

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
"РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ
С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

«Проектирование, строительство и эксплуатация ВОЛС»

(название дисциплины)

Направление/специальность: **11.03.02. Инфокоммуникационные технологии и системы связи**

(код, наименование специальности /направления)

Профиль/специализация: **«Оптические системы и сети связи»**

Квалификация (степень) выпускника: **бакалавр**

Форма обучения: **заочная**

Москва 2021 г.

Тема проекта: Проектирование волоконно-оптической линии связи на участке железной дороги

1 Задание на проектирование

1. На заданном двухпутном участке железной дороги О-Х с электротягой переменного тока напряжением 27 кВ предусмотреть строительство волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) с использованием подвески оптического кабеля (ОК) на опорах контактной сети.

2. Предусмотреть организацию по ВОЛС магистральной, дорожной связи, а также каналов связи для коммерческих нужд ОАО «РЖД» и дороги с использованием систем передачи синхронной цифровой иерархии (SDH).

3. Предусмотреть организацию по ВОЛС каналов оперативно-технологической связи, а также резервных каналов связи.

4. В проекте предусмотреть применение необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП) на станциях участка в соответствии с расчетной длиной регенерационных участков.

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

- выбор и краткое описание волоконно-оптических систем передачи;
- выбор ОК и распределение оптических волокон (ОВ);
- расчет параметров световодов;
- расчет длин регенерационных участков и размещение НРП по трассе ВОЛС.

6. Пояснительная записка курсового проекта должна содержать следующие чертежи:

- распределения ОВ в кабеле;
- схематический план трассы ВОЛС с размещенными на ней НРП.

2 Исходные данные

1. Схема двухпутного участка железной дороги О-Х представлена на рисунке 1. Данные об участке О-Х приведены в таблице 1.

2. Данные о необходимом количестве каналов (поток данных) для магистральной и дорожной связи приведены в таблице 2, а для коммерческих нужд ОАО «РЖД» – в таблице 3. В этих же таблицах по вариантам заданы типы мультиплексоров, с помощью которых следует организовать передачу потоков данных, а также условия использования оптических волокон со смещенной дисперсией.

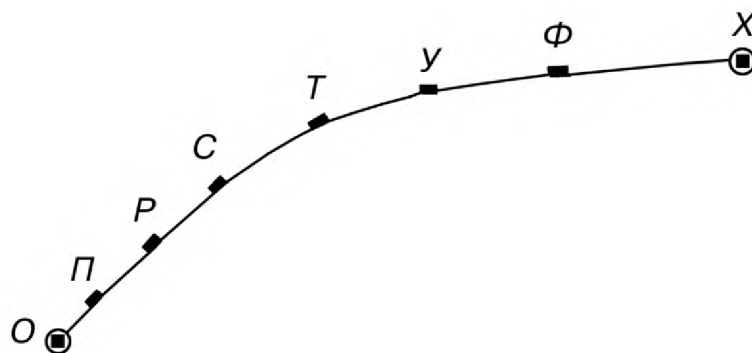


Рисунок 1 – Схема двухпутного участка железной дороги О-Х

3. В таблице 4 указана строительная длина оптического кабеля, которую следует использовать при проектировании ВОЛС, а также данные, необходимые для теоретического расчета параметров световодов.

Таблица 1 – Сведения об участке О-Х

Вариант проекта (последняя цифра учебного шифра)	Расстояние между осями станций, км						
	О-П	П-Р	Р-С	С-Т	Т-У	У-Ф	Ф-Х
1	61	20	31	67	40	35	15
2	58	64	16	41	61	20	32
3	18	31	65	59	22	43	63
4	63	12	44	61	21	30	58
5	15	39	59	69	57	21	40
6	54	49	17	30	24	38	61
7	62	19	29	65	58	23	34
8	50	63	14	40	20	45	65
9	18	27	59	23	40	64	39
0	42	17	29	63	66	26	21

Таблица 2 – Данные по организации магистральной и дорожной связи

Вариант проекта (предпоследняя цифра учебного шифра)	Количество каналов E1	Наличие линейного резервирования по схеме «1+1»	Тип мультиплексор а	Использование ОВ со смещенной дисперсией
1	100	+	STM-1	+
2	260	+	STM-4	-
3	300	-	STM-4	+
4	180	+	STM-1	-
5	420	+	STM-4	+
6	280	-	STM-1	-
7	310	-	STM-4	+
8	190	+	STM-1	-
9	350	-	STM-4	+
0	510	-	STM-4	-

Таблица 3 – Данные по организации связи для коммерческих нужд ОАО «РЖД»

Вариант проекта (последняя цифра учебного шифра)	Количество каналов E1	Наличие линейного резервирования по схеме «1+1»	Тип мультиплексора	Использование ОВ со смещенной дисперсией
1	310	-	STM-4	-
2	250	-	STM-1	+
3	150	+	STM-1	-
4	430	-	STM-4	+
5	210	-	STM-1	-
6	510	-	STM-4	+
7	180	+	STM-1	-
8	390	-	STM-4	+
9	200	+	STM-4	-
0	220	+	STM-1	+

Таблица 4 – Данные для расчета параметров оптического волокна

Вариант проекта (предпоследняя цифра учебного шифра)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Длина волны λ для теоретического расчета собственного затухания оптического волокна, мкм	1,31	1,55	1,31	1,55	1,31	1,55	1,31	1,55	1,31	1,55
Строительная длина ОК, км	4	6	9	4	6	9	4	6	9	4
Номер окна прозрачности для теоретического расчета дисперсии	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4

3 Проектирование волоконно-оптической линии связи

3.1 Организация передачи по волоконно-оптической линии связи

В пояснительной записке по данному пункту необходимо произвести выбор количества и типа систем передачи для ВОЛС, определить требуемое число и тип оптических волокон.

