

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ РФ
Департамент кадров и учебных заведений
Самарская государственная академия путей сообщения

Кафедра автоматики, телемеханики
и связи на железнодорожном
транспорте

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к курсовому проектированию
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

для студентов специальности

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ НА
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Специализация

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ
И СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Составители: Тарасов Е.М.
Куров М.Б.
Белоногов А.С.

Самара 2002

УДК 656.254.14

Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине “Линии железнодорожной связи”.-Самара: СамГАПС, 2002.-23 с.

Утверждено на заседании кафедры 12.02.2002 г. протокол № 6.

Печатается по решению редакционно-издательского Совета института.

В методических указаниях рассмотрены вопросы проектирования волоконно-оптических линий связи железнодорожного транспорта, даны основные положения, представлены требования к проектируемым линиям.

Рекомендуются для студентов дневной формы обучения.

Составители: Тарасов Евгений Михайлович
Куров Михаил Борисович
Белоногов Алексей Сергеевич

Рецензенты: начальник отдела развития средств
связи Куйбышевской ж.д. доцент
Коняшин В. А.;
заведующий кафедрой ТЖТ, профессор,
д.т.н. Васин Н.Н.

Подписано в печать 26.04.2002 г.

Тираж 100 Заказ № 48

САМАРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Для успешного выполнения проекта необходимо изучить по рекомендуемой литературе разделы, касающиеся проектирования и строительства волоконно-оптических, кабельных и воздушных линий связи. Затем разработать расчетно-пояснительную записку, которая пишется на одной стороне листа с оставлением с правой стороны полей 4 см для замечаний рецензента. Листы записки должны быть сброшюрованы и пронумерованы, формулы также должны быть пронумерованы, единицы измерения величин должны соответствовать системе СИ.

В тексте записки приводится задание на проект и исходные данные варианта курсового проекта, а также краткие пояснения, расчеты, обоснования, принимаемых студентом технических решений по вопросам, предусмотренным содержанием проекта. Не следует включать в записку общие сведения, имеющиеся в литературе, в том числе и в настоящих методических указаниях.

Все инженерно-технические расчеты производятся вручную с подробной записью всех исходных и промежуточных расчетных формул, числовых значений и результатов. Расчеты должны быть проиллюстрированы расчетными схемами.

В конце пояснительной записки приводится список использованной литературы.

Объем записки не должен превышать 35-40 листов формата 210x297 мм. Чертежи выполняются карандашом на белой или миллиметровой бумаге стандартных размеров 210x297 мм. Некоторые из чертежей (трассы и др.) разрешается выполнять на листах удлиненного формата. Чертежи должны иметь рамку, штамп, в необходимых случаях условные обозначения. Чертеж клеивается или вшивается в пояснительную записку после той страницы, на которой имеется первая ссылка на него.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

1. На заданном двухпутном участке железной дороги А-Р (рис. 1) с электротягой постоянного тока напряжением 3.3 кВ спроектировать волоконно-оптическую линию связи. Предусмотреть организацию магистральной связи с использованием цифровых систем передачи "Соната-2" или "Сопка-2" с аппаратурой уплотнения ИКМ-120, "Соната-3м" или "Сопка-3" с аппаратурой уплотнения ИКМ-480, "Соната-4" или "Соната-4м" с аппаратурой ИКМ-1920.

2. Заданное число каналов магистральной и дорожной связи приведено в табл. 1.

Таблица 1

Число каналов дальней связи

Вариант	Вид связи	
	Магистральная	Дорожная
1.	1180	150
2.	360	180
3.	170	100
4.	1340	270
5.	1170	340
6.	400	300
7.	440	240
8.	280	90
9.	180	170
10.	2270	360
11.	900	200
12.	340	150
13.	1340	160
14.	210	120
15.	390	140

СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТА

Курсовой проект должен содержать расчетно-пояснительную записку и чертежи.

Расчетно-пояснительная записка

В расчетно-пояснительной записке должны быть отражены технические решения по следующим вопросам:

Введение

1. Выбор волоконно-оптических систем передачи.
2. Выбор оптического кабеля связи.
3. Расчет параметров световодов.
4. Определение длины регенерационного участка на основе расчета затухания и дисперсии.
5. Организация цепей отделенческой связи.

Чертежи курсового проекта

1. Структурная схема волоконно-оптической системы связи.
2. Конструкция выбранного типа оптического кабеля.
3. Скелетная схема организации отделенческой связи на перегоне.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные для проектирования волоконно-оптической линии связи принимаются по результатам изысканий объекта проектирования и выбираются из табл. 1-6.

Данные изысканий по объекту проектирования:

1. Схема двухпутного участка железной дороги А-Р представлена на рис. 1. На перегоне Б-В (примерно в середине перегона) железнодорожную линию пересекает судоходная река глубиной 6 м, через которую проложен неразводной железнодорожный мост.

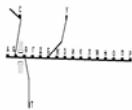


Рис. 1. Схема двухпутного участка железной дороги А-Р

Ширина реки и другие сведения об участке А-Р приведены в табл. 2.

Размещение объектов связи и СЦБ от ближайшего рельса железнодорожного пути находится на следующем расстоянии:

пост ЭЦ, пассажирское здание, остановочный пункт, дежурный пост контактной сети -35м;

тяговая подстанция -50м;

будка дежурного по переезду, пост секционирования контактной сети - 5 м;

линейно-путевое здание, квартира электромеханика - 100м;

релейный шкаф сигнальной точки автоблокировки или переездной сигнализации - 3 м;

здание обслуживаемого усилительного пункта кабельной магистрали - 125м.

2. Кроме того, для всех вариантов необходимо считать, что началом для отделенческих избирательных связей тональной частоты, организуемых по кабельной линии, является станция А, а концом - станция Р.

3. Грунт на участке мягкий. Климатические условия умеренные.

4. Средства регулирования движения поездов на участке А-Р - автоблокировка, станции оборудованы электрической централизацией. Для электропитания устройств СЦБ вдоль железной дороги с правой стороны по направлению километража на расстоянии 20 м от рельса проложена трехфазная высоковольтная линия автоблокировки напряжением 10 кВ.

5. Предусмотреть организацию обслуживаемых регенерационных пунктов (ОРП) на станциях А и Р. Пункты НРП необходимо разместить по трассе кабеля в соответствии с расчетом длины регенерационного участка волоконно-оптической линии связи.

