

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

Д.Е. ПРАПОРЩИКОВ

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ВОЛП**

Практическая работа по дисциплине
«Проектирование, строительство и эксплуатация
оптических сетей связи»

Самара
2022

Исходные данные

1. Расстояние между оконечными пунктами: $L = \text{Int}(mn) + 2$, км
2. Число цифровых потоков $E1$: 4^n
3. Коэффициент ошибок $K_{ош} = 10^{-8} \dots 10^{-12}$
4. Рассмотреть варианты прокладки кабеля:
 - в канализацию ($n = 0 \dots 3$)
 - в коллекторах ($n = 4 \dots 6$)
 - на опорах высоковольтных ВЛ ($n = 7 \dots 9$)

Здесь: (n – последняя цифра номера зачетной книжки, m – последняя цифра зачетной книжки)

Цель технических предложений

Цель технических предложений состоит в разработке предложений по проектированию и строительству соединительных линий между оконечными пунктами с использованием волоконно-оптической линии передачи.

При разработке тех. предложений накладывается ограничение - необходимо обеспечить передачу информации между пунктами без использования НРП.

В процессе разработки тех. предложений необходимо решить следующие вопросы:

1. Схемы организации связи.
2. Выбор и обоснование типа волоконно-оптического оборудования, исходя из заданного числа каналов и расстояния между УК.
3. Выбор типа ОВ.
4. Провести расчет длины элементарного кабельного участка для нескольких вариантов схемы (не менее 3-х) и выбрать из них наиболее оптимальный по коэфф. затрат.
5. Выбрать марку оптического кабеля, исходя из условий прокладки и требуемого числа ОВ.
6. Вычертить поперечный разрез выбранной марки ОК.
7. Дать рекомендации по прокладке, монтажу и эксплуатации ВОЛС.

Выбор и обоснование ВОСП

Тип и характеристики ВОСП выбираются в зависимости от требуемого объема передачи информации, который задаётся числом основных цифровых каналов (ОЦК), расстоянием между конечными пунктами и населенными пунктами по трассе магистрали, а также принципами построения сети связи, задачи которой решает данная линия передачи.

Ниже представлены типичные характеристики плезиохронных (табл.1) и синхронных (табл.2) одномодовых ВОСП.

Таблица 1

Параметры плезиохронных одномодовых ВОСП				
ЭКУ	Укороченный		Стандартный	
Длина волны, мкм	1,3	1,55	1,3	1,55
Скорость передачи информации 8,5Мбит/с				
Число ОЦК	120			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	4			
Код оптического стыка	1B2B			
Энергетический потенциал	26	24	42	38
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	0,35/В			
Скорость передачи информации 34,4 Мбит/с				
Число ОЦК	480			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	16			
Код оптического стыка	5B6B			
Энергетический потенциал	26	24	40	36
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	0,35/В			

Таблица 2

Параметры синхронных одномодовых ВОСП				
ЭКУ	Укороченный		Стандартный	
Длина волны, мкм	1,3	1,55	1,3	1,55
STM1				
Число ОЦК	1920			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	63			
Скорость оптического стыка, Мбит/с	155			
Энергетический потенциал	32	30	38	36
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	55000			
STM4				
Число ОЦК	7680			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	252			
Скорость оптического стыка, Мбит/с	622			
Энергетический потенциал	30	28	34	34
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	15000			
STM16				
Число ОЦК	30720			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	1008			
Скорость оптического стыка, Мбит/с	2500			
Энергетический потенциал	28	26	30	32
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	4000			

Классификация и стандартизация WDM систем

Устройства, которые добавляют или устраняют только один канал в линии связи, называют *мультиплексорами ввода/вывода*, или *ADM*, а устройства, обеспечивающие одновременное добавление/устранение более двух каналов – многоканальными *мультиплексорами WDM* и *демультиплексорами*.

В настоящее время принято выделять три типа WDM-мультиплексоров: обычные (WDM), плотные (DWDM), высокоплотные (HDWDM/UD WDM).

- WDM-системы – имеют частотный разнос каналов не менее 200 ГГц, сейчас позволяют мультиплексировать не более 8 каналов;
- DWDM-системы – обеспечивают разнос каналов не менее 100 ГГц и дают возможность мультиплексировать не более 32-40 каналов;
- HDWDM-поддерживают разнос каналов 50 ГГц и менее, в настоящее время позволяют мультиплексировать не менее 40 каналов.

Промышленные WDM системы. Сейчас еще применяются WDM системы первого поколения, мультиплексирующие два канала с несущими 1310 нм и 1550 нм. Эксплуатируются и достаточное количество четырех- и восьмиканальных систем, например T31-BDX фирмы Pirelli и WL8 компании Siemens, которые условно можно отнести к системам второго поколения (кроме четырехканальной системы компании Siemens). Бурное развитие WDM/DWDM систем пришлось на 1997-1998гг., когда были разработаны системы третьего поколения, основанные на стандартизированном канальном плане и имеющие минимум 16 каналов. Сегодня начинается их повсеместное внедрение.

Изготовителей оборудования можно разделить на две группы:

- фирмы, традиционно выпускающие системы PDH/SDH и сопутствующие устройства (Alcatel (Франция), ECI (Израиль), Lucent (США), NEC (Япония), Nokia (Финляндия), Nortel (Канада), Pirelli (Италия), Siemens (Германия));
- «новые» производители (ADVA (Германия), Cambrian (Канада), в наст. время принадлежащая компании Nortel, Ciena (США), Eonyx (США), IBM (США), Osicom (США)).

Первые разрабатывали WDM системы как транспортные средства для глобальных сетей SDH/SONET, вторые – как транспортные средства для локальных или, в крайнем случае, городских сетей, что видно по набору логических интерфейсов, используемых для преобразования форматов сигналов на входе и выходе WDM систем.

- ✓ Мультиплексоры первого поколения (широкозонные WDM фильтры) предназначены для работы с двумя, максимум с тремя длинами волн при расстоянии между каналами более, чем 70 нм (1310, 1550, 1625 нм). Они наиболее часто применяются в системах КТВ 1310/1550 нм, или в цифровых

телекоммуникационных системах передачи. Допускается также использование пары длин волн 1550/1625 нм при осуществлении дистанционного мониторинга ВОЛС на длине волны 1625 нм.

Например. WDM фильтр производства фирмы DiCon.

Технические характеристики:

- длина волны – 1310/1550 нм;
 - ближние переходные помехи - -60 дБ;
 - дальние переходные помехи - -40 дБ (по вых. порту 1); -20 дБ (вых. порт 2);
 - вносимые потери не больше 1.0 и 0.7 дБ (в вых. портах 1 и 2 соответственно);
 - обратные потери - -55 дБ;
 - стандартное ООВ фирмы Corning SMF-28.
- ✓ Мультиплексоры второго поколения (узкозонные WDM фильтры) предназначены для мультиплексирования сигналов в многоканальных системах с расстоянием между каналами от минимального 1.6 нм (или 0.8 нм) до 70 нм. Основные технические характеристики, за исключением рабочих длин волн, схожи с предыдущим типом. Основные области применения волоконно-оптические системы с использованием оптических усилителей EDFA, полностью оптические сети.

Волноводные спектральные мультиплексоры/демультиплексоры (МДП DWDM и HDWDM) позволяют уплотнять/разуплотнять от 5 до 10 каналов связи во всем оптическом диапазоне. Наибольшее распространение получили МДП, выполненные на основе SiO_2 / Si и на InP.

Важное значение для использования МДП имеют потери в устройствах, которые включают потери в прямолинейных волноводах, на изгибах, в звездных соединителях, при стыковке планарных волноводов с канальными волноводами и с волоконными световодами. Объединяя все потери, принято иметь в виду потери на «кристалле», т.е. в волноводной схеме, и потери при передаче волокно-волокно. В последнем случае включаются потери на стыковку входного ВС с планарным волноводом звездного соединителя и потери при вводе излучения из второго звездного соединителя в выходные ВС.

МДП на основе SiO_2 / Si обладают меньшими потерями на кристалл, в то время как полупроводниковые пассивные оптические интегральные схемы (на основе InP) могут быть непосредственно интегрированы с источниками излучения, усилителями, фотодетекторами и др. При этом на одной подложке могут быть объединены оптические и электронные компоненты.

Технические характеристики МДП

Модификация	Число каналов	Центральная длина волны λ_0 , мкм	Спектральное разделение каналов $\Delta\lambda$, нм	Потери на кристалле (при передаче ОВ-ОВ), дБ	Переходные помехи, дБ
МДП на основе SiO₂ / Si					
МДП -1-8	8	1.548	15	2.4 (+0.1)	- 28
МДП-1-16-1	16	1.552	2	2.3 (+0.1)	- 29
МДП-1-16-2	16	1.55	1.6 (200 ГГц)	0.2 (+5)	- 35
МДП-1-32	32	1.5498	0.8 (100 ГГц)	2.1 (+0.1)	- 28
МДП-1-64	64	1.5496	0.4 (50 ГГц)	3.1 (+0.1)	- 27
МДП на основе InP					
МДП-2-4	4	1.55	3.2	11 (общие)	- 28
МДП-2-16	16	1.55	2.03	13	- 20

Оптический разветвитель

Применение ОР эквивалентно внесению затухания в тракт от 20,2 до 22 дБ.

Расчетные формулы длины ЭКУ по затуханию и дисперсии

Длина ЭКУ определяется двумя факторами: энергетическим потенциалом СП и дисперсионными искажениями.

☞ Энергетический потенциал (Э) ВОСП определяется как разность между уровнем мощности оптического сигнала $P_{\text{пер}}$, введенного в ОВ, и уровнем мощности $P_{\text{пр}}$ на входе приемного устройства, при котором коэфф. ошибок регенератора не превышает заданного значения, установленного для ЭКУ ВОСП. Энергетический потенциал определяет максимально допустимое затухание оптического сигнала в ОКС, разъемные и неразъемных соединениях на участке регенерации, а также другие потери в узлах ВОСП. Ограничения, накладываемые на длину ЭКУ энергетическими хар-ми системы, определяются из след. соотношений:

$$L_{\max, \alpha} = \frac{\mathcal{E} - a_n - n_p a_p - A_3}{\alpha + \frac{a_n}{l_{co}}}, \text{ км} \qquad L_{\min, \alpha} = \frac{(\mathcal{E} - A_0) - a_n - n_p a_p - A_3}{\alpha + \frac{a_n}{l_{co}}}, \text{ км}$$

где $\mathcal{E}$ - энергетический потенциал системы;

a_p - потери в разъемном соединении ОВ;

n_p - количество разъемных соединений на ЭКУ;

a_n - потери в неразъемном соединении ОВ;

A_3 - эксплуатационный запас (обычно принимается равным 6 дБм);

l_{co} - строительная длина ОК, км;

α - коэффициент затухания оптических волокон, дБ/км;

A_d - допустимые пределы компенсации разброса длин ЭКУ оптическими аттенюаторами и автоматической регулировкой усиления ПрОМ.

* В формуле добавляется в числителе - $a_{МДП}, a_{ОР}$ потери, вносимые МДП или ОР.

Потери в разъемных соединениях типа FC/PC, SC/PC, применяемых на сегодняшний день на сетях связи не превышают 0,5 дБм. Число разъемных соединений на участке между УК обычно равно четырем. Два на ближнем конце (мультиплексор и оптический кросс) и два на дальнем конце (оптический кросс и мультиплексор).

Потери в неразъемном соединении не должны превышать допустимых значений, определяемых нормативно-технической документацией. Согласно норм на параметры ЭКУ ВОЛП для одномодовых волокон затухание на стыке волокон не должно превышать 0,1 дБм для 100% всех соединений, и 0,05 дБм для 50% всех соединений.

Пределы регулировки АРУ определяются конкретным типом аппаратуры. В настоящих тех. предложениях эту величину следует принять равной 20 дБм.

Другим ограничивающим фактором при определении допустимой длины ЭКУ является дисперсия в ОК. Ограничение возникает из-за уширения (увеличения длительности) импульсов при прохождении по волокну.

$$L_{\max, \sigma} \leq \frac{0.25}{\sigma \cdot B}, \quad \text{км},$$

где

B - скорость передачи на оптическом стыке, Бит/с;

$\sigma_{ЭКУ}$ - среднеквадратическое значение дисперсии оптического волокна, с/км.

Скорость передачи на оптическом стыке определяется из соотношения

$$B = B_{цсп} \cdot \frac{m}{n}, \quad \text{Бит/с},$$

где

$B_{цсп}$ - скорость передачи на электрическом стыке, Бит/с;

m, n - параметры блочного линейного кода ВОСП $mBnB$.

Среднеквадратическое значение дисперсии ОВ равно

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{MM}^2 + \sigma_{XP}^2} = \sqrt{\sigma_{MM}^2 + (\sigma_B + \sigma_{MAT})^2},$$

где σ_{MM} и $\sigma_{XP} = \sigma_B + \sigma_{MAT}$ - расширение импульса на выходе ОВ относительно импульса, поданного на его вход, имеющее место в результате межмодовой и хроматической дисперсии соответственно.

Межмодовая дисперсия возникает вследствие различной скорости распространения у мод, и имеет место только в многомодовом волокне.

Хроматическая дисперсия имеет место при распространении, как в одномодовом, так и в многомодовом волокне. Однако наиболее отчетливо она проявляется в одномодовом волокне из-за отсутствия межмодовой дисперсии.

✓ Для одномодового волокна межмодовая дисперсия равна нулю $\sigma_{MM} = 0$ и

$$\sigma = \sigma_{XP} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot 10^{-12}, \quad \text{с/км},$$

где

λ - рабочая длина волны, нм;

$\Delta\lambda$ – диапазон длин волн излучения лазера, который можно принять равным 0.2...0.8 нм;

$D(\lambda)$ - коэффициент хроматической дисперсии ОВ, пс/(нм·км).

Коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda)$, с размерностью пс/(нм·км), для одномодовых ступенчатых волокон рассчитывается по формуле

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right],$$

где λ_0 - длина волны нулевой материальной дисперсии, мкм;

S_0 - наклон нулевой дисперсии, пс/(нм²·км).

(Материальная дисперсия ОВ при определенной частоте имеет нулевое значение, т.к. при длине волны λ_{MO} она меняет свой знак. Эта точка носит название точки *нулевой материальной дисперсии*.)

Для волокна со смещенной дисперсией:

$$D(\lambda) = \lambda_0 \cdot S_0 \cdot \ln \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right).$$

✓ Для многомодового волокна $\sigma_{MM} = \frac{0,48}{\Delta F_{OB}}$ и $\sigma_{XP} = 2.56 \cdot \Delta\lambda \cdot \sqrt{(D1)^2 + (D2)^2}$.

Здесь ΔF_{OB} - значение коэффициента широкополосности многомодового ОВ, которое находим из справочных данных, Гц·км.

$$D1 = D(\lambda); \quad D2 = 0,7 \cdot S_0 \cdot \Delta\lambda$$

*** После того, как найдено максимальное значение ЭКУ по дисперсии оно сравнивается с длиной ЭКУ по энергетическому потенциалу и выбирается минимальное значение.**

☞ Далее определяется дисперсия на выходе всего линейного тракта:

$$\sigma_{\text{вых}} = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_L^2 + \sigma_n^2},$$

где $\sigma_u = 10^{-12}$ с - длительность фронта импульса источника излучения;

$\sigma_L = \sigma \cdot L_{\text{max}}$ - уширение импульса при распространении по ОВ;

$\sigma_n = 0,35 / f_c$ - увеличение фронта длительности в ПрОМ, $f_c = B$ - минимально допустимая частота отсечки.

Длительность фронта на выходе ПрОМ должна удовлетворять условию:

$$\sigma_{\text{вых}} \leq \sigma_{\text{дон}},$$

где $\sigma_{\text{дон}}$ - из табл.1 и 2.

Если условие выполняется, данный вариант принимается во внимание для дальнейших расчетов.

Затем ведется сравнительный анализ рассмотренных вариантов схем организации связи на основе коэффициента затрат. Необходимо обеспечить минимальный коэффициент по затратам на 1 канал

$$K_{\text{затр}} = \frac{N_{\text{сист}} \cdot N_{\text{ОВ}}}{N_{\text{кан}}} \cdot 100\%,$$

где $N_{\text{сист}}$ - число систем передачи, требуемых для организации связи;

$N_{\text{ОВ}}$ - число ОВ в кабеле, требуемых для организации связи;

$N_{\text{кан}}$ - заданное число каналов.

Результаты сводятся в таблицу.

№	СП	Кол-во СП	Схема организации ВОЛС	Число каналов СП	Кол-во ОВ	Коэфф. затрат K_z , %

Расчетные формулы механических нагрузок на ОК, выбор внешних покровов ОК, удовлетворяющих расчету

Волоконно-оптические линии связи, проходящие в черте населенных пунктов, как правило, прокладывают в телефонные канализации. Основу составляют трубы круглого сечения диаметром 100 мм- асбоцементные, бетонные или пластмассовые.

Прокладка в канализацию осуществляется одной строительной длины на прямолинейном участке трассы. Отличие технологии прокладки в телефонной канализации оптических и традиционных кабелей заключается в том, что усилие тяжения ОК при прокладке не должно превышать допустимого растягивающего усилия, а также не допускается кручение кабеля. При этом тяжение должно осуществляться одновременно за оболочку и армирующие элементы ОК.

Прокладка ОК в телефонной канализации производится, как правило, в свободные каналы диаметром 100 мм или в субканалы, образованные предварительно затянутыми в основной канал полиэтиленовыми трубами с внутренним диаметром 32 мм. В свободный канал диаметром 100 мм одновременно может быть затянуто три-четыре субканала.

Максимальное усилие протяжки при прокладке в кабельную канализацию определяется по след. формулам:

- для прямолинейного участка

$$F = P_0 K_T l, \text{ Н}$$

- для наклонных участков трассы

$$F = P_0 \cdot l (K_T \cos \beta \pm K_T \sin \beta), \text{ Н}$$

где P_0 - масса единицы длины кабеля;

l - длина протягиваемого кабеля (строительная длина), км

K_T - коэффициент трения, для ПЭ = 0,28...0,32; для асбоцем. тр.=0,24...0,4;

β - максимальный угол наклона кабеля при прокладке в канализацию, в соответствии с заданием.

* Полученное значение максимального усилия протяжки при прокладке в кабельную канализацию не должно превышать допустимого.

Литература

1. Проектирование ВОЛС: Учебное пособие по дипломному и курсовому проектированию; ПИИРС, 1992.
2. Строительство и ТЭ ВОЛС: учебник для ВУЗов под ред. Попова Б.В.; М.: Радио и связь, 1995.
3. Оптические системы передачи: Учебник для ВУЗов / под ред. Иванова В.И. - М.: Радио и связь, 1994.