Цифровое оборудование, разработанное на принципах синхронной цифровой иерархии (SDH), позволяет оптимально сочетать процессы высококачественной передачи больших объемов цифровой информации с процессами автоматизированного управления, контроля и обслуживания сети в рамках единой системы.

Для переноса информации в SDH используются синхронные транспортные модули (STM), которые представляют собой циклическую структуру с периодом повторения 125 мкс. Основным модуль STM-1 и модули высших уровней: STM-4, STM-16 и STM-64.

Синхронная цифровая иерархия содержит три уровня, скорости передачи которых относятся как 1:4:16:64. Номера уровней совпадают с этими числами: первый уровень (STM-1) имеет скорость передачи 155520 Кбит/с (155 Мбит/с), STM-4 – 620 Мбит/с, STM-16 – 2,5 Гбит/с, STM-64 – 10 Гбит/с.

Если разделить скорость передачи соответствующего модуля на скорость передачи для одного канала (64 Кбит/с), можно, с учетом служебных каналов, определить количество телефонных каналов.

В соответствии с европейским стандартом при рассмотрении цифровых систем передачи используют не телефонный канал, а стандартные цифровые каналы, условно обозначаемые E-1 – E-5.

При использовании аппаратуры ИКМ канал E1 позволяет организовать 120 телефонных каналов. Аналогично разделив скорость передачи мультиплексора STM-1 (155 Мбит/с) на скорость передачи для канала E1 (2 Мбит/с) можно определить максимальное количество каналов E1 (максимальную нагрузку) для данного мультиплексора.

Однако, кроме информационной нагрузки, STM несут значительный объем избыточных сигналов, обеспечивающих функции контроля, управления и обслуживания, а также вспомогательные функции.

Поэтому, например, модуль STM-1 позволяет организовать не 77 (155 Мбит/с: 2 Мбит/с = 77,5), а 63 канала E1.

Характеристики синхронных мультиплексоров STM-1 и STM-4 приведены в таблице 5.

В этой таблице в графе «трибные интерфейсы» перечислены цифровые каналы, используемые в соответствующих типах мультиплексоров. Например, для системы SDM-1 (фирмы ECI) могут использоваться каналы E1, E3 и E4. В графе «максимальная нагрузка на мультиплексор» указано максимально-возможное число соответствующих цифровых каналов, которое можно организовать, используя данный тип оборудования. Например, для системы SDM-4 (фирмы ECI) можно организовать 288 каналов E1 или 18 каналов E3.

Для каждого комплекта аппаратуры STM-1 или STM-4 необходимо предусмотреть два оптических волокна: одно для организации связи в прямом, а второе – в обратном направлениях. Важной особенностью SDH мультиплексора является наличие двух оптических линейных выходов (каналов приема/передачи), называемых агрегатными выходами и используемых для создания режима 100%-ного резервирования или защиты по схеме «1+1» с целью повышения структурной надежности ВОЛС. При линейной топологии сети эти выходы называются основными и резервными. Возможность применения линейного резервирования указана в графе «Тип/схема защиты по выходу». При необходимости линейного резервирования для каждого комплекта аппаратуры STM -1 или STM –4 необходимо четыре оптических волокна: 2 основных и 2 резервных.

Исходные данные для выбора и организации системы передачи по ВОЛС приведены в таблицах 2 и 3 соответственно. Тип оборудования выбирается произвольно в соответствии с исходными данными и данными таблицы 5. Результаты расчета необходимо представить в виде таблицы 6. При этом

следует учесть, что каналы, заданные в таблицах 2 и 3 организуются по разным парам ОВ.

Таблица 5 – Сравнительные характеристики синхронных мультиплексоров ввода/вывода

Параметры мультиплексоров	Название фирмы				
	Alcatel	ECI	Lucent Technologies	Nortel	Siemens
Синхронные мультиплексоры — STM-1					
Тип оборудования	1640FOX	SDM-1	ADM 4/1(AM155)	TN-1X,-1X/4	SMA-1 R2
Трибные интерфейсы, Мбит/с	2,34, 140, 155	2,34, 140	2,34,140	2,34,155	2,34,140,155
Максимальная нагрузка на мультиплексор	63×2/3×34	96×2/6×34/4×140	126×2/3×34	63×2/3×34/45	126×2
Агрегатные интерфейсы: типы (число)	2×STM-1	2×STM-1	2×STM-1/4	2×STM-14(1/2)	2×STM-1
Тип/схема защиты по выходу	1:1, 1+1/SNCP	1:1, 1+1	1:1, 1+1/MSP	1:1, 1+1/MSP	1:1, 1+1/MSP, SNCP
Синхронные мультиплексоры — STM-4					
Тип оборудования	1650SM	SDM-4	ADM 4/1(AM155)	TN-4X,-4XE	SMA-4 R4
Трибные интерфейсы, Мбит/с	1,5/2,34/45, 140, 155	2,34, 140,155	2,34,140	2,34/45,140,15 5E+0	2,34,140,155
Максимальная нагрузка на мультиплексор	252×2/6×34	288×2/18×34	126×2/3×34	252×2/6×34/4 ×140	252×2/24×34
Агрегатные интерфейсы: типы (число)	2×STM-1/4	2×STM-4	2×STM-1/4	2×STM-1/4	2×STM-1/4
Тип/схема защищенного режима	1:1, 1+1/SNCP	1:1, 1+1/MSP	1:1, 1+1/MSP	1:1, 1+1/SNCP	1+1/SNCP/MS -SPRing

Таблица 6 – Выбор оборудования

Тип мультиплексора	Фирма	Тип оборудования	Требуемое количество мультиплексоров			Требуемое число ОВ		
			всего	В том числе		всего	В том числе	
				Для магистральной и дорожной связи	Для коммерческих нужд		Для магистральной и дорожной связи	Для коммерческих нужд
STM-1								
STM-4								
Итого:	-	-						

Например, пусть необходимо организовать 200 каналов E1 с использованием мультиплексора STM-4 и линейным резервированием по схеме «1+1». Из таблицы 5 выбираем аппаратуру типа 1650 SM фирмы Alcatel, т. к. она позволяет организовать потоки с заданными параметрами. Из таблицы 5 следует, что максимальная нагрузка на мультиплексор – 252 канала E1. Следовательно, для организации 200 каналов E1 требуется один комплект аппаратуры STM-4, с учетом 100%-ного резервирования общее количество волокон – 4.