Примечания для табл. 3:

1. Сокращения в названиях объектов связи и СЦБ: ЭЦ - пост ЭЦ; ДПКС - дежурный пункт дистанции контактной сети; ОРП - обслуживаемый регенерационный пункт; П - жилое или служебное здание службы пути; ПБ - будка дежурного по переезду (охраняемый переезд); РШ-Вх - релейный шкаф входного светофора станции; РШ-С - релейный шкаф проходного светофора; РШ-АПС - релейный шкаф автоматической переездной сигнализации; ШН - квартира электромеханика; ТП - тяговая подстанция; ПСКЦ - пост секционирования контактной цепи; ОП - остановочный пункт пригородных поездов; ПЗ - пассажирское здание.

2. Буква л или п, указанная в скобках рядом с наименованием объекта, означает расположение объекта с левой или правой стороны от железнодорожного пути по счету километров.

3. ОРП совмещен с постом ЭЦ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Во введении необходимо раскрыть основные этапы развития волоконно-оптической связи на железнодорожном транспорте, указать основные преимущества и перспективы развития.

1. Выбор волоконно-оптических систем передачи

При проектировании трактов оптической связи необходимо в первую очередь принять оптимальное решение по выбору волоконно-оптической системы передачи. В настоящее время в волоконно-оптических системах передачи общего пользования применяется унифицированная каналообразующая аппаратура цифровых систем передачи различных ступеней иерархии. Системы передачи с частотным разделением каналов связи по оптическим кабелям еще не нашли практического применения, что связано с определенными трудностями в обеспечении качественных показателей линейного тракта.

В настоящее время созданы следующие системы передачи: "Соната-2", "Сопка - 2" с аппаратурой ИКМ - 120, "Сопка -3" и "Соната - 3м" с аппаратурой ИКМ - 480, "Соната - 4" и "Соната - 4м" с аппаратурой ИКМ - 1920.

На магистральной сети, предназначенной для передачи информации на расстояния 1000 км и более, используется четверичная система "Соната - 4", рассчитанная на 1920 каналов связи. На зональных сетях целесообразно применение систем передачи "Соната - 2", "Сопка - 2", "Соната - 3м" и "Сопка - 3". В первых двух используется аппаратура вторичной цифровой системы ИКМ-120, а в последних двух - третичной цифровой систем ИКМ-480. Эти системы можно применять для магистральной связи на расстояния до 600 км. Структурная схема ВОСП "Сопка-2", "Сопка-3", "Сопка-3М" представлена на рис. 2. Аппаратура содержит: стандартное каналообразующее оборудование (стойки САЦО, СВВГ, СТВГ); стойку оборудования линейного тракта (СОЛТ-О) для передачи вторичного и третичного цифровых потоков со скоростями 8.448 и 34.368 Мбит/с; стойку телемеханики и служебной связи (СТМСС); оборудование линейного тракта, устанавливаемое в НРП; стойку дистанционного питания (СДП-О); специализированную контрольно-измерительную аппаратуру; комплект инструментов и приспособлений для монтажа ОК. Основные характеристики систем приведены в таблице 4.

Таблица 2

Сведения об участке А-Р

Вариант курсового проекта	Расстояние между осями станций, м															Высотные отметки места ответвления, м		Ширина реки, м
	А-Б	Б-В	В-Г	Г-Д	Д-Е	Е-Ж	Ж-З	З-И	И-К	К-Л	Л-М	М-Н	Н-О	О-П	П-Р	Подошвы насыпи	Головки рельса	
1	11	30	14	11	12	15	17	26	24	20	23	10	21	19	23	7.2	7.7	240
2	30	11	15	26	20	10	19	11	14	12	17	24	23	21	23	4.1	4.6	205
3	23	19	21	10	23	20	24	26	17	15	12	11	14	30	11	6.7	7.8	150
4	19	10	20	26	15	11	30	23	23	21	24	17	12	14	11	3.8	4.8	190
5	11	14	12	17	24	21	23	30	11	15	26	20	10	19	23	5.4	6.2	160
6	30	15	20	19	14	17	23	23	11	26	10	11	12	24	21	6.5	7.0	195
7	21	24	12	11	10	26	11	23	23	17	14	19	20	15	30	3.3	4.8	170
8	24	11	26	23	17	19	15	21	12	10	11	23	14	20	30	4.9	5.4	180
9	30	20	14	23	11	10	12	21	15	19	17	23	26	11	24	7.4	8.5	210
10	20	23	10	21	19	23	11	30	14	11	12	15	17	26	24	5.8	6.4	200
11	24	26	17	15	12	11	14	30	11	23	19	10	21	23	20	5.1	5.6	210
12	26	15	11	30	23	10	23	24	17	12	14	11	19	21	20	6.2	7.2	185
13	20	21	19	11	14	12	17	24	23	10	23	30	11	15	26	3.9	6.8	215
14	21	11	12	24	10	30	15	20	19	14	17	23	23	11	26	4.4	5.8	190
15	26	11	23	23	17	14	19	20	15	30	10	24	12	11	21	5.6	7.6	170

Таблица 3

Размещение объектов связи и СЦБ на перегоне А-Б

Ординаты объектов	Наименование объектов для варианта проекта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
79км 000м	ОРП (л)	ОРП (л)	ОРП (п)	ОРП (п)	ОРП (п)	ОРП (п)	ОРП (п)	ОРП (л)	ОРП (п)	ОРП (л)	ОРП (л)	ОРП (п)	ОРП (л)	ОРП (п)	ОРП (л)
79км 350м	—	—	—	ТП(л)	—	—	—	ТП(п)	ТП(л)	ТП(п)	—	—	—	ТП(л)	—
79км 450м	—	ТП(п)	ТП(п)	ШН(п)	—	ТП(л)	—	—	—	—	ТП(п)	—	ТП(л)	—	ТП(л)
79км 900м	ТП(п)	—	—	—	ТП(п)	—	ТП(п)	—	—	—	ШН(п)	ТП(л)	—	—	—
80км 500м	РШ-Вх для всех вариантов														
82км 000м	РШ-С (л)	РШ-С (л)	РШ-С (л)	РШ-С (л)	—	—	—	РШ-С (л)	—	—	—	РШ-С (л)	—	РШ-С (п)	—
82км 010м	—	—	—	РШ-АПС(п)	РШ-С (л)	РШ-С (л)	—	—	РШ-С (л)	РШ-С (л)	—	РШ-АПС(л)	РШ-С (п)	—	—
82км 020м	—	—	—	ПБ(п)	—	—	—	—	П(л)	ШН(п)	—	ПБ(п)	—	—	—
82км800м	ОП(л)	П(л)	ПБ(п)	—	—	—	—	ПСКЦ (п)	—	—	РШ-АПС(п)	—	—	ПСКЦ (л)	ШН(п)
83км 815м	—	—	РШ-АПС(п)	—	ШН(п)	П(л)	П(п)	—	—	П(п)	ПБ(п)	—	П(л)	—	—
84км 000м	РШ-С для всех вариантов														
84км 000м	ШН(п)	ПСКЦ (п)	—	—	ОП(п)	ШН(л)	ОП(л)	ОП(л)	ДПКС (л)	ОП(п)	—	ШН(п)	ОП(п)	—	ОП(л)
84км 800м	РШ-Вх (п) для всех вариантов														
85км 800м	—	—	ШН(л)	—	—	ДПКС (п)	—	—	ШН(п)	—	—	—	ДПКС (п)	ШН(п)	—
86км 000м	ПЗ(л)	ЭЦ(п)	ЭЦ(л)	ПЗ(п)	ПЗ(л)	ПЗ(п)	ЭЦ(л)	ЭЦ(л)	ПЗ(п)	ПЗ(п)	ПЗ(л)	ЭЦ(п)	ЭЦ(л)	ПЗ(п)	ПЗ(п)

В пояснительной записке по данному разделу необходимо:

1. В соответствии с заданной по варианту проекта системой передачи привести ее характеристики и кратко описать особенности ее применения.
2. Воспользовавшись рекомендованной литературой, начертить структурную схему волоконно-оптической системы передачи, кратко описать назначение всех ее элементов и оптоэлектронных компонентов.

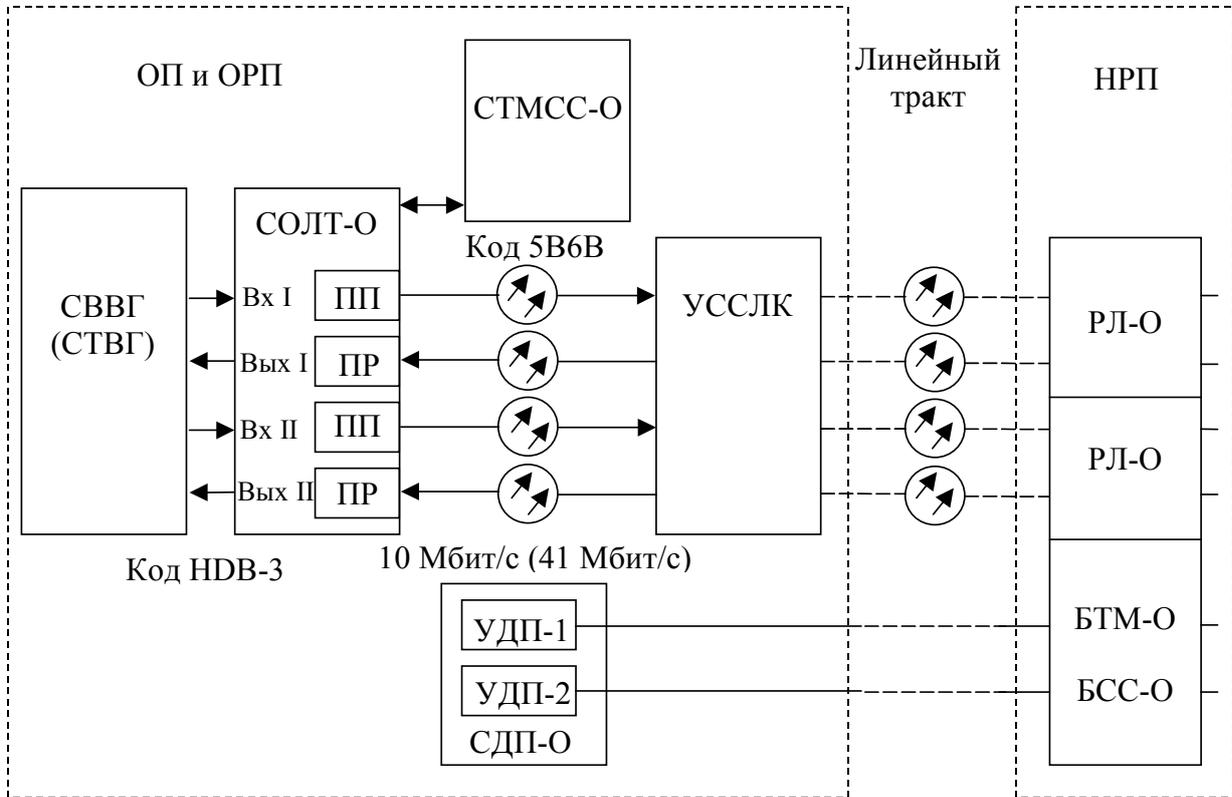


Рис. 2. Структурная схема ВОСП "Сопка-2", "Сопка-3", "Сопка-3М"

Таблица 4

Характеристики систем передачи

Характеристика	Сопка-2	Сопка-3	Соната-2	Соната-3м	Соната-4	Соната-4м
Система передачи	ИКМ-120	ИКМ-480	ИКМ-120	ИКМ-480	ИКМ-1920	ИКМ-1920
Скорость передачи, МБит/с	8.5	34	8.5	34	140	140
Длина волны, мкм	1.3	1.3	0.85	1.55	1.3	1.55
Энергетический запас, Дб	43	41	45	38	38	38
Тип линейного кода	5В6В	5В6В	5В6В	1В2В	10В1Р1	10В1Р1Р
Дальность связи, км	до 600			тысячи км		
Тип источника излучения	лазерный диод (ЛД)					
Тип приемника излучения	лавинный светодиод		Р1М-РВ	ЛФД		
Тип оптического волокна	многомодовое		одномодовое			

2. Выбор оптического кабеля связи

Оптические кабели (ОК) содержат 4, 8 и 16 волокон. Волокна классифицируются на ступенчатые, градиентные и одномодовые и используются на длинах волн 0.85, 1.3 и 1.55 мкм. Кабели могут изготавливаться с металлическими элементами (оболочки, оплетки, армирующие стержни) и без них. Достоинствами ОК без металлических элементов являются существенно меньшие габаритные размеры и масса.

