

Содержание

Введение	3
Задание на курсовую работу (проект)	4
1 Выбор варианта и обоснование проектных решений	6
1.1 Трасса кабельной линии передачи	6
1.2 Расчёт уровня телекоммуникационной системы	6
1.3 Выбор и характеристика транспортной системы	9
1.3.1 Система передачи	9
1.3.2. Ввбор модуля SFP	12
1.4 Выбор типа оптического кабеля	13
1.5 Расчёт предельных длин участков регенерации	16
1.6 Схема организации связи	18
1.6.1 Особенности построения схемы организации связи	18
2 Расчёт параметров волоконно-оптической линии передачи	19
2.1 Расчёт затухания на участке регенерации	19
2.2 Расчёт коэффициента ошибок одиночного регенератора	20
2.3 Расчёт энергетического запаса	21
2.4 Расчёт дисперсии линейного сигнала	22
Заключение	24
Литература	25
Приложения	26

Введение

Глобальная информационная структура должна поддерживать существующие и будущие средства электросвязи, информационные технологии и бытовую электронику, интерактивные, вещательные и мультимедийные возможности. Она охватывает проводные и радиосредства связи, стационарные и подвижные сети. Таким образом, информационная структура представляет собой интеграцию электросвязи, информатизации, компьютеризации, баз данных и бытовой электроники. Интеграция этих областей невозможна без унификации формы представления информации с целью ее передачи и хранения. Цифровая форма предоставления информации является универсальной.

Унификация различных видов передаваемой информации позволяет стандартизировать оборудование передачи, обработки и хранения информации. Интеграция систем передачи информации и систем коммутации создает полностью цифровые телекоммуникационные сети, которые обладают высокой помехоустойчивостью, надежностью и эффективностью.

Цифровые методы передачи наиболее эффективны при работе по оптическим линиям связи, позволяющим организовать передачу высокоскоростных потоков информации с относительно редким расположением промежуточных станций.

Передача, обработка и коммутация сигналов в цифровой форме позволяет реализовать весь аппаратный комплекс цифровой сети на электронной основе с широким применением цифровых интегральных схем, что снижает стоимость оборудования, потребляемую энергию и габаритные размеры.

Благодаря появлению современных волоконно-оптических кабелей (ВОК) оказались возможными высокие скорости передачи в линейных трактах (ЛТ) цифровых систем передачи с одновременным удлинением секций регенерации до 100 км и более. Производительность таких ЛТ превышает производительность цифровых трактов на кабелях с металлическими парами в 100 и более раз, что радикально увеличивает их экономическую эффективность.

ВОК является наиболее перспективным средством передачи информационных сигналов благодаря следующим достоинствам:

- малые потери в широчайшем диапазоне частот и скоростей (Гига - и Терабиты/с);
- возможность использования в МТС частотно-временных технологий разделения сигналов;
- практическое отсутствие взаимных влияний между оптическими волокнами (ОВ) внутри ВОК, выхода энергии за пределы оболочки ВОК и поступления помех в кабель через оболочку;
- возможность обходиться без сложных кодов и технологий для повышения помехозащищенности сигналов;
- относительно низкая и постоянно снижающаяся стоимость ВОК за счет дешевизны исходных материалов для изготовления ОВ и непрерывного совершенствования технологий их изготовления. С учетом выпускаемых ВОК, содержащих свыше 100 ОВ, позволит удовлетворить потребности в передаче информации на многие десятилетия. Между тем, возможности оптической связи еще далеко не исчерпаны. Этому способствует отсутствие необходимости в применении сложных дорогостоящих систем защиты от внутренних и внешних источников помех, а также защиты от несанкционированных действий. Фотонные технологии позволяют сделать весь оптический тракт (системы передачи и коммутации) чисто оптическим, что увеличивает эффективность применения ВОК.

Задание на курсовую работу (проект)

При проектировании оптической линии передачи необходимо:

- 1) выбрать трассу линии передачи между заданными городами;
- 2) определить число организуемых каналов (ТЧ, ОЦК и Ethernet) и групповых трактов;
- 3) выбрать транспортную систему передачи соответствующего уровня и каналобразующее оборудование;
- 4) выбрать тип оптического кабеля, количество оптических волокон и их тип;
- 5) рассчитать предельные длины регенерационных участков по дисперсии и затуханию;
- 6) рассчитать количество регенерационных участков и регенерационных пунктов;
- 7) составить схему организации связи;
- 8) выполнить комплектацию оборудования отдельно по оконечным пунктам, по обслуживаемым промежуточным пунктам и линейному тракту;

Раздел «Содержание» кроме указанных вопросов должен содержать «Введение», «Заключение» и «Список использованных источников информации».

Курсовую работу (проект) следует выполнить на листах формата А4 рукописным методом или распечаткой на принтере.