3.2 Выбор оптического кабеля связи и распределение ОВ в кабеле

В пояснительной записке по данному пункту необходимо привести обоснование выбора марки оптического кабеля связи с краткой характеристикой его основных конструктивных элементов. Представить распределение оптических волокон в кабеле ОКМС, используя данные таблицы 6, а также исходные данные представленные в таблицах 2 и 3. Выбрать типы используемых ОВ, распределить ОВ в кабеле ОКМС в виде рисунка, аналогично рисунку 2 и таблицы 9; указать полную маркировку для выбранного кабеля и ее расшифровку.

В соответствии с заданием, необходимо предусмотреть строительство ВОЛС с использованием подвески ОК на опорах контактной сети. Для этого используют специальные марки ОК, например, кабель марки ОКМС фирмы «Трансвок».

ОКМС – кабель магистральной, самонесущий кабель для подвески на опорах контактной сети и линий автоблокировки железных дорог, на опорах линий электропередач до 110 кВ и воздушных линий связи и эксплуатации при температуре окружающей среды от - 60 до 4-70°C.

Кабель марки ОКМС полностью выполнен из диэлектрических

материалов и имеет внутреннюю и внешнюю оболочку из полиэтилена, защитные покровы выполнены из арамидных нитей. В сердечнике кабеля расположены 6 или 8 скрутки элементов (оптических модулей). Внешний и внутренний диаметр модулей составляет соответственно 2,0/1,3 мм, 2,4/1,6 мм и 3,0/1,9 мм. В каждом оптическом модуле располагаются от 2 до 12 одномодовых оптических волокон. Таким образом, всего в кабеле может быть уложено до 96 волокон.

Кабели сконструированы таким образом, чтобы гарантированно выдерживать эксплуатационные и климатические воздействия. Например, кабели для воздушной подвески типа ОКМС рассчитаны на перепады температуры от - 60 до +70°, растягивающие нагрузки до 10 кН, ветровые нагрузки со скоростью ветра до 43 м/с.

Кабели ОКМС имеют систему условных обозначений, приведенную в таблице 7.

Например, система условного обозначения кабеля марки ОКМС-А-4/2(2,4)Сп-12(2)/4(5) означает:

ОКМС - оптический кабель магистральный самонесущий;

Внешняя оболочка – полиэтиленовая (в обозначении не указывается);

Защитные покровы А – обмотка из арамидных нитей;

Внутренняя оболочка – полиэтиленовая (в обозначении не указывается);

Число оптических модулей в кабеле – 6, в том числе 4 – с оптическими волокнами и 2 – заполняющих;

Номинальный наружный диаметр соответственно оптического и заполняющего модуля – (2,4);

Центральный силовой элемент кабеля Сп – стеклопластиковый пруток;

Число оптических волокон – 16, в том числе 12 типа G.652 и 4 – G.655;

Тип оптического волокна (2) – G.652, (5) – G.655.

Таблица 7 – Система условного обозначения кабелей

Наименование элемента конструкции, характеристика	Символы для обозначения (выделены жирным шрифтом)
Оптический кабель: - магистральный самонесущий - магистральный в пневмотрубопровод - внутризоновый	ОКМС ОКМТ ОКЗ
	-дефис
Внешняя оболочка (материал)	- полиэтиленовая оболочка, в обозначении не указывается; В – оболочка из поливинилхлоридного пластика; Н – не респространяющая горение; ПТ – трекингостойкий полиэтилен.
Защитный покров (броня)	А – обмотка из арамидных нитей; С – оболочка из стальной гофрированной ленты.
Внутренняя оболочка (материал)	- полиэтиленовая оболочка, в обозначении не указывается; П – полиамидная оболочка.
	- дефис
Количественная характеристика сердечника кабеля	6, 8 – число оптических модулей в кабеле; .../... – для кабелей, имеющих кроме оптических модулей заполняющие модули, через знак «/» указывается число оптических модулей и число заполняющих модулей.
Номинальный наружный диаметр оптического модуля и заполняющего модуля	(2,0); (2,4); (3,0) указывается в скобках, после количественной характеристики сердечника кабеля.
Центральный силовой элемент кабеля	Сп – стеклопластиковый пруток; Т – стальной трос.
	- дефис
Предпочтительный ряд числа волокон -В кабеле (если волокна одного типа), шт - В модулях (если имеются модули с различными типами волокон) , шт	От 6 до 64 (четное число) От 2 до 56 (четное число) .../... для кабелей, имеющих различные типы волокон; через знак «/» указывается общее число волокон одного типа и общее число волокон другого типа, причем тип волокна указывается в скобках после числа волокон данного типа в кабеле.
Тип оптического волокна	Одномодовое оптическое волокно, соответствующее рекомендациям ITU.T. ... G.652 (2) G.653 (3) G.655 (5)

В соответствии с «Концепцией создания цифровой сети связи ОАО «РЖД» России на магистральных направлениях ВОЛС принята, в основном, емкость ВОК – 16 одномодовых волокон со следующим распределением:

4 ОВ – STM-4 с линейным резервированием 1+1;

2 ОВ – STM-1;

6 ОВ – для отделенческой связи;

4 ОВ – резерв и взаимный обмен с другими операторами Единой сети электросвязи.

Шесть оптических волокон, предназначенных для отделенческой связи, вводятся в служебно-технологические здания шлейфом на всех промежуточных станциях и разделяются на оптических кроссах. При расстоянии между узлами сети SDH, не превышающем 40 км, передача ведется на длине волны 1,31 мкм; на участках свыше 40 км – на длине волны 1,55 мкм.

В данном курсовом проекте следует предусмотреть 6 ОВ для оперативно-технологической связи и 4 ОВ – в качестве резервных. Причем эти две резервные пары ОВ не относятся к системе резервирования «1+1» и могут располагаться при наличии свободных мест в разных оптических модулях (ОМ).

Воспользовавшись данными таблицы 6 можно определить общее число ОВ и, следовательно, количество ОМ в кабеле (в одном ОМ в зависимости от конструкции ОК может располагаться от 2 до 12 ОВ). При этом желательно ОВ для разных типов мультиплексоров (STM-1 и STM-4) разместить в разных модулях, также разные ОМ обычно соответствуют разным маркам ОВ. Однако по конструкции ОК число ОВ в каждом ОМ должно быть одинаковое.

Марка оптических волокон определяется исходя из предполагаемого расстояния между НРП и необходимостью использования волокон со смещенной дисперсией. Расстояния между узлами сети SDH определяются на основе данных таблицы 10 в п. 3.4, поэтому целесообразно использовать ОВ, применяемые сразу в двух окнах прозрачности: как на длине волны 1,31 мкм (второе окно прозрачности), так и на длине волны 1,55 мкм (третье окно прозрачности).

Кроме обозначений первых трех окон указывается и более точный интервал, например, 1530-1565 нм, если ОВ оптимизировано для работы именно в этом интервале. Первоначально под окнами понимались узкие

области минимумов кривой поглощения света в ОВ в окрестности – 850 нм (1), 1310 нм (2), 1550 нм (3). Сейчас 2 окно – это область от 1280 до 1325 нм, 3 окно – от 1525 до 1565 нм, 4 окно – от 1565 до 1620 нм, 5 окно – 1325 до 1450 нм. Например, волокно *AllWave* (компании Lucent Technologies) можно работать в четырех окнах со 2 по 5, т. е. в полосе от 1280 до 1620 нм.

Волокна со смещенной и несмещенной дисперсией выбираются в соответствии с заданием в таблицах 2 и 3. Тип волокна определяется стандартом:

G.652 – Стандарт для «одномодового» волокна, имеющего нулевую дисперсию на 1,31 мкм и допустимого для работы на 1,55 мкм;

G.653 – Стандарт для «одномодового» волокна со смещенной дисперсией, имеющего нулевую дисперсию на 1,55 мкм и допустимого для работы на 1,31 мкм;

G.654 – Стандарт для «одномодового» волокна, оптимизированного по затуханию для работы на 1,55 мкм и имеющего нулевую дисперсию на 1,31 мкм;

G.655 – Стандарт для «одномодового» волокна со смещенной дисперсией, имеющего малую ненулевую дисперсию на 1,55 мкм и допустимого для работы на 1,31 мкм.

Для упрощения дальнейших расчетов рекомендуется выбирать стандарт G.655 для ОВ со смещенной дисперсией и обязательно предусмотреть использование в кабеле ОВ, имеющего нулевую дисперсию, стандарта G.652.

Основные характеристики одномодовых ОВ различных типов приведены в таблице 8 (н/д – нет данных, н/н – не нормированы, н/п – не применимо).

В таблице 8 тип волокна – стандартное одномодовое волокно обозначено как SSF, одномодовое волокно со смещенной дисперсией – DSF, для волокна с ненулевой смещенной дисперсией – NZDSF. Знак «+» означает, что дисперсионный параметр D (называемый также дисперсией, хотя эти понятия разные в том числе и по знаку) положительный, знак «-» – что он отрицателен.

Таблица 8 – Параметры промышленных одномодовых ОВ

Параметры		Параметры промышленного волокна									
		Cominq				Fujikura			Lucent		
Фирменное обозначение		SMF-28	SMF-DS	SMF-LS	LEAF	SM-9/125	DSM-8/125	DSMNZ-9/125	TrueWave	TrueWave RA	AllWave
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тип волокна		SSF	DSF	NZDSF-	NZDSF+	SSF	DSF	NZDSF	NZDSF+	NZDSF+	NZDSF+
Соответствие стандарту ITU-T		G.652	G.653	G.655	G.655	G.652	G.653	G.655	G.655	G.655	G.655
Рабочие окна прозрачности, нм		1310/1550	1550	1530-1560	1530-1625	1310/1550	1310/1550	1310/1550	1530-1560	1525-1620	1285-1620
Затухание, дБ/км		1310 нм	1383 нм (максимум OH)	1550 нм	в окне 1285-1330 нм	в окне 1525-1565/1575 нм					
		<0,4/0,34	<2,0/0,40	<0,30/0,20	<0,45/0,39	<0,35/0,25					
		<0,5/0,38	<2,0/0,6	<0,25	н/п	<0,3					
		<0,5/0,38	<2,0/0,6	<0,25	н/п	<0,3					
		<0,5	<1,0/0,6	<0,25	н/п	<0,3/0,25					
		<0,4/0,34	<0,60/0,55	<0,25/0,21	<0,39/0,3	<0,25					
		<0,45	<0,40	<0,25	н/д	<0,30					
		<0,45	н/д	<0,25	н/д	<0,25					
		<0,5/0,4	<2,0/0,5	<0,25/0,2	н/п	<0,3					
		<0,5/0,4	<1,0/0,5	<0,25/0,22	н/п	<0,3/0,27					
		<0,35	<0,31	<0,25/0,21	<0,45	<0,3/0,26					

Продолжение таблицы 8

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	в окне 1565-1620 нм	<0,35/0,25	<0,3	<0,3	<0,3/0,25	<0,25	<0,30	<0,25	<0,3	<0,3/0,27	н/д
Изменение дисперсии в окне 1550нм, пс/(нм.км)		7-11,5	<2,7	-3,5- -0,1	2,0-6,0	н/п	н/п	н/д	1,0-4,0/5,53	3-7	н/д
Дисперсия поляризованной моды (PMD), пс/км ^{-1/2}		<0,2	н/д	н/д	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Дисперсия PMD для протяженной линии, пс/км ^{-1/2}		<0,1	н/д	н/д	<0,08	н/д	н/д	н/д	н/д	<0,1	0,05
Ограничение по PMD на скорость передачи, Гбит/с		н/д	н/д	н/д	40	н/д	н/д	40	10	40	40
Диаметр сердцевины, мкм		8,3	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	6	н/д	н/д
Эффективная площадь светового поля, мкм ²		н/д	н/д	н/д	72	н/д	н/д	72	н/д	н/д	н/д
Числовая апертура		0,13	0,17	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13	н/д	н/д	н/д
Групповой показатель преломлен	1310 нмн	1,4675	1,4718	1,471	н/п	1,4668	1,468	н/д	1,4738	1,471	1,466
	1550 нм	1,4681	1,4711	1,470	1,469	1,4671	1,468	1,469	1,4732	1,47	1,467

Таким образом, зная общее число ОМ, требуемое число ОВ различных типов, а также используя указанные выше рекомендации можно выбрать типы ОВ, осуществить распределение ОВ в ОК и указать его полную маркировку с расшифровкой. Пример распределения ОВ в кабеле марки ОКМС-А-4/2(2,4)Сп-12(2)/4(5) приведен на рисунке 2 и в таблице 9.

Таблица 9 – Распределения ОВ в кабеле марки
ОКМС-А-4/2(2,4)СП-12(2)/4(5)

Номер волокна в кабеле	Номер модуля, цвет маркировки	Марка оптических волокон	Номер волокна в модуле	Примечание
1,2	1 красный	LEAF TM CPC 6	1,2	STM-4
3,4			3,4	STM-4(1+1)
5,6	2 зеленый	SMF-28TM CPC 6	1,2	STM-1
7,8			3,4	Оперативно-технологическая связь
-	3 натуральный	-	-	-
9,10	4 натуральный	SMF-28TM CPC 6	1,2	резерв
11,12			3,4	
13,14	5 натуральный	SMF-28 TM CPC 6	1,2	Оперативно-технологическая связь
15,16			3,4	
-	6 натуральный	-	-	-

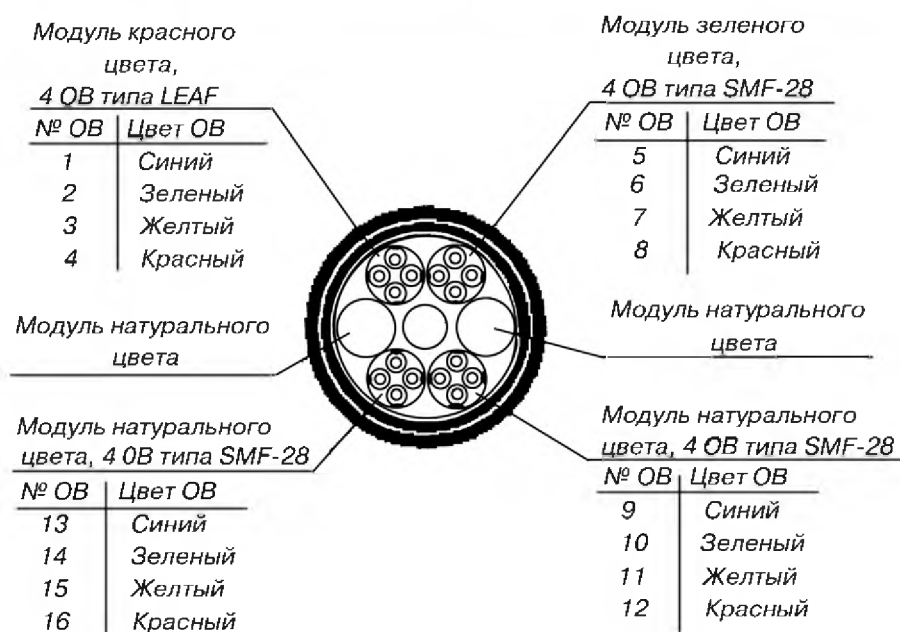


Рисунок 2 – Распределения ОВ в кабеле марки
ОКМС-А-4/2(2,4)СП-12(2)/4(5)

В приведенном примере выбраны ОВ типа SMF-28 и LEAF (последние – со смещенной дисперсией), предназначенные для работы одновременно

во втором и третьем окнах прозрачности. Для мультиплексора STM-4 с работой по схеме «1+1» предназначено 4 ОВ (1 модель), для STM-1 – два оптических волокна, причем для аппаратуры STM-4 используются волокна стандарта G.655, т.е. со смещенной дисперсией. Два оптических модуля (третий и шестой) являются заполняющими, т. е. без ОВ (пустыми).

В строгом соответствии с используемым типом ОВ и их распределением по ОМ указана маркировка кабеля ОКМС.

3.3 Расчет параметров световодов

В пояснительной записке по данному пункту необходимо рассчитать: собственное затухание ОВ (λ_c) для значения длины волны, указанного в таблице 4, а также дисперсию D_λ оптического волокна для третьего окна (1525 нм – 1565 нм) или четвертого окна прозрачности (1565 нм – 1620 нм) в соответствии с вариантом, указанным в таблице 4.

Все расчеты следует произвести для ОВ с несмещенной дисперсией, выбранного в п. 3.2 в соответствии с данными для этого ОВ, указанными в таблице 8.

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 величины. Потери наряду с дисперсией определяют длину регенерационного участка ВОЛС т.е. расстояние, на которое можно передавать сигнал без усиления. 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, $\alpha_{\text{п}}$ связанное с потерями на диэлектрическую поляризацию, линейно растет с частотой и существенно зависит от свойств

материала световода $\text{tg}\delta$.

Расчет затухания поглощения, дБ/км:

$$\alpha_n \approx \frac{\pi \cdot n}{\lambda} \text{tg}\delta \cdot 8,69 \cdot 10^9, \quad (1)$$

где n – групповой показатель преломления, заданный в таблице 8;

λ – длина волны, мкм;

$\text{tg}\delta=0,4 \cdot 10^{-11}$ – 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 рэлеевским и определяются по формуле, дБ/км,

$$\alpha_p = \frac{R_p}{\lambda^4}, \quad (2)$$

где λ – длина волны, мкм;

R_p – коэффициент рассеяния, зависит от материала ОВ,
 $R_p = 0,7 - 0,9[(\text{мкм}^4 \cdot \text{дБ})/\text{км}]$.

Другими факторами, которые вносят вклад в общие потери, могут быть потери, вызванные механическими, конструктивными и эксплуатационными факторами при использовании волокна, а именно:

- потери, вызванные наличием в материале волоконного световода

посторонних примесей;

- потери, вызванные различными дефектами при соединении волокон: несогласованностью размеров сердцевины волокон и ее эксцентриситетом; различием профилей показателей преломления волокон; несоосностью и скрещиванием продольных осей при соединении волокон; различием апертур волокон; неплоскостностью и плохой обработкой торцов волокон; неплотным соединением концов с образованием воздушной прослойки (потери на френелевское отражение); потери, вызванные микро- и макроизгибами волокна; потери, вызванные рассеянием на границе между сердцевинной и оболочкой.

Характер зависимости наиболее важной составляющей этих потерь – потерь от посторонних примесей рассеяния на микроизгибах $\alpha_{пр}$ – имеет вид

$$\alpha_{пр} = \frac{C_{ми}}{NA^6}, \quad (3)$$

где $C_{ми}$ – постоянная потеря на микроизгибах; для $\lambda=1,31$ мкм $C_{ми}=10^{-7}$; для $\lambda=1,55$ мкм $C_{ми}=0,8 \cdot 10^{-7}$;

NA – числовая апертура, указанная в таблице 8.

Суммарное значение собственного затухания оптического волокна в общем случае

$$\alpha_c = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_{нк} + \alpha_{пр}, \quad (4)$$

где $\alpha_{нк}$ – коэффициент затухания в инфракрасной области, расположенной в диапазоне длин волн свыше 1,6 мкм (для заданных длин волн не рассчитывается).

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. Так как импульсы передаются друг за другом с определенной частотой, то в результате наступает такой момент, когда соседние импульсы начинают перекрывать друг друга и вместо отдельных световых импульсов в световоде будет иметь место сплошной световой поток. Данное явление в теории

световодов называют дисперсией.

Расширение импульсов устанавливает предельные скорости передачи информации по световоду при цифровой модуляции и при малых потерях ограничивает длину ретрансляционного участка. Дисперсия ограничивает пропускную способность ВОЛС, которая предопределяет полосу частот ΔF , 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, пс/км:

$$D = \sqrt{t_{\text{вых}}^2 - t_{\text{вх}}^2}. \quad (5)$$

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. Модовая 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

$$D = \sqrt{\tau_{\text{мод}}^2 + (\tau_{\text{мат}} + \tau_{\text{вв}})^2}. \quad (6)$$

Данная формула справедлива для многомодовых световодов. В одномодовых световодах отсутствует модовая дисперсия. Здесь проявляются

волновая и материальная дисперсии:

$$D = \tau_{mat} + \tau_{ов}. \quad (7)$$

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 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.

В соответствии с заданием, дисперсия D_λ [(пс/(нм·км))] на длине волны 1550 нм для 3 и 4 окна прозрачности (см. табл. 8) может быть рассчитана, используя линейную интерполяцию и граничные значения указанного параметра:

$$D_\lambda = \left(D_{\lambda_{np}} - D_{\lambda_{лев}} \right) \cdot \frac{\lambda - \lambda_{np}}{\Delta\lambda} + D_{\lambda_{np}}, \quad (8)$$

где $D_{\lambda_{np}}$ и $D_{\lambda_{лев}}$ – значения дисперсии на границах окна (правой и левой соответственно; см. табл. 8, показатель «Изменение дисперсии в окне 1550 нм»);

λ_{np} – правая граница соответственно третьего или четвертого окон прозрачности, нм;

$\Delta\lambda$ – ширина соответствующего окна прозрачности, нм.

Результаты расчета показателей α_n ; α_p ; α_{np} ; α_c и D_λ следует свести в таблицу.

3.4 Расчет длин регенерационных участков и размещение НРП по трассе кабеля

В пояснительной записке по данному пункту необходимо рассчитать максимальные допустимые значения длин регенераторных участков для различных типов используемого оборудования; выбрать станции на участке О-Х, на которых будут располагаться НРП ВОЛС, и соответствующие типы регенераторных секций для используемого оборудования; рассчитать параметры регенерационных участков и изобразить схематический план трассы ВОЛС.

1. Необходимо произвести расчет максимально допустимых длин регенерационных участков различных типов.

Классификация типов регенерационных участков (секций) приведена в таблице 10. Она дает стандартное обозначение секций в зависимости от уровня STM(1, 4, 16) и приведена для указанных трех типов применения: внутри станции (код использования I), между станциями – короткая секция (код использования S), между станциями – длинная секция (код использования L). В общем случае кодировка типов использования линейных регенераторных секций как оборудования SDH включает три элемента и имеет формат:

<код использования> – <уровень STM>.<индекс источника>

здесь «код использования» и «уровень STM» приведены выше, а «индекс источника» имеет следующие значения и смысл:

- 1 или без индекса – указывает на источник излучения с длиной волны 1310 нм;
- 2 – указывает на источник излучения с длиной волны 1550 нм для волокна, соответствующего стандартам ITU-T G.652 (секции S) и G.652, G.655 (секции L);
- 3 – указывает на источник излучения с длиной волны 1550 нм для волокна, соответствующего стандарту G.653.

Таблица 10 – Классификация стандартных оптических интерфейсов

Использование		Внутри станции	Между станциями				
			Короткая секция		Длинная секция		
Длина волны источника, нм		1310	1310	1550	1310	1550	
Тип волокна		Rec.G.652	Rec.G.652	Rec.G.652	Rec.G.652	Rec.G.652 Rec.G.655	Rec.G.653
Расстояние (км) ^{a)}		≤2	~ 15		~40	~80	
Уровни STM	STM-1	1-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1.	L-1.2	L-1.3
	STM-4	1-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
	STM-16	1-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3

* Расстояние условны и используются для классификации, а не для расчетов в технических заданиях.

Например, обозначение L–4.3 расшифровывается как длинная межстанционная регенерационная секция линейного оборудования STM–4, использующая источник излучения (света) с длиной волны 1550 нм.

В курсовом проекте рекомендуется использовать только длинные L–секции. В соответствии с исходными данными (таблицы 2 и 3, а также таблицей 6) необходимо определить типы секций, которые могут быть применены в курсовом проекте. Например, если в проекте используются волокна стандарта G.655 и G.652 для аппаратуры STM-1 и STM-4, то можно использовать секции L–1.1, L-1.2, L-4.1 и L–4.2. Эти секции будут различаться длиной волны λ , мкм и максимально допустимыми потерями на секцию А, дБ, значения которых приведены в таблице 11 (для фирмы Nortel).

Таблица 11

Тип секции	L-1.1	L-1.2	L-1.3	L-4.1	L-4.2	L-4.3
Максимально допустимые потери на секцию, дБ	28	28	28	29,5	29,5	29,9

Далее, воспользовавшись расчетами в п.3.3 и данными таблицы 8 следует определить два максимальных значения собственного затухания оптического волокна: α_{c1} – на длине волны 1,31 мкм и α_{c2} – на длине волны 1,55 мкм. Пусть например, в п. 3.3 в соответствии с вариантом было рассчитано α_{c2} для волокна

SMF-28 типа G.652 на длине волны 1,55 мкм: $\alpha_{c2} = 0,28$ дБ/км. В кабеле также используется волокна типа LEAF (G.655). По данным таблицы 8 для волокна SMF-28 $\alpha_{c2} = 0,3$ дБ/км, а для волокна типа G.655 – $\alpha_{c2} = 0,25$ дБ/км. Из этих трех значений выбираем максимальное: $\alpha_{c2} = 0,3$ дБ/км. Аналогично для двух значений $\alpha_{c1} = 0,4$ дБ/км и $\alpha_{c1} = 0,5$ дБ/км (по данным таблицы 8 для волокон SMF-28 и LEAF) выбираем $\alpha_{c1} = 0,5$ дБ/км.

Таким образом, для рассмотренного случая имеем четыре варианта исходных данных, представленных в таблице 12.

Таблица 12

Значения параметров	Тип секции			
	L-1.1	L-1.2	L-4.1	L-4.2
A, дБ/км	28	28	29,5	29,5
α_c , дБ/км	0,5	0,3	0,5	0,3

В соответствии с этими исходными данными необходимо рассчитать четыре максимально возможных длины соответствующих регенерационных участков $l_{py1} - l_{py4}$, км

$$L_{py} = \frac{A - n\alpha_p - A_3 - \alpha_{np}m}{\alpha_c + \Delta\alpha + \frac{\alpha_{np}}{L_{cd}}}, \quad (9)$$

где A – максимально допустимые потери на участок (таблица 12), дБ;

α_p – затухание разъемного соединения, дБ, $\alpha_p = 0,3-0,5$ дБ;

n – количество разъемных соединителей, $n=2$;

A_3 – эксплуатационный запас на затухание кабеля с учетом будущих изменений его конфигурации, дБ, $A_3=4-6$ дБ;

α_c , – километрическое затухание одномодового ОВ на расчетной длине волны (таблица 12), дБ;

$\Delta\alpha$ – увеличение затухания ОВ при температуре воздуха ниже -40°C , $\Delta\alpha$ не превышает 0,05 дБ;

α_{np} – затухание неразъемного (сварного) соединения, α_{np} не должно превышать 0,1 дБ;

L_{cd} – строительная длина кабеля (таблица 4 по вариантам), км;

m – количество промежуточных вводов магистрального кабеля на регенерационном участке (предварительно $m=2$).

Результаты расчета следует представить в виде таблицы 13.

Таблица 13 - Результаты расчета

Тип секции	L-1.1	L-1.2	L-4.1	L-4.2
l_{py} , км				

В приведенном примере в кабеле использовались ОВ, предназначенные для передачи на длине волны 1,31 мкм и 1,55 мкм, а также применялась аппаратура как STM-1, так и STM-4. Если в соответствии с вариантом в проекте используется только один тип аппаратуры (например, STM-4) и тип ОВ G.652 и G.655, либо один из них, то в таблицах 12 и 13, а также в последующих шагах следует рассматривать только два типа регенерационных участков (соответственно, L-4.1 и L-4.2), если же, например; используются волокна стандартов G.652 и G.653 – и система STM-1 и STM-4, то необходимо рассмотреть шесть типов регенерационных участков.

2. Необходимо разместить НРП по трассе ВОЛС и выбрать тип секции для каждого из полученных регенераторных участков.

Исходные данные об участке О-Х приведены в таблице 1. На станциях О и Х следует разместить обслуживаемые регенерационные пункты. Затем на участке О-Х размещаются НРП. Для того, чтобы правильно расположить НРП по трассе и выбрать соответствующие типы секций необходимо выполнить следующие мероприятия:

- количество НРП должно быть минимальным;
- стремиться располагать НРП на станциях;
- для любого регенерационного участка следует учесть длину участка по кабелю, т.е. учесть провисание кабеля на опорах и изгибы трассы (4-5% от расстояния между станциями, на которых предполагается разместить НРП);
- длина любого регенераторного участка по кабелю не должна превышать

наименьшую из длин l_{py} для секций на длине волны 1,55 мкм (т. е. минимальное значение l_{py} для секций L-1.2, L-4.2, L-1.3, L-4.3).

Если данное условие не выполняется, то регенераторный участок делится на несколько частей в соответствии со значением l_{py} , при этом НРП ставятся на перегоне и на ограничивающих его станциях.

На основе полученных данных изображается схема трассы ВОЛС с размещенными на ней НРП, а также с указанием длин регенерационных участков по трассе и по кабелю.

Пример схемы трассы ВОЛС приведен на рисунке 3. В курсовом проекте схему трассы ВОЛС по сравнению с этим примером можно упростить. В данном примере указаны только те станции, на которых размещены НРП. Из рисунка видно, что аппаратура STM-4 с резервированием по схеме «1+1» на станции Глазов не требует усиления, ($l_{py}=68,45$ км), а аппаратура STM-1 без резервирования заводится на этой станции в НРП.

Для полученных на схеме трассы длин регенераторных участков по кабелю выбирается соответствующий тип секции:

- если для данного регенераторного участка полученная l_{py} по кабелю не превышает наименьшую из длин l_{py} для секции для длины волны $\lambda=1,31$ мкм (L-1.1 и L-4.1 см. табл. 13), то выбирается тип секции L-1.1 или/и L-4.1 для типа волокна G.652 и соответствующей аппаратуры STM-1 или/и STM-4 (для своих исходных данных);
- в противном случае выбирается тип секции для длины волны $\lambda=1,55$ мкм: в соответствии с заданием секции типа L-1.2 или/и L-4.2 или/и L-1.3 или/и L-4.3.

В соответствии с произведенным выбором заполняются первые 5 столбцов таблицы, отражающей параметры регенерационных участков по трассе кабеля. Пример такой таблицы приведен в виде таблицы 14.



Длина регенерационного участка (по кабелю), км	38,66	70,80	68,10	68,45		23,00
				38,40	30,5	



На основе полученных данных изображается схема трассы ВОЛС с размещенными на ней НРП, а также с указанием длин регенерационных участков по трассе и по кабелю.

Таблица 14 – Параметры регенерационных участков

Наименование участка	Система передачи	Длина участка, км	Длина волны, нм	Тип интерфейса	Затухание участка, дБ	Энергетический потенциал аппаратуры, дБ	Эксплуатационный запас по затуханию, дБ по проекту
Ст. Киров — ст. Бумкомбинат	STM-4	38,66	1550	L-4.2	12,43	29,5	17,07
	STM-1		1550	L-1.2		28	15,57
Ст. Бумкомбинат-ст.Зуевка	STM-4	70,80	1550	L-4.2	21,82	29,5	7,86
	STM-1		1550	L-1.2		28	6,18
Ст. Зуевка – ст. Яр	STM-4	68,10	1550	L-4.2	21,09	29,5	8,41
	STM-1		1550	L-1.2		28	6,91
Ст. Яр — ст. Балезино	STM-4	68,45	1550	L-4.2	22,08	29,5	7,42
Ст. Яр- ст.Глазов	STM-1	38,40	1550	L-1.2	12,27	28	15,73
Ст. Глазов — Ст. Балезино	STM-1	30,50	1550	L-1.2	9,81	28	18,19
Ст. Базено-ст. Пибаньшур	STM-4	23,00	1550	L-4.2	7,71	29,5	21,79
	STM-1		1310	L-1.1	10,93	28	17,07

3. Необходимо рассчитать затухание α , дБ для каждого регенерационного участка и эксплуатационный запас по затуханию, дБ.

Данные расчета заносятся в столбец 6 и 8 таблицы 14, чтобы рассчитать затухание участка необходимо воспользоваться формулой (9). При этом неизвестной величиной будет являться параметр A (в данном случае – затухание участка, дБ). Величина L_{py} , берется из таблицы 13, как длина участка; величина m будет соответствовать числу промежуточных станций на рассматриваемом регенерационном участке; остальные параметры использовались при расчете в п.п.1 данного пункта.

Значения эксплуатационного запаса по затуханию рассчитывается как разность энергетического потенциала аппаратуры и полученного затухания участка.

Список литературы

1. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Т.2 – Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / В. А. Андреев, А. В. Бурдин, Л. Н. Кочановский и др.; Под ред. В. А. Андреева. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010 – 424 с.
ЭБС «ibooks.ru», <https://ibooks.ru/bookshelf/333351>
ЭБС «e.lanbook.com», <https://e.lanbook.com/book/5113>
2. Родина О.В. Волоконно-оптические линии связи. Практическое руководство – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 400 с.
ЭБС «ibooks.ru», <https://ibooks.ru/bookshelf/334026>
ЭБС «e.lanbook.com», <https://e.lanbook.com/book/111094>
3. "СО 153-34.48.519-2002. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 0,4 - 35 кВ" (утв. Минэнерго России 27.12.2002, Минсвязи России 24.04.2003) – М.: ЦПТИ ОРГРЭС, 2004 – 54 с.
4. Нормы приемо-сдаточных измерений элементарных кабельных участков магистральных и внутризоновых подземных волоконно-оптических линий передачи сети общего пользования, утвержденные приказом Госкомсвязи от 17.12.1997 №97 – 11 с.