Выбор ОК осуществляется на основе:

- а) заданного числа каналов магистральной связи;
- б) типа аппаратуры связи;
- в) назначения кабеля.

В соответствии с заданным числом каналов магистральной связи и типом волоконно-оптической системы передачи следует определить число волокон ОК. Например, при использовании цифровой системы передачи ИКМ-120 для организации 120 двусторонних каналов связи необходимо два волокна в ОК: одно - для организации 120 каналов связи в прямом, а другое - в обратном направлении.

Затем, исходя из типа системы передачи, типа оптического волокна и значения рабочей длины волны (λ , мкм), (см. табл. 4), выбирается марка кабеля:

ОК - линейный оптический многомодовый градиентный кабель на длину волны 0.85 мкм;

ОЗКГ - линейный оптический многомодовый градиентный зонный кабель с броней из круглых проволок для прокладки в грунт с оптический волокном на длину волны 1.3 мкм;

ОМЗКГ - оптический одномодовый кабель для магистральных и зонных линий связи для прокладки в грунт с оптическим волокном на длину волны 1.3

мкм;

ОМЗВ - оптический одномодовый кабель для прокладки под водой с оптическим волокном на длину волны 1.3 мкм;

ОКЛ - линейный оптический одномодовый кабель для магистральных и зонавых линий связи с оптическим волокном на длину волны 1.55 мкм;

ОКВ - линейный оптический одномодовый кабель для прокладки под водой на глубину до 500м.

Маркировка оптических кабелей связи может быть записана условно в следующем виде: NNNPB - Н - $n_1 - n_2 - n_3/n_4 - n_5/n_6 - A$,

где n_1 - диаметр сердцевины оптического волокна, обычно равный 10 и 50 мкм для одно- и многомодовых оптических волокон соответственно (показатель в марке кабеля может быть опущен);

n_2 - номер разработки конструкции данного типа;

n_3 - максимальное затухание оптического волокна дБ/км;

n_4 - максимальная дисперсия оптического волокна, пс/(нм*км) (показатель в марке кабеля может быть опущен);

n_5 - число оптических волокон;

n_6 - число медных жил для дистанционного питания (показатель в марке кабеля может быть опущен);

NNN -назначение кабеля и рабочая длина волны оптического волокна;

P - тип металлической оболочки (при отсутствии опускается);

B - тип бронепокровов (может быть опущено);

H - наличие оболочки, не распространяющей горение (в противном случае опускается);

A - в оптических волокнах избирательность коэффициента широкополосности (например, от 500 до 800 МГц-км).

Маркировка некоторых оптических кабелей приведена в прил. 1.

В пояснительной записке следует:

1. Обосновать выбор марки ОК и числа волокон в ОК.

2. Воспользовавшись рекомендуемой литературой, изобразить конструкцию выбранной марки кабеля, указать все его конструктивные элементы, указать полную маркировку кабеля и ее расшифровку.

3. Указать марку ОК, используемого при переходе через водную преграду.

3. Расчет параметров световодов

Необходимо рассчитать следующие параметры волоконного световода:

- числовую апертуру;
- число мод в световоде;
- затухание световода;
- дисперсию световода.

Важной характеристикой световода является числовая апертура NA, представляющая собой синус максимального угла падения $\varphi_{\text{пад}}$ лучей на торец световода, при котором в световоде луч на границу "сердцевина-оболочка" падает под критическим углом $\varphi_{\text{крит}}$. Если значение угла падения $\varphi_{\text{пад}} < \varphi_{\text{крит}}$, то в световоде происходит полное внутреннее отражение луча. Следовательно,

$$NA = n_1 \cos \varphi_{кр} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

где n_1 и n_2 показатель преломления соответственно сердцевин и оболочки (для многомодового световода - 1.53 и 1.5 соответственно; для одномодового световода - 1.46 и 1.457 соответственно).

Число мод определяет способность световода "принимать" свет. Чем больше мод, тем больше световой энергии можно ввести в световод от источника. С увеличением числа мод полоса передаваемых частот снижается. Чем меньше мод, тем лучше качество связи, и можно организовать большее число каналов.

Для расчета числа мод необходимо рассчитать нормированную частоту

$$V = \frac{2 \pi \cdot a}{\lambda} NA,$$

где a - радиус сердечника световода, мкм (определяется по маркировке кабеля);

λ - длина волны, мкм;

NA - числовая апертура.

Общее число передаваемых мод в световодах может быть определено по формулам:

$N=V^2$ - для ступенчатого профиля;

$N=V^2/2$ - для градиентного профиля.

Для уменьшения числа мод следует уменьшить диаметр световода и разницу между показателями преломления сердцевин и оболочки. Геометрические размеры сердечника и оболочки являются важными параметрами световодов. У одномодового световода диаметр сердцевин задается таким, чтобы обеспечивались условия распространения только основной моды.

Расчет затухания световодов. Важнейшим параметром световода является затухание передаваемой энергии. Для заданных значений скорости передачи информации и вероятности ошибки мощность на входе фотодетектора должна быть больше некоторой определенной величины. Потери наряду с дисперсией определяют длину ретрансляционного участка волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), т.е. расстояние, на которое можно передавать сигнал без усиления. Данное расстояние соответствует расстоянию между НРП волоконно-оптической линии связи, размещенными на схеме трассы линии связи. В тех участках спектра, где существуют надежные источники излучения, световоды должны иметь минимально возможное затухание. Существуют две главные причины собственных потерь в световодах: поглощение и рассеяние энергии.

Затухание поглощения, связанное с потерями на диэлектрическую поляризацию, линейно растет с частотой и существенно зависит от свойств материала световода $\text{tg} \delta$. Расчет затухания поглощения производят по формуле, дБ/км:

$$a_n = \frac{\pi \cdot n_1}{\lambda} \text{tg} \delta \cdot 8.69 \cdot 10^3,$$

где λ - длина волны, м;

$\text{tg} \delta = 10^{-11}$ - тангенс угла диэлектрических потерь в световоде.

В этой формуле приближенное вычисление объясняется тем, что показатели преломления и тангенс диэлектрических потерь зависят от частоты, а следовательно, и от длины волны, в связи с чем не могут быть заданы

постоянными величинами при расчете.

Потери на рассеяние определяют нижний предел потерь, присущих волоконным световодам. Потери с увеличением длины волны уменьшаются. Рассеяние обусловлено неоднородностями материала волоконного световода, размеры которых меньше длины волны, а также тепловой флуктуацией преломления. Различают линейное и нелинейное рассеяние. При линейном рассеянии его мощность пропорциональна мощности падающей волны. В этом случае происходит частичное изменение потока энергии.

Потери на рассеяние, возникающие в результате флуктуации показателя преломления, называются рэлеевскими и определяются по формуле, дБ/км

$$a_p = \frac{R_p}{\lambda^4},$$

где λ - длина волны, мкм;

R_p - коэффициент рассеяния, равный для кварца 1 дБ/км*мкм⁴ для одномодового световода и 1.5 дБ/км*мкм⁴ для многомодового световода.

Суммарное значение собственного затухания оптического волокна в общем случае

$$a_c = a_{\Pi} + a_p + a_{\text{ИК}} + a_{\text{ПР}},$$

где $a_{\text{ИК}}$ - коэффициент затухания в инфракрасной области, расположенной в диапазоне длин волн свыше 1.6 мкм (для заданных длин волн не рассчитывается);

$a_{\text{ПР}}$ - коэффициент затухания из-за наличия в материале волоконного световода посторонних примесей дБ/км (для многомодового и одномодового световодов приблизительно равен на $\lambda=0.85$ мкм - 0.3 дБ/км, на $\lambda=1.3$ мкм - 0.1 дБ/км, на $\lambda=1.55$ мкм - 0.04 дБ/км).

Именно из-за нелинейности потерь $a_{\text{ПР}}$ на заданных частотах за счет резонансных явлений возникают так называемые "окна" прозрачности световода, то есть существенное уменьшение собственного затухания оптического волокна при длинах волн 0.85, 1.3 и 1.55 мкм. Поэтому передача по ОК осуществляется именно на данных длинах волн. После расчета собственного затухания световода a_c , полученное значение необходимо сравнить с его верхней границей, указанной в маркировке кабеля и **в дальнейших расчетах использовать наибольшее из них**. Следует учитывать, что сравниваемые значения должны отличаться незначительно.

Кроме собственных потерь a_c надлежит учитывать также дополнительные кабельные потери a_k . Они связаны с непостоянством размеров поперечного сечения волокна, наличием макро- и микроизгибов из-за скрутки, конструктивных и технологических неоднородностей и других причин. Установлено, что все кабельные потери существенно увеличивают затухание.

Приближенно a_k можно рассчитать по формуле, дБ/км

$$a_k = a_{\text{ГВ}} + \frac{A_M}{l_{\text{стр}}},$$

где $a_{\text{ГВ}}$ - дополнительное затухание за счет геометрии волокна (в среднем 0.15* a_c), дБ/км;

A_M - потери и на стыке оптических волокон в муфте (0.3 - на стык, дБ);

$l_{\text{стр}}$ - протяженность строительной длины ОК, км.

Качество ввода зависит от соотношения площадей излучателя S_n и сердцевины световода S_c . Существенно качество ввода зависит и от апертуры световода (NA), т.к. только в пределах апертурного угла излучение эффективно вводится в световод. Обычно площадь излучателя больше площади сердцевины световода, поэтому не вся излучаемая энергия поступает в оптический тракт.

Потери энергии на вводе вычисляются по формуле, дБ,

$$a_{\text{ВВ}} = 10 \lg \left| \frac{2 \cdot S_n}{m \cdot NA^2 \cdot S_c} \right|,$$

где m - коэффициент, учитывающийся при расчете энергетического потенциала аппаратуры.

Для расчетов могут быть приняты следующие данные: S_n - 3650 мкм для лазера; 56100 мкм для светодиода; $S_c = \pi \cdot a^2$ мкм, где a - радиус сердцевины световода, мкм; $m=2$ для светодиода; $m=10$ для лазера.

Повышение эффективности ввода излучения достигается за счет применения согласующего оптического устройства в виде увеличительной линзы (или комбинации линз), которая устанавливается между излучателем и торцом световода. Эффективность согласующих устройств можно определить по справочным данным. В современных системах волоконно-оптической передачи благодаря применению излучателей с оптимальной диаграммой направленности и правильному их согласованию со световодом потери энергии при вводе не превышают 4% от мощности источника. Поэтому, учитывая дополнительные потери в разъемных и неразъемных соединениях на стыке аппаратуры и ОК, торцевые потери вычисляют:

$$a_T = q \cdot a_{\text{ВВ}},$$

где q - поправочный коэффициент, равный 0.2 для многомодового световода и 0.1 для одномодового световода.

Расчет дисперсии световодов. В световоде при передаче импульсных сигналов (отличающихся друг от друга различной мощностью) после прохождения ими некоторого расстояния световые импульсы искажаются и расширяются во времени, т. е. время подачи одного импульса увеличивается. В результате наступает такой момент, когда соседние импульсы начинают перекрывать друг друга. Данное явление в теории световодов называют дисперсией.

Расширение импульсов устанавливает предельные скорости передачи информации по световоду при импульсно-кодовой модуляции и при малых потерях ограничивает длину ретрансляционного участка. Дисперсия ограничивает пропускную способность ВОЛС, которая предопределяет полосу частот АР, пропускаемую световодом, ширину линейного тракта и соответственно объем информации, который можно передать по ОК. Уширение определяется как квадратичная разность длительности импульсов на выходе и входе кабеля, нс/км:

$$\tau = \sqrt{t_{\text{ВЫХ}}^2 - t_{\text{ВХ}}^2}.$$

Причем значения $t_{\text{ВЫХ}}^2$ и $t_{\text{ВХ}}^2$ берутся на уровне половины амплитуды импульсов.

Дисперсия не только ограничивает частотный диапазон использования

световодов, она существенно снижает дальность передачи по ОК, т.к. чем длиннее линия, тем больше проявляется дисперсия и больше уширение импульса. Дисперсия возникает по двум причинам: некогерентность источников излучения и появление спектра $\Delta\lambda$, существование большого числа мод N. Первая называется хроматической (частотной) дисперсией, которая делится на материальную и волновую. Материальная дисперсия обусловлена зависимостью коэффициента преломления материала световода от длины волны. Волновая дисперсия обусловлена процессами внутри моды и связана со световодной структурой моды. Она характеризуется зависимостью коэффициента распространения моды от длины волны. Кодовая дисперсия объясняется наличием большого числа мод, каждая из которых распространяется со своей скоростью. Результирующее значение уширения импульсов за счет модовой $\tau_{\text{МОД}}$, материальной $\tau_{\text{МАТ}}$ и волновой $\tau_{\text{ВВ}}$ дисперсий определяется по формуле:

$$\tau = \tau_{\text{М}} = \sqrt{\tau_{\text{МОД}}^2 + (\tau_{\text{МАТ}} + \tau_{\text{ВВ}})^2}.$$

Данная формула справедлива для многомодовых световодов. В одномодовых световодах отсутствует модовая дисперсия. Здесь проявляются волновая и материальная дисперсии:

$$\tau = \tau_{\text{О}} = (\tau_{\text{МАТ}} + \tau_{\text{ВВ}}).$$

В прил. 2 приведены результаты расчета дисперсии. Следует при помощи имеющихся данных рассчитать результирующее значение дисперсии для заданного световода.

Дисперсия проявляется по-разному в различных типах волоконных световодов. В ступенчатых световодах при многомодовой передаче доминирует модовая дисперсия, достигающая значений порядка 102-107 нс/км. В одномодовых ступенчатых световодах волновая и материальная дисперсии практически равны по абсолютной величине и противоположны по фазе. В силу этого происходит их взаимная компенсация и результирующая дисперсия при $\lambda = 1.2-1.7$ мкм не превышает 1 нс/км.

В градиентных световодах происходит выравнивание времени распространения различных мод, и определяющим является дисперсия материала, которая уменьшается с увеличением длины волны.

Сравнивая дисперсионные характеристики световодов, можно отметить, что лучшими параметрами обладают одномодовые световоды. Хорошие данные также у градиентных световодов с плавным изменением показателей преломления. Наиболее резко дисперсия проявляется у ступенчатых многомодовых световодов. Это объясняется следующим.

В ступенчатом многомодовом световоде лучи зигзагообразно отражаются от границы "сердечник-оболочка". Причем пути следования лучей различны, поэтому они приходят к концу линии со сдвигом во времени. Это приводит к искажению передаваемого сигнала. В градиентных световодах лучи распространяются по волнообразным траекториям. Лучи, находящиеся близко от оси световода, проходят меньший путь в области с большим показателем преломления, а периферийные лучи имеют больший путь в среде с меньшим показателем преломления. В результате скорость распространения различных лучей выравнивается и они приходят к концу линии практически в одинаковое

время. Вследствие этого искажения передаваемого сигнала в градиентных световодах меньше, чем в ступенчатых.

В пояснительной записке следует:

1. Привести подробный расчет параметров волоконного световода с указанием всех промежуточных значений и обоснованием используемых в расчетах показателей.

2. Составить сводную таблицу результатов расчета.

4. Определение длины регенерационного участка на основе расчета затухания и дисперсии

Длина регенерационного участка l_{py} ВОЛС определяется передаточными характеристиками кабеля: его коэффициентом затухания a и дисперсией ΔF .

Затухание кабеля приводит к уменьшению передаваемой мощности, что соответственно лимитирует длину регенерационного участка. Дисперсия кабеля приводит к наложению передаваемых импульсов и как следствие к их искажению, и чем длиннее линия, тем больше вносимые искажения импульсов, что в свою очередь, также накладывает ограничения на пропускную способность кабеля ΔF .

Длина регенерационного участка должна удовлетворять значениям как затухания, так и дисперсии. Поэтому производится расчет длины регенерационного участка сначала исходя из допустимого значения по затуханию l_{py}^z , затем исходя из требуемых значений дисперсии и пропускной способности l_{py}^d . Из полученных двух значений l_{py}^z и l_{py}^d длин регенерационного участка выбирается наименьшее значение как отвечающее условиям затухания и дисперсии.

Допустимая длина регенерационного участка ВОЛС по затуханию определяется исходя из энергетического потенциала аппаратуры \mathcal{E} (см. табл. 4)

$$l_{py}^z = \frac{\mathcal{E} - A_z - a_T}{a_c + a_k} \text{ (км)},$$

где A_z - энергетический запас системы (в среднем - 5 дБ), необходимый для компенсации эффекта старения аппаратуры и ОК, компенсации дополнительных потерь, возникающих после проведения ремонтных работ на кабеле, случаев некачественного сращивания сростков ОК и других отклонений параметров участка в процессе эксплуатации.

Для расчета длины регенерационного участка по пропускной способности l_{py}^d определим расчетную пропускную способность световода на 1 км длины (Мбит*км/с)

$$\Delta F_x = \frac{1}{\tau} \cdot 10^{-3},$$

где τ - дисперсия, нс/км.

Длина регенерационного участка по пропускной способности l_{py}^d км, определяется из выражения

$$\Delta F_x = \Delta F \sqrt{l_{py}^d},$$

где v - скорость передачи волоконно-оптической системы, Мбит/с (см. табл.4).

Из полученных значений l_{py}^3 и l_{py}^d выбирается наименьшее, которое и будет являться значением длины регенерационного участка l_{py} .

Первый ОРП ВОЛС располагается на станции А. Остальные НРП ВОЛС располагаются в соответствии с рассчитанной длиной регенерационного участка на трассе ОК с указанием соответствующих ординат.

В пояснительной записке по данному параграфу следует привести подробный расчет длины регенерационного участка, обосновать выбранные исходные данные для расчета, сделать выводы по полученным результатам. Кроме того, необходимо изобразить трассу ОК на схеме трассы кабельной магистрали и указать места расположения НРП ВОЛС.

5. Организация цепей отделенческой связи

Цепи отделенческой связи, используемые непосредственно для организации движения поездов и оперативного управления работой участка железной дороги, вводятся в многочисленные пункты, расположенные вдоль магистрали связи на перегонах и станциях. Виды отделенческой телефонной и поездной радиосвязи, которыми оснащаются железнодорожные линии зависят от конкретных особенностей участка и определяются требованиями ПТЭ.

Для организации всех видов отделенческой телефонной и поездной радиосвязи необходимо параллельно с волоконно-оптической магистралью связи проложить симметричный кабель соответствующей емкости.

В промежуточные пункты цепи отделенческих видов связи могут вводиться либо шлейфом (с разрывом линейных проводов), либо параллельно (параллельным подключением к линии установок связи). Ввод цепей шлейфом имеет эксплуатационные преимущества, поскольку позволяет устраивать замену, поврежденных участков одних видов связи исправными цепями других, отключать поврежденные установки связи с сохранением нормальной работы остальных установок, организовывать необходимые виды связи с местами восстановительных работ и т.д. В приложении 3 указаны типы ввода отделенческих цепей в объекты СЦБ и связи. Один из вариантов схемы организации связи и цепей СЦБ показан на рис. 3.

При разработке скелетной схемы (рис. 4) необходимо руководствоваться следующими положениями:

1. Требуемая длина кабеля рассчитывается исходя из расстояния между объектами по трассе кабельной магистрали и учета дополнительного расхода кабеля на устройство вводов.

2. Для монтажа кабельной магистрали предусматривается применение прямых свинцовых муфт типа МСП, газонепроницаемых свинцовых муфт ГМС-7, прямых свинцовых муфт МС-20, МС-25, МС-30, МС-40; разветвительных тройниковых свинцовых муфт типа МСТ 7δ7, МСТ 7δ7δ7, МСТ 7δ12; чугунных прямых и тройниковых, устанавливаемых на свинцовые прямые, газонепроницаемые и тройниковые муфты подземных кабелей для защиты их от механических повреждений. Соответствия свинцовых и чугунных муфт представлены в таблице 5.

Таблица соответствия свинцовых и чугунных муфт

Типы муфт			
Свинцовая	Чугунная	Свинцовая	Чугунная
МСП-7	С-50	МСТ-7x7	Т-50
МОП-14	С-50	МСТ-7x7x7	Т-50
МС-20	С-35	МСТ-17x7	Т-65
МС-30	С-50	МСТ-14x7x7	Т-65
ГМС-4	С-50	МСТ-14x14	Т-65
ГМС-7	С-50	МСП-7x4x4	С-50
ГМСМ-60	С-55	МСП-14x7x7	—

3. По существующей типовой нумерации, применяемой на кабельных магистралях, кабель от которого делаются все ответвления на перегоне обозначается к1, ответвления от этого кабеля имеют номер 8. Боксам присваиваются двузначные номера, при этом второй цифрой является 1, а первой

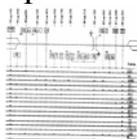


Рис. 3. Организация связи и цепей СЦБ на перегоне

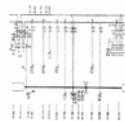


Рис. 4. Скелетная схема

номер кабеля. Все муфты имеют также двузначный номер, первая цифра которого соответствует номеру кабеля, а вторая типу муфты: соединительная - 2, газонепроницаемая - 3, разветвительная - 4.

4. В целях сокращения количества муфт следует стремиться к тому, чтобы место ответвления совпадало с прямой муфтой. В таком случае, вместо разветвительной ставится прямая (соединительная) муфта. Место ответвления ее совмещается с местом соединения строительных длин кабеля, если расстояние между ними не более 100м.

Ордината объекта	Объект	Цепи вводимые		Число пар	Емкость кабеля	Расстоя- ние до объекта	Дополни- тельный расход кабеля	Общая длина кабеля
		шлейфом	парал- лельно					
79900м	ТП	ТУ, ТС	ПС, ЭДС	6	ТЗБ-4	50	5	55
80500м	РШ-Вх	ПГС, СЦБ	ПДС	15	ТЗБ-12	7	0.7	7.7
82300м . . .	ПБ	МЖС, ПГС, СЦБ, переезд	ПДС, ЛПС	20	ТЗБ-12	15	1.5	16.5

ПРИЛОЖЕНИЕ

Оптические кабели связи Кабели типа ОК

Марка кабеля	Назначение и основные элементы конструкции	Примечание
ОК-50-2-5-4	Диаметр сердцевины 50 мкм, разработка 2 (с гидрофобным заполнением), с центральным силовым элементом (стальной трос в полимерном покрытии), вокруг которого скручены четыре 0В в полимерном покрытии. Поверх покрытия имеется защитная трубка. Наружная оболочка выполнена из полиэтилена. Затухание 0В до 5 дБ/км, число 0В – 4.	Строительная длина - 2000 м
ОК-50-2-5-8	То же, затухание 0В-до 5 дБ/км, число 0В - 8	То же
ОК-50-2-3-4	То же, затухание 0В-до 3 дБ/км, число 0В - 4	То же
ОК-50-2-3-8	То же, затухание 0В-до 3 дБ/км, число 0В - 8	То же
ОЗКГ-1-0.7-4/4	Кабель оптический с металлическими армирующими элементами, центральным профилированным элементом, в пазы которого уложены 0В с четырьмя медными жилами для дистанционного питания аппаратуры, четырьмя 0В с затуханием не более 0.7 дБ/км.	Строительная длина-2200 м, диаметр сердцевины 50 мкм
ОЗКГ-1-0.7-8/4	То же, число 0В - 8	То же
ОЗКГ-1-0.7-4/0	То же, без медных жил число 0В - 4	То же
ОЗКГ-1-0.7-8/0	То же, число 0В - 8	То же

Примечание: кроме того, в соответствии с принципами маркировки, приведенными в таблице, применяются оптические кабели ОЗКГ с различными коэффициентами затухания, дБ/км:

ОЗКГ-1-1.0-4/4, ОЗКГ-1-1.0-8/4, ОЗКГ-1-1.0-4/0, ОЗКГ-1-1.0-8/0, ОЗКГ-1-1.5-4/4, ОЗКГ-1-1.5-8/4, ОЗКГ-1-1.5-4/0, ОЗКГ-1-1.5-8/0.

Кабели типа ОКЛ:

В маркировке кабелей указывается:

номер разработки (01 - кабель магистральный и внутризоновый с центральным силовым элементом из стеклопластикового стержня, вокруг которого скручены оптические модули, с гидрофобным заполнением и защитной ПЭ оболочкой; 02 - то же, но со стальным тросом в центре);

коэффициент затухания, (не более, дБ/км);

дисперсия (не более, (нс/км));

число 0В.

Применяются кабели следующих марок:

ОКЛ-01-0.3/3.5-4 (8, 16); ОКЛ-01-0.3/2.0-4(8,16); ОКЛ-02-0.3/3.5-4(8.16); ОКЛ-02-0.3/2.0-4(8,16).

Строительная длина кабеля - 2200 м. Диаметр сердцевины - 10 мкм.

Кабели типа ОМЗ:

ОМЗКГ-10-1-0.7-4; ОМЗКГ-10-1-0.7-8 - кабель оптический магистральный и внутризонавый с центральным профилированным элементом, в пазы которого уложены одномодовые ОВ с диаметром сердцевины 10 мкм, покрытые оболочкой из ПВХ пластиката, с гидрофобным заполнением, броней из не менее 12 неметаллических армирующих элементов в виде стеклопластиковых стержней и стеклонитей, обмотанных скрепляющей фторопластовой или полиэтилентерефталатной лентой, в ПЭ оболочке. Коэффициент затухания - до 0,7 дБ/км. Число ОВ соответственно 4 и 8.

ОМЗКГ-10-2-0.7-4; ОМЗКГ-10-2-0.7-8 - кабель оптический магистральный и внутризонавый с центральным профилированным армированным стеклопластиком элементом, в пазы которого уложены одномодовые ОВ с диаметром сердцевины 10 мкм, с гидрофобным заполнением, обмотанные фторопластовой или полиэтилентерефталатной лентой, с оболочкой из ПВХ пластиката, броней из не менее 12 неметаллических армирующих элементов в виде стеклонитей, обмотанных скрепляющей фторопластовой или полиэтилентерефталатной лентой, в ПЭ оболочке. Коэффициент затухания - до 0,7 дБ/км. Число ОВ - соответственно 4 и 8.

ОМЗВ-10-0.7-4; ОМЗВ-10-1-0.7-8 - кабель оптический магистральный и внутризонавый, предназначенный для прокладки через судоходные или сплавные реки, болота глубиной более 2 м, с центральным профилированным элементом, в пазы которого уложены одномодовые ОВ с диаметром сердцевины 10 мкм, покрытые оболочкой из ПВХ пластиката, с гидрофобным заполнением, металлической трубкой (медной, алюминиевой) минимальной толщины 0.6 мм, с броней из стальных проволок, в ПЭ оболочке минимальной толщины 1.5 мм. Коэффициент затухания до 0.7 дБ/км, число ОВ - соответственно 4 и 8. Строительная длина кабеля - 2000 м.

Результаты расчета дисперсии оптического волокна

Тип световода	λ , мкм	$\tau_{\text{мат}}$, нс/км	$\tau_{\text{ВВ}}$, нс/км	$\tau_{\text{МОД}}$, нс/км
Градиентный многомодовый	0.85	5.076	11.860	1.02
	1.00	1.708	9.364	1.02
	1.3	0.242	7.179	1.02
	1.55	0.226	6.330	1.02
Ступенчатый одномодовый	0.85	0.419	0.085	-
	1.00	0.179	0.085	-
	1.30	0.033	0.085	-
	1.55	-0.036	0.085	-

Типы ответвлений к объектам связи и СЦБ

№ п/п	Наименование объектов связи и СЦБ	Цепи связи и СЦБ, вводимые	
		шлейфом	параллельно
1.	Пассажирское здание или пост ЭЦ на станциях, не имеющих усилительных пунктов	ПДС, ЭДС, ЛПС, СЭМ, ДБК, ВГС, ПС, ПРС, ПГС, МЖС, ТУ, ТС, Пр-зд, СЦБ, СЦБ-	--
2.	Пассажирское здание на станциях, имеющих пост ЭЦ	--	ЭДС, ЛПС, СЭМ, ДБК, ВГС, ПС
3.	Остановочный пункт	ПГС, МЖС	ПС
4.	Проходной сигнал автоблокировки или неохраняемый переезд	ПГС, МЖС, СЦБ	--
5.	Входной сигнал станции	ПГС, СЦБ	ПДС
6.	Охраняемый переезд	ПГС, МЖС, СЦБ, Пр-	ПДС, ЛПС
7.	Тяговая подстанция	ТУ, ТС	ЭДС, ПС
8.	Дежурный пункт дистанции контактной сети	--	ЭДС, ПС
9.	Пост секционирования контактной сети	ТУ, ТС	ЭДС
10.	Здание службы пути (в том числе помещения для обогрева на перегонах и станциях)	ПГС	ЛПС
11.	Квартира электромеханика связи или СЦБ	ПГС	СЭМ
12.	Товарная контора станции	--	ВГС

Примечание: ПДС - поездная диспетчерская связь; ЭДС - энергодиспетчерская связь; СЭМ - служебная связь электромехаников; ПГС - перегонная связь; ВГС - вагонно-распорядительная связь; ПС - постанционная связь; ЛПС - линейно-путевая связь; МЖС - поездная межстанционная связь; ДБК - пассажирская связь диспетчеров по распределению мест на пассажирские поезда; ПРС - цепи поездной радиосвязи; Пр-зд - связь дежурного по станции с охраняемым переездом; ТУ, ТС - цепи телеуправления и телесигнализации тяговыми подстанциями; СЦБ-ДК - цепь диспетчерского контроля СЦБ; СЦБ - цепи СЦБ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи: Учебник для вузов/ В.А. Андреев, В.А. Бурдин, Б.В. Попов, А.И. Польников; Под ред. Б.В. Попова.-М.: Радио и связь, 1995.-2000 с.
2. Линии связи: Учебник для вузов/ И.И. Гроднев, С.М. Верник.-М.: Радио и связь, 1988.-544 с.
3. Волоконно-оптические системы передачи и кабели: Справочник/ И.И. Гроднев, А.Г. Мурадин, Р.М. Шарафутдинов и др.-М.: Радио и связь, 1993. 264 с.
4. Н.Ф. Семенюта, В.Е. Малявко, В.С. Смоленчук. Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие.-Гомель: БелИИЖТ, 1989.-47 с.
5. Э.Е. Асс. Кабели и провода для устройств СЦБ и связи.: Справочник.-М.: Транспорт, 1993.-302 с.