При выполнении работы (проекта) следует учесть, что НРП и ОРП желательно размещать в населённых пунктах для обеспечения электропитания телекоммуникационного оборудования.

Варианты индивидуальных заданий(последние две цифры студенческого билета)

Вариант	Оконечные пункты (км)	Вариант	Оконечные пункты (км)
01	Самара – Сызрань (170)	51	Самара – Казань (370)
02	Самара – Тольятти (88)	52	Самара – Саратов (410)
03	Самара – Похвистнево (160)	53	Самара – Оренбург (450)
04	Самара – Кошки (130)	54	Самара – Пенза (420)
05	Самара – Сергиевск (120)	55	Самара – Ульяновск (240)
06	Самара – Шентала (190)	56	Абакан – Красноярск (410)
07	Самара – Бол.Черниговка (150)	57	Абакан – Кызыл (390)
08	Самара – Шигоны (160)	58	Астрахань – Волгоград (430)
09	Самара – Нефтегорск (100)	59	Астрахань – Элиста (310)
10	Самара – Борское (150)	60	Белгород – Воронеж (260)
11	Самара – Камышла (180)	61	Белгород – Курск (140)
12	Казань – Альметьевск (270)	62	Брянск – Смоленск (250)
13	Казань – Буинск (140)	63	Брянск – Орел (130)
14	Казань – Нурлат (230)	64	Владивосток – Находка (180)
15	Казань –Набережные Челны(240)	65	Владимир – Рязань (290)
16	Казань – Чистополь (140)	66	Владимир – Ярославль (240)

Вариант	Оконечные пункты (км)	Вариант	Оконечные пункты (км)
17	Уфа – Баймак (460)	67	Владикавказ – Ставрополь (380)
18	Уфа – Белебей (190)	68	Великие Луки – Новгород (340)
19	Уфа – Кумертау (240)	69	Вологда – Череповец (140)
20	Уфа – Нефтекамск (220)	70	Вологда – Ярославль (200)
21	Уфа – Туймазы (170)	71	Барнаул – Бийск (160)
22	Уфа – Учалы (410)	72	Воронеж – Курск (230)
23	Уфа – Янаул (220)	73	Воронеж – Орел (330)
24	Оренбург – Бузулук (260)	74	Воронеж – Тамбов (220)
25	Оренбург – Магнитогорск (430)	75	Екатеринбург – Тюмень (330)
26	Оренбург – Орск (290)	76	Екатеринбург – Челябинск(210)
27	Саратов – Балаково (160)	77	Иваново – Н.Новгород (250)
28	Саратов – Балашов (220)	78	Иваново – Ярославль (120)
29	Саратов – Пенза (230)	79	Ижевск – Киров (410)
30	Саратов – Ртищево (210)	80	Ижевск – Пермь (320)
31	Волгоград – Камышин (190)	81	Кемерово – Барнаул (400)
32	Волгоград – Урюпинск (340)	82	Кемерово – Новосибирск (260)
33	Волгоград – Элиста (300)	83	Кемерово – Томск (220)
34	Смоленск – Гагарин (230)	84	Кострома – Ярославль (84)
35	Смоленск – Дорогобуж (90)	85	Краснодар – Ставрополь (330)
36	Смоленск – Рославль (110)	86	Курган – Тюмень (200)
37	Краснодар – Адлер (320)	87	Курган – Челябинск (360)
38	Краснодар – Армавир (220)	88	Липецк – Пенза (420)
39	Краснодар – Белая Глина (250)	89	Липецк – Тамбов (130)
40	Краснодар – Ейск (250)	90	Н.Новгород – Саранск (290)
41	Ростов-на-Дону–Морозовск(250)	91	В.Новгород – Псков (210)
42	Ростов-на-Дону–Волгодонск(240)	92	Новосибирск – Томск (270)
43	Владимир – Муром (130)	93	Новосибирск – Куйбышев (330)
44	Вологда – Великий Устюг (440)	94	Пенза – Тамбов (290)
45	Вологда – Вытегра (320)	95	Рязань – Тамбов (290)
46	Великие Луки – Псков (270)	96	Ставрополь – Элиста (260)
47	Воронеж – Борисоглебск (220)	97	Тверь – Ярославль (380)
48	Кемерово – Новокузнецк (220)	98	Ульяновск – Казань (220)
49	Мурманск – Кандалакша (250)	99	Ульяновск – Чебоксары (240)
50	Челябинск – Магнитогорск (300)	100	Уфа – Челябинск (420)

Порядок выполнения курсового проекта.

1 Выбор варианта и обоснование проектных решений

1.1 Трасса кабельной линии передачи

Выбор трассы волоконно-оптической линии определяется расположением пунктов, между которыми должна быть обеспечена связь. Обычно рассматривается несколько вариантов трассы и на основе технико-экономического сравнения выбирается оптимальный. При выборе трассы необходимо обеспечить:

- наикратчайшее протяжение трассы;
- наименьшее число препятствий, усложняющих и удорожающих стоимость строительства (реки, карьеры, дороги и др.);
- максимальное применение механизации при строительстве;
- максимальные удобства при эксплуатационном обслуживании;
- минимальные затраты по защите линии от атмосферного электричества и сильноточных установок.

Исходя из этих требований, предпочтение отдаётся прокладке оптического кабеля вдоль автомобильных дорог /1/.

1.2 Расчет уровня ТКС

Расчет уровня ТКС сводится к определению количества каналов, организуемых в оптической линии передачи.

В рекомендациях МСЭ-Т G.703 определены скорости передачи цифровых потоков PDH и SDH и их соответствие уровням цифровой иерархии. В таблице 1.1 приведены уровни для Европейской схемы цифровой иерархии PDH и SDH.

Таблица 1.1 – Уровни потоков PDH и SDH

Уровень цифровой иерархии	Скорость передачи, Мбит/с	Число ОЦК (Ethernet)	Число потоков FE,GE
0	0,064	1	
E1	2,048 (2M)	30	
E2	8,448 (8M)	120	
E3	34,368 (34M)	480 (3)	
E4	139,264 (140M)	1920 (12)	
STM-1	155,520	1890 (12)	1 FE
STM-4	622,080		5 FE
STM-16	2 488,320		20FE/2GE
STM-64	9 953,280		80FE/8GE

Число каналов, связывающих заданные населенные пункты, в основном, зависит от численности населения в этих пунктах и от степени заинтересованности отдельных групп населения во взаимосвязи.

При прохождении трассы линии передачи следует рассчитывать число каналов, связывающих каждый населенный пункт со всеми другими по отдельности, просуммировать количество каналов для каждого сечения линии передачи и выбрать максимальное число каналов из всех рассмотренных сечений.

Численность населения в любом населенном пункте может быть определена на основании статистических данных последней переписи населения. Обычно перепись населения осуществляется один раз в пять лет, поэтому при перспективном проектировании следует учесть прирост населения. Количество населения в заданном пункте и его подчиненных окрестностях с учетом среднего прироста населения определяется по формуле:

$$N_t = N_0 \left(1 + \frac{\Delta N}{100} \right)^t, \text{ чел.}, \quad (1.1)$$

где N_0 - число жителей на время проведения переписи населения, чел.;

ΔN - средний годовой прирост населения в данной местности, % (принимается 1...2%);

t - период, определяемый как разность между назначенным годом перспективного проектирования и годом проведения переписи населения, год.

Год перспективного проектирования принимается на 5 ... 10 лет вперед по сравнению с текущим временем. Если в проекте принять 5 лет вперед, то

$$t = 5 + (t_n - t_0),$$

где t_n - год составления проекта;

t_0 - год, к которому относятся данные N_0 .

По формуле (1.1) рассчитывается численность населения в населенных пунктах А и Б.

Степень заинтересованности отдельных групп населения во взаимосвязи зависит от политических, экономических, культурных и социально-бытовых отношений между группами населения, районами и областями. Взаимосвязь между заданными оконечными и промежуточными пунктами определяется на основе статистических данных, полученных предприятиями связи за предшествующие проектированию годы. Практически эти взаимосвязи выражают через коэффициент тяготения K_T , который, как показывают исследования, колеблется в широких пределах от 0,1 до 12 %. В проекте можно принять $K_T=5\%$, то есть в безразмерных величинах $K_T = 0,05$.

Учитывая это, а также то обстоятельство, что телефонные каналы в междугородной связи имеют превалирующее значение, предварительно необходимо определить количество телефонных каналов между заданными пунктами. Для расчета количества телефонных каналов можно воспользоваться формулой:

$$n_{\text{тлф}} = \alpha \cdot K_T \cdot y \frac{m_a \cdot m_b}{m_a + m_b} + \beta, \quad (1.2)$$

где α и β - постоянные коэффициенты, соответствующие фиксированной доступности и заданным потерям; обычно потери задаются равными 5 %, тогда $\alpha = 1,3$ и $\beta = 5,6$;

y - удельная нагрузка, то есть средняя нагрузка, создаваемая абонентами, $y = 0,05$ Эрл.;

m_a и m_b - количество абонентов, обслуживаемых оконечными АМТС соответственно в пунктах А и Б.

В перспективе количество абонентов, обслуживаемых той или иной оконечной АМТС, определяется в зависимости от численности населения, проживающего в зоне обслуживания. Принимая средний коэффициент оснащенности активного населения телефонными аппаратами равