**СЕМИНАР №1**

Изучение методов построения современных волоконно-оптических

систем передачь СВОСП

**Особенности построения волоконно-оптических систем передач**

Категория: Основы построения телекоммуникационных систем и сетей

[11.1. Основные положения](https://siblec.ru/telekommunikatsii/osnovy-postroeniya-telekommunikatsionnykh-sistem-i-setej/11-osobennosti-postroeniya-volokonno-opticheskikh-sistem-peredach#11.1)

[11.2. Линейные коды ВОСП на ГТС](https://siblec.ru/telekommunikatsii/osnovy-postroeniya-telekommunikatsionnykh-sistem-i-setej/11-osobennosti-postroeniya-volokonno-opticheskikh-sistem-peredach#11.2)

[11.3. Источники оптического излучения, фотоприёмники ВОСП](https://siblec.ru/telekommunikatsii/osnovy-postroeniya-telekommunikatsionnykh-sistem-i-setej/11-osobennosti-postroeniya-volokonno-opticheskikh-sistem-peredach#11.3)

[11.4. Передающие и приёмные устройства ВОСП](https://siblec.ru/telekommunikatsii/osnovy-postroeniya-telekommunikatsionnykh-sistem-i-setej/11-osobennosti-postroeniya-volokonno-opticheskikh-sistem-peredach#11.4)

**11.1. Основные положения**

Внедрение ВОСП на местных сетях началось в 1986 году вводом в эксплуатацию на ГТС вторичной цифровой волоконно-оптической системы передачи на базе аппаратуры "Соната-2". С её использованием во многих городах сооружены линии связи. Аппаратура "Соната-2" сопрягается со стандартным канало- и группо-образующим оборудованием типов ИКМ-30 и ИКМ-120. В 1990 году начат промышленный выпуск оборудования вторичной цифровой системы передачи (ЦСП) для городских сетей ИКМ-120-5, предназначенной для передачи по градиентному оптическому кабелю (ОК) линейного тракта, работающего на длинах волн 0,85 или 1,3 мкм. Разработана ВОСП "Сопка-Г", предназначенная для организации оптического линейного тракта со скоростью передачи 34,368 Мбит/с по одномодовому и градиентному оптическому кабелю, с рабочей длиной волны 1,3 мкм. Аппаратура "Сопка-Г" выполнена в конструкции ИКМ-30-4, ИКМ-120-5 и аналогична им по системе технического обслуживания, то есть является продолжением единого семейства ЦСП для городской сети [9].

Таким образом, на ГТС ВОСП используются для уплотнения соединительных линий, для которых характерна небольшая длина, что позволяет отказаться от оборудования регенераторов в колодцах телефонной канализации. Волоконно-оптические системы передачи ГТС строятся на базе стандартного каналообразующего оборудования ИКМ, что позволяет легко модернизировать существующие соединительные линии для работы по оптическому кабелю.

Выбор элементной базы при реализации ВОСП и параметры её линейного тракта зависят от скорости передачи символов цифрового сигнала. МККТТ установлены правила объединения цифровых сигналов и определена иерархия аппаратуры временного объединения цифровых сигналов электросвязи (смотри раздел 5).

Аппаратура, в которой выполняется объединение этих сигналов, называется аппаратурой временного объединения цифровых сигналов. На выходе этой аппаратуры цифровой сигнал скремблируется скремблером, то есть преобразуется по структуре без изменения скорости передачи символов для того, чтобы приблизить его свойства к свойствам случайного сигнала (рисунок 11.1). Это позволяет достигнуть устойчивой работы линии связи вне зависимости от статистических свойств источника информации. Скремблированный сигнал может подаваться на вход любой цифровой системы передачи, что осуществляется при помощи аппаратуры электрического стыка.

