10.2 Типы световодов:

а – одномодовые; б – многомодовые.



Оба типа волокна характеризуются двумя важнейшими параметрами: **затуханием** и **дисперсией**.

**Затухание** обычно измеряется в дБ/км и определяется потерями на поглощение и на рассеяние излучения в оптическом волокне (см. рисунок 10.3). Потери на поглощение зависят от чистоты материала, потери на рассеяние зависят от неоднородностей показателя преломления материала.

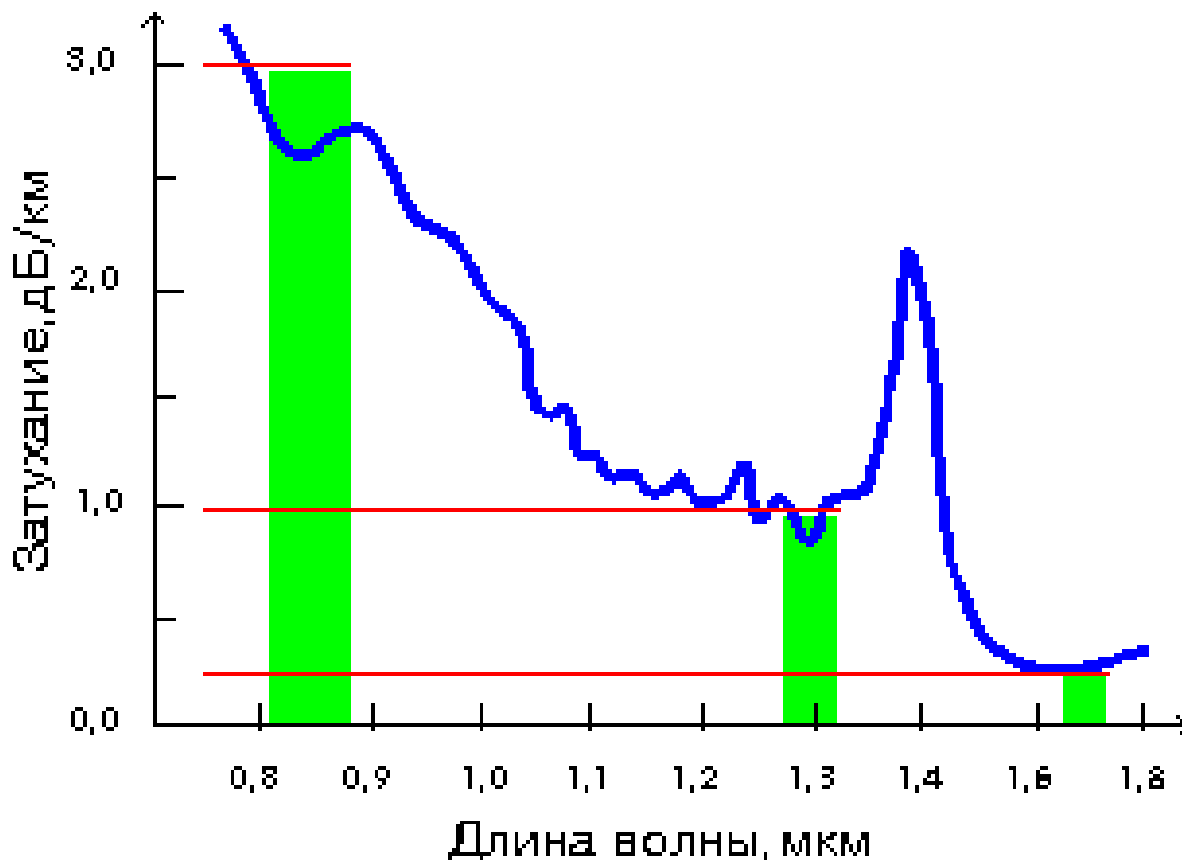


Рисунок 10.3 Зависимость затухания от длины волны

Другой важнейший параметр оптического волокна – дисперсия.

**Дисперсия** – это рассеяние во времени спектральных и модовых составляющих оптического сигнала. Существуют три типа дисперсии: модовая, материальная и волноводная:

- **модовая дисперсия** присуща многомодовому волокну и обусловлена наличием большого числа мод, время распространения которых различно;
- **материальная дисперсия** обусловлена зависимостью показателя преломления от длины волны;
- **волноводная дисперсия** обусловлена процессами внутри моды и характеризуется зависимостью скорости распространения моды от длины волны.

Затухание и дисперсия у разных типов оптических волокон различны. Одномодовые волокна обладают лучшими характеристиками по затуханию и по полосе пропускания, так как в них распространяется только один луч. Однако, одномодовые источники излучения в несколько раз дороже многомодовых. В одномодовое волокно труднее ввести излучение из-за малых размеров световодной жилы, по этой же причине одномодовые волокна сложно сращивать с малыми потерями. Оконцевание одномодовых кабелей оптическими разъемами также обходится дороже.

Многомодовые волокна более удобны при монтаже, так как в них размер световодной жилы в несколько раз больше, чем в одномодовых волокнах. Многомодовый кабель проще оконцевать оптическими разъемами с малыми потерями (до 0,3 dB) в стыке. На многомодовое волокно рассчитаны излучатели на длину волны 0,85 мкм – самые доступные и дешевые излучатели, выпускаемые в очень широком ассортименте. Но затухание на этой длине волны у многомодовых волокон находится в пределах 3-4 dB/км и не может быть существенно улучшено. Полоса пропускания у многомодовых волокон достигает 800 МГц · км, что приемлемо для локальных сетей связи, но не достаточно для магистральных линий.

## 10.3. Волоконно-оптический кабель

27

Вторым важнейшим компонентом, определяющим надежность и долговечность ВОЛС, является **волоконно-оптический кабель** (ВОК).

На сегодня в мире несколько десятков фирм, производящих оптические кабели различного назначения. Наиболее известные из них: AT&T, General Cable Company (США); Siescor (ФРГ); BICC Cable (Великобритания); Les cables de Lion (Франция); Nokia (Финляндия); NTT, Sumitomo (Япония), Pirelli(Италия), Samsung (Корея).

### 10.3.1. Классификация оптических кабелей связи

**Оптический кабель** (ОК) состоит из скрученных по определенной системе оптических волокон из кварцевого стекла (световодов), заключенных в общую защитную оболочку. При необходимости кабель может содержать силовые (упрочняющие) и демпфирующие элементы.

Существующие ОК по своему назначению могут быть классифицированы на три группы: **магистральные**, **зоновые** и **городские**. В отдельные группы выделяется **подводные**, **объектовые** и **монтажные** ОК.

**Магистральные ОК** предназначены для передачи информации на большие расстояния и значительное число каналов. Они должны обладать малыми затуханием и дисперсией и большой информационно-пропускной способностью. Используется одномодовое волокно с размерами сердцевины / оболочки 8/125 мкм. Длина волны 1,3...1,55 мкм.

**Зоновые ОК** служат для организации многоканальной связи между областным центром и районами с дальностью связи до 250 км. Используются градиентные волокна с размерами 50/125 мкм. Длина волны 1,3 мкм.

**Городские ОК** применяются в качестве соединительных между городскими АТС и узлами связи. Они рассчитаны на короткие расстояния (до 10 км) и большое число каналов. Волокна-градиентные (50/125 мкм). Длина волны 0,85 и 1,3 мкм. Эти линии, как правило, работают без промежуточных линейных регенераторов.

**Подводные ОК** предназначены для осуществления связи через большие водные преграды. Они должны обладать высокой механической прочностью на разрыв и иметь надежные влагостойкие покрытия. Для подводной связи также важно иметь малое затухание и большие длины регенерационных участков.

**Объектовые ОК** служат для передачи информации внутри объекта. Сюда относятся учрежденческая и видеотелефонная связь, внутренняя сеть кабельного телевидения, а также бортовые информационные системы подвижных объектов (самолет, корабль и др.).

**Монтажные ОК** используются для внутри- и межблочного монтажа аппаратуры. Они выполняются в виде жгутов или плоских лент.

Конструкции ОК в основном определяются назначением и областью их применения. В связи с этим имеется много конструктивных вариантов. В настоящее время в различных странах разрабатывается и изготавливается большое число типов кабелей.

Однако все многообразие существующих типов кабелей можно подразделять на три группы (см. рисунок 10.4):

- кабели повивной концентрической скрутки;
- кабели с фигурным сердечником;
- плоские кабели ленточного типа.

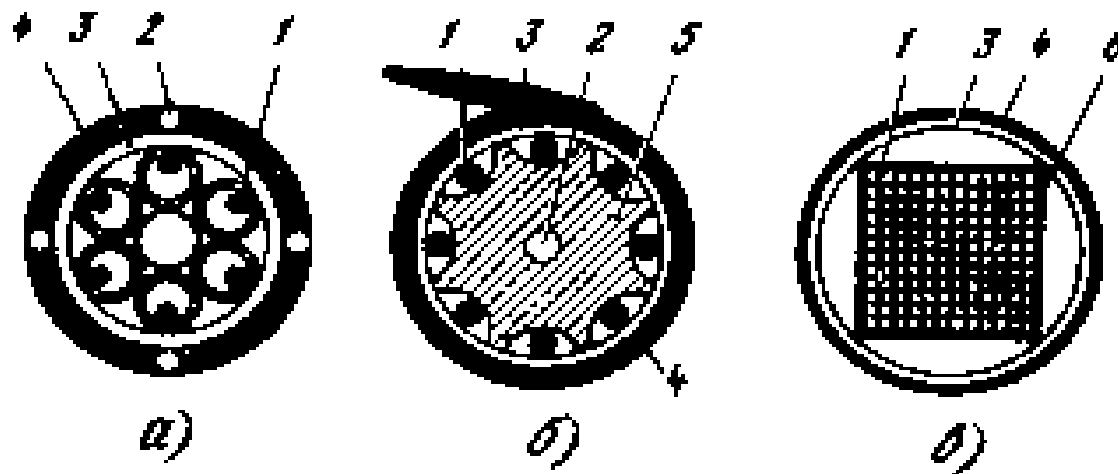


Рисунок 10.4 Типовые конструкции оптических кабелей:

а — повивная концентрическая скрутка; б — скрутка вокруг профилированного сердечника; в — плоская конструкция; 1 — волокно; 2 — силовой элемент; 3 — демпфирующая оболочка; 4 — защитная оболочка; 5 — профилированный сердечник; 6 — ленты с волокнами.

## 10.4. Электронные компоненты систем оптической связи

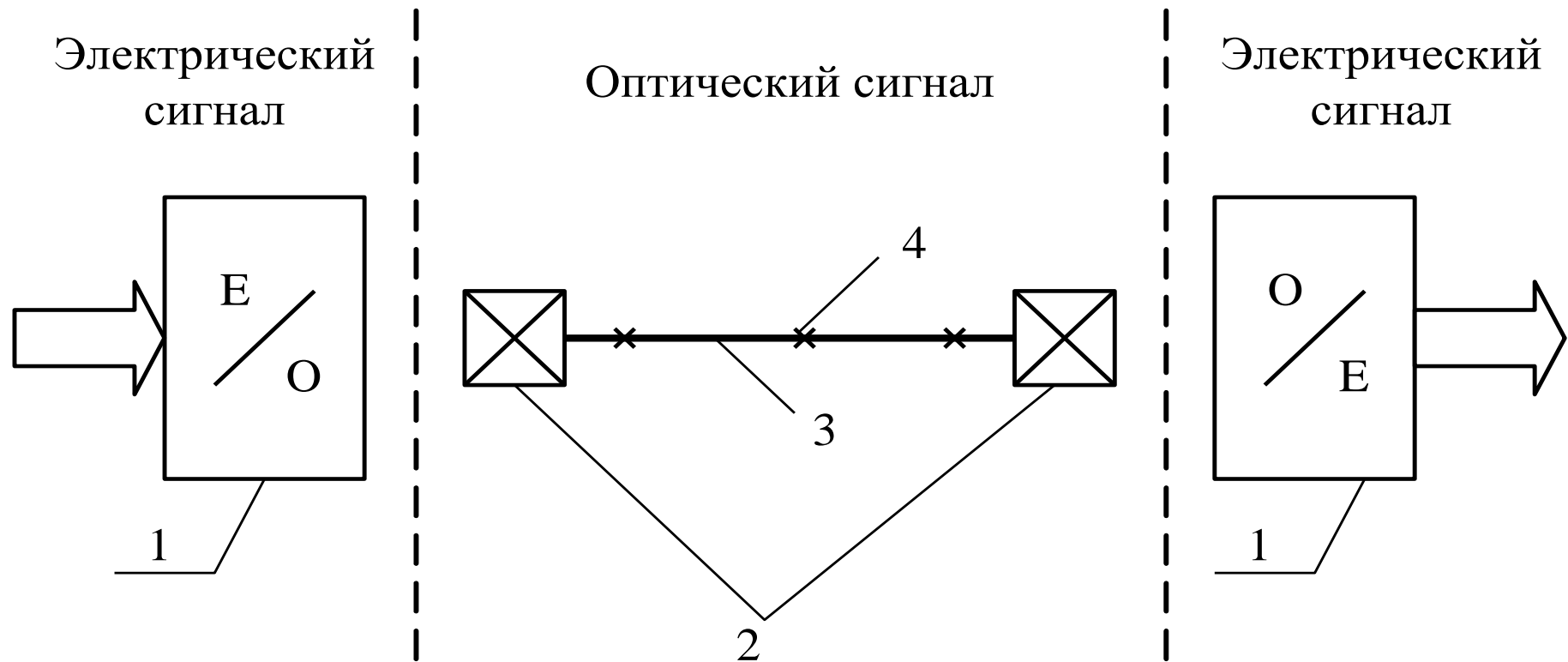


Рисунок 10.6 Структурная схема оптического канала связи:

1 – трансивер; 2 – оптический соединитель; 3 – оптический кабель; 4 – места сварки.