Рисунок 11.1. Структурная схема волоконно-оптической системы передачи

Для каждой иерархической скорости МККТТ рекомендует свои коды стыка, например для вторичной – код HDB-3, для четверичной – код CMI и так далее. Операцию преобразования бинарного сигнала, поступающего от аппаратуры временного объединения в код стыка, выполняет преобразователь кода стыка. Код стыка может отличаться от кода принятого в оптическом линейном тракте. Операцию преобразования кода стыка в код цифровой ВОСП выполняет преобразователь кода линейного тракта, на выходе которого получается цифровой электрический сигнал, модулирующий ток излучателя передающего оптического модуля. Таким образом, волоконно-оптические системы передачи строятся на базе стандартных систем ИКМ заменой аппаратуры электрического линейного тракта на аппаратуру оптического линейного тракта [10].

**11.2. Линейные коды ВОСП на ГТС**

Оптическое волокно, как среда передачи, а также оптоэлектронные компоненты фотоприёмника и оптического передатчика накладывают ограничивающие требования на свойства цифрового сигнала, поступающего в линейный тракт. Поэтому между оборудованием стыка и линейным трактом ВОСП помещают преобразователь кода. Выбор кода оптической системы передачи сложная и важная задача. На выбор кода влияет, во- первых, нелинейность модуляционной характеристики и температурная зависимость излучаемой оптической мощности лазера, которые приводят к необходимости использования двухуровневых кодов.

Во-вторых, вид энергетического спектра, который должен иметь минимальное содержание низкочастотных (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) компонент. Энергетический спектр содержит непрерывную и дискретную части. Непрерывная часть энергетического спектра цифрового сигнала зависит от информационного сигнала и типа кода. Для того чтобы цифровой сигнал не искажался в усилителе переменного тока фотоприёмника желательно иметь низкочастотную составляющую непрерывной части энергетического спектра подавленной, в противном случае для реализации оптимального приёма перед решающим устройством регенератора требуется введение дополнительного устройства, предназначенного для восстановления НЧ составляющей, что усложняет оборудование линейного тракта. Существует ещё одна причина для уменьшения низкочастотной составляющей сигнала. Дело в том, что оптическая мощность, излучаемая полупроводниковым лазером, зависит от окружающей температуры и может быть легко стабилизирована посредством отрицательной обратной связи (ООС) по среднему значению излучаемой мощности только в том случае, когда отсутствует НЧ часть спектра, изменяющаяся во времени. Иначе в цепь ООС придется вводить специальные устройства, компенсирующие эти изменения.

В-третьих, для выбора кода существенным фактором является высокое содержание информации о тактовом синхросигнале в линейном сигнале. В приёмнике эта информация используется для восстановления фазы и частоты хронирующего колебания, необходимого для управления принятием решения в пороговом устройстве. Осуществить синхронизацию тем проще, чем больше число переходов уровня в цифровом сигнале, то есть чем больше переходов вида 0-1 или 1-0. Лучшим с точки зрения восстановления тактовой частоты и простоты реализации схемы выделения хронирующей информации, является сигнал, имеющий в энергетическом спектре дискретную составляющую на тактовой частоте.

В-четвертых, код не должен накладывать каких-либо ограничений на передаваемое сообщение и должен обеспечивать однозначную передачу любой последовательности нулей и единиц.

В-пятых, код должен обеспечивать возможность обнаружения и исправления ошибок. Основной величиной, характеризующей качество связи, является частость появления ошибок или коэффициент ошибок, определяемый отношением среднего количества неправильно принятых посылок к их общему числу. Контроль качества связи необходимо производить, не прерывая работу линии. Это требование предполагает использование кода, обладающего избыточностью, тогда достаточно фиксировать нарушение правил формирования кода, чтобы контролировать качество связи.

Кроме вышеперечисленных требований на выбор кода оказывает влияние простота реализации, низкое потребление энергии и малая стоимость оборудования линейного тракта [8].

В современных оптоволоконных системах связи для городской телефонной сети ИКМ-120-4/5 и ИКМ-480-5 для передачи в качестве линейного кода используется код CMI, который позволяет выделять последовательность тактовых импульсов, контролировать величину ошибки. Число одноименных следующих друг за другом символов не превышает двух – трех, что положительно сказывается на устойчивости работы ВОСП.

Особенностью данного кода является сочетание простоты кодирования и возможности выделения тактовой частоты заданной фазы с помощью узкополосного фильтра. Код строится на основе кода HDB-3 (принцип построения представлен на рисунке 11.2). Здесь символ +1 преобразуется в кодовое слово 11, символ –1 –в кодовое слово 00, символ 0 -в 01. Из рисунка 11.2 видно, что для CMI характерно значительное число переходов, что свидетельствует о возможности выделения последовательности тактовых импульсов. Текущие цифровые суммы кодов имеют ограниченное значение. Это позволяет контролировать величину ошибки достаточно простыми средствами [15]. Число одноименных следующих друг за другом символов не превышает двух – трех. Избыточность кода CMI можно использовать для передачи служебных сигналов. Применяя для этой цели запрещенный в обычном режиме блок 10, а также нарушение чередований 11 и 00.



Рисунок 11.2. Принцип построения кода CMI из HDB-3

**11.3. Источники оптического излучения, фотоприёмники ВОСП**

Источники света волоконно-оптических систем передачи должны обладать большой выходной мощностью, допускать возможность разнообразных типов модуляции света, иметь малые габариты и стоимость, большой срок службы, КПД и обеспечить возможность ввода излучения в оптическое волокно с максимальной эффективностью. Для ВОСП потенциально пригодны твердотельные лазеры, в которых активным материалом служит иттрий-алюминиевый гранат, активированный ионами ниодима с оптической накачкой (например, СИД – светоизлучающий диод), у которого основной лазерный переход сопровождается излучением с длиной волны 1,064 мкм. Узкая диаграмма направленности и способность работать в одномодовом режиме с низким уровнем шума являются плюсами данного типа источников. Однако большие габариты, малый КПД, потребность во внешнем устройстве накачки являются основными причинами, по которым этот источник не используется в современных ВОСП. Практически во всех волоконно-оптических системах передачи, рассчитанных на широкое применение, в качестве источников излучения сейчас используются полупроводниковые светоизлучающие диоды и лазеры. Для них характерны в первую очередь малые габариты, что позволяет выполнять передающие оптические модули в интегральном исполнении. Кроме того, для полупроводниковых источников света характерны невысокая стоимость и простота обеспечения модуляции [10].

Первое поколение передатчиков сигналов по оптическому волокну было внедрено в 1975 году. Основу передатчика составлял светоизлучающий диод, работающий на длине волны 0.85 мкм в многомодовом режиме. В течение последующих трех лет появилось второе поколение – одномодовые передатчики, работающие на длине волны 1.3 мкм. В 1982 году родилось третье поколение передатчиков – диодные лазеры, работающие на длине волны 1.55 мкм. Исследования продолжались, и вот появилось четвертое поколение оптических передатчиков, давшее начало когерентным системам связи – то есть системам, в которых информация передается модуляцией частоты или фазы излучения. Такие системы связи обеспечивают большую дальность распространения сигналов по оптическому волокну. Специалисты фирмы NTT построили безрегенераторную когерентную ВОЛС STM-16 на скорость передачи 2.48832 Гбит/с протяженностью в 300 км, а в лабораториях NTT в начале 1990 года ученые впервые создали систему связи с применением оптических усилителей на скорость 2.5 Гбит/с на расстояние 2223 км.

**Детекторы ВОСП**. Функция детектора волоконно-оптических систем передачи сводится к преобразованию входного оптического сигнала, который затем, как правило, подвергается усилению и обработке схемами фотоприемника. Предназначенный для этой цели фотодетектор (ФД) должен воспроизводить форму принимаемого оптического сигнала, не внося дополнительного шума, то есть обладать требуемой широкополосностью, динамическим диапазоном и чувствительностью. Кроме того, ФД должен иметь малые размеры (но достаточные для надежного соединения с оптическим волокном), большой срок службы и быть не чувствительным к изменениям параметров внешней среды. Существующие фотодетекторы далеко не полно удовлетворяют перечисленным требованиям. Наиболее подходящими среди них для применения в волоконно-оптических системах передачи являются полупроводниковые p-i-n фотодиоды и лавинные фотодиоды (ЛФД) [10]. Они имеют малые размеры и достаточно хорошо стыкуются с волоконными световодами. Достоинством ЛФД является высокая чувствительность (может в 100 раз превышать чувствительность p-i-n фотодиода), что позволяет использовать их в детекторах слабых оптических сигналов. Однако, при использовании лавинных фотодиодов нужна жесткая стабилизация напряжения источника питания и температурная стабилизация, поскольку коэффициент лавинного умножения, а следовательно фототок и чувствительность ЛФД, сильно зависит от напряжения и температуры.

Тем не менее, лавинные фотодиоды успешно применяются в ряде современных ВОСП, таких как ИКМ-120/5, ИКМ-480/5, "Соната".

**Оптические кабели ВОСП**. Оптический кабель (ОК) предназначен для передачи информации, содержащейся в модулированных электромагнитных колебаниях оптического диапазона. В настоящее время используется диапазон длин волн от 0.8 до 1.6 мкм, соответствующий ближним инфракрасным волнам. В будущем возможно расширение рабочего диапазона в область дальних инфракрасных волн с длинами волн от 5 до 10 мкм. Оптический кабель содержит один или несколько световодов. Световод – это направляющая система для электромагнитных волн оптического диапазона. Практическое значение имеют только волоконные световоды, изготовленные из высоко прозрачного диэлектрика: стекла или полимера. Для концентрации поля волны вблизи оси световода используется явление преломления и полного отражения в волокне с показателем преломления, уменьшающимся от оси к периферии плавно либо скачками. Световод состоит из оптического волокна и покрытия. Оптическое волокно (ОВ) из стекла изготавливается обычно с внешним диаметром 100 – 150 мкм.

Передача света по любому световоду может осуществляться в двух режимах: одномодовом и многомодовом. Одномодовым называется такой режим, при котором распространяется только одна основная мода.

Фазовая и групповая скорости каждой моды в световоде зависят от частоты, то есть световод является дисперсной системой. Вызванная этим волноводная дисперсия является одной из причин искажения передаваемого сигнала. Различие групповых скоростей различных мод в многомодовом режиме называется модовой дисперсией. Она является весьма существенной причиной искажения сигнала, поскольку он переносится по частям многими модами. В одномодовом режиме отсутствует модовая дисперсия, и сигнал искажается значительно меньше, чем в многомодовом, однако в многомодовый световод можно ввести большую мощность [9].

Оптические волокна имеют 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. В оптических лабораториях США разрабатываются еще более "прозрачные", так называемые фтороцирконатные волокна с теоретическим пределом порядка 0.02 дБ/км на длине волны 2.5 мкм. Лабораторные исследования показали, что на основе таких волокон могут быть созданы линии связи с регенерационными участками через 4600 км при скорости передачи порядка 1 Гбит/с.

На сегодняшний день для городской телефонной сети отечественной промышленностью выпускаются кабели марки ОК имеющие четыре и восемь волокон.

**Недостатки волоконно-оптической технологии:**

1. Необходимы 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 очень дорогостоящее.

2. Для монтажа оптических волокон требуется дорогое технологическое оборудование.

3. Как следствие, при аварии (обрыве) оптического кабеля затраты на восстановление выше, чем при работе с медными кабелями

Тем не менее, 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. В ближайшие годы потребность в увеличении числа каналов будет расти. Наиболее доступным способом увеличения пропускной способности ВОСП в два раза является передача по одному оптическому волокну двух сигналов в противоположных направлениях. Сегодня на городских сетях связи находят применение одноволоконные ВОСП с оптическими разветвителями и со спектральным уплотнением.

**11.4. Передающие и приёмные устройства ВОСП**

На рисунке 11.3 представлена структурная схема **оптического передатчика** (ОП) с прямой модуляцией несущей. Преобразователь кода ПК преобразует стыковой код, в код, используемый в линии, после чего сигнал поступает на модулятор. Схема оптического модулятора исполняется в виде передающего оптического модуля (ПОМ), который помимо модулятора содержит схемы стабилизации мощности и частоты излучения полупроводникового лазера или светоизлучающего диода. Здесь модулирующий сигнал через дифференциальный усилитель УС-1 поступает в прямой модулятор с излучателем (МОД). Модулированный оптический сигнал излучается в основное волокно ОВ-1. Для контроля мощности излучаемого оптического сигнала используется фотодиод (ФД), на который через вспомогательное волокно ОВ-2 подается часть излучаемого оптического сигнала. Напряжение на выходе фотодиода, отображающее все изменения оптической мощности излучателя, усиливается усилителем УС-2 и подается на инвертирующий вход усилителя УС-1. Таким образом, создается петля отрицательной обратной связи, охватывающая излучатель. Благодаря введению ООС обеспечивается стабилизация рабочей точки излучателя. Для уменьшения температурной зависимости порогового тока в передающем оптическом модуле имеется схема термокомпенсации (СТК), поддерживающая внутри ПОМ постоянную температуру с заданным отклонением от номинального значения. Современные микрохолодильники позволяют получать отклонения не более тысячных долей градуса [9].

Рисунок 11.3. Структурная схема оптического передатчика

**Оптический приемник**.

Структурная схема оптического приемника (ОПр) показана на рисунке 11.4. Приемник содержит фотодетектор (ФД) для преобразования оптического сигнала в электрический. Малошумящий усилитель (УС) для усиления полученного электрического сигнала до номинального уровня. Усиленный сигнал через фильтр (Ф), формирующий частотную характеристику приемника, обеспечивающую квазиоптимальный прием, поступает в устройство линейной коррекции (ЛК). В ЛК компенсируются частотные искажения электрической цепи на стыке фотодиода и первого транзистора усилителя. После преобразований сигнал поступает на вход решающего устройства (РУ), где под действием тактовых импульсов, поступающих от устройства выделения тактовой частоты (ВТЧ), принимается решение о принятом символе. На выходе оптического приёмника имеется преобразователь кода (ПК), преобразующий код линейный в стыковой код [9].

Рисунок 11.4. Структурная схема оптического приёмника

**Контрольные вопросы**

1. Для чего между оборудованием стыка и линейным трактом ВОСП помещают преобразователь кода?
2. Что влияет на выбор кода оптической системы передачи?
3. Для чего в приёмнике нужна информация о тактовом синхросигнале?
4. Принцип построения кода CMI?
5. Какие типы источников излучения используются в ВОСП?
6. Назовите основные требования, предъявляемые к фотодетектору.
7. Перечислите достоинства лавинных фотодиодов.
8. От чего зависит тип модового режима?
9. В каком режиме передаваемый сигнал искажается меньше и почему?
10. Для чего в оптическом передатчике вводится отрицательная обратная связь?
11. Поясните принцип работы оптического приёмника.

**Список литературы**

1. Телекоммуникационные системы и сети: Учебник / Под ред. В.П. Шувалова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – Т.1 – 647 с.

2. Телекоммуникационные системы и сети: Учебник /Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н. Попантонопуло; Под ред. В.П. Шувалова. – Н.: ЦЭРИС, 2000. – Т.2. – 623 с.

3. Уайндер С. Справочник по технологиям и средствам связи // Пер. с англ. О.М. Сувина, Н.И. Баяндина. – М,: Мир, 2000. – 429 с.

4. Прокис Дж. Цифровая связь; Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

5. Многоканальные системы передачи: Учебник для студентов ВУЗов связи / Под ред. Н.Н.Баевой, В.Н. Гордиенко. – М.: Радио и связь, 1997. – 560 с.

6. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для студентов ВУЗов / Под ред. В.И.Иванова. – М.: Радио и связь, 1995. – 232 с.

7. Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения. М.: Эко-тренз, 2001. – 282 с.

8. Макаров А.А., Чернецкий Г.А. Корректирующие коды в системах передачи информации: Учебное пособие / СибГУТИ. – Новосибирск, 2000. – 101 с.

9. Фокин В.Г. Оптические системы передачи: Методические указания. – Н.: СибГУТИ, 2001. – 38 с.

10. Заславский К.Е. Волоконно-оптические системы передачи: Методические указания. –Н.: СибГУТИ, 2002. – 136 с.

11. Фокин В.Г. Аппаратура и сети доступа: Методические указания по курсу Т2203 – Н.: СибГУТИ, 1999. – 114 с.

12. Фокин В.Г. Основные принципы АТМ: Методические указания по курсу Т2204. – Н.: СибГУТИ, 1999.

13. Битнер В.И. Принципы коммутации и доставки информации в Ш-ЦСИС: Учебное пособие. – Н.: СибГУТИ, 2001. – 91 с.

14. Введение в технологию АТМ / М. Буассо, М. Деманж, Ж.-М. Мюнье; Пер с англ. В.Н. Стародобцева; Под ред. В.О. Шварцмана. – М.: Радио и связь, 1997. – 128 с.

15. Битнер В.И. Управление сетью электросвязи: Учебное пособие / СибГУТИ. – 2001. – 78 с.

16. Ю.П. Быков, Н.И. Голоборщев, Т.И. Ромашова. Теория телетрафика: Учебное пособие. – Н.: СибГУТИ, 2002. – 49 с.

17. Корнышев Ю.Н. Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика: Учебник – М,: Радио и связь, 1996. – 270 с.

18. Фокин В.Г. Управление телекоммуникационными сетями: Учебное пособие. – Н.: СибГУТИ, 2001. – 112 с.

19. Попов Г.Н., Кулеша О.П. Расчёт и измерения качественных показателей транспортной сети: Учебное пособие. – Н.: СибГУТИ, 2002. – 103 с.

20. Концепция развития рынка телекоммуникационных услуг Российской Федерации // СвязьИнформ. – 2001. – № 10. – с. 9 – 32.

21. Фокин В.Г. Аппаратура систем синхронной цифровой иерархии: Методические указания. Межригиональный учебный центр переподготовки специалистов. – 2-е изд., испр. и доп. – Н.: СибГУТИ, 2001. – 60 с.

22. Махровский О.В., Мартин Ю.Н., Охорзин В.М. и др. Построение региональных информационных систем на основе интеллектуальных сетей // Электросвязь. – 1995. – №5.

23. Бакалов В.П., Журавлёва О.Б., Крук Б.И. Анализ линейных электрических цепей: Учебное пособие для дистанционного обучения. – Н.: СибГУТИ, 2001.

24. Ромашова Т.И. Принципы цифровой коммутации: Учебное пособие. Н.: СибГУТИ, 2000. – 31 с

25. Шварцман В.О. Передача данных: функциональные блоки, компоненты, их взаимодействие, интерфейсы // Вест. Связи. – 1996. – № 9.

26. Альтергот А.В., Панфилов Д.И., Шаронин С.Г. Факсимильная связь на базе компьютерной телефонии // Сети. – 1997. – № 1. – С. 58 – 64.

27. Передача дискретных сообщений / В.П. Шувалов, Н.В. Захарченко, В.О. Шварцман и др.; Под ред. В.П. Шувалова. Учеб. Для вузов. – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.

28. Битнер В.И. Общеканальная система сигнализации №7: Метод. указ. по курсу Т2104. – Н.: СибГУТИ – 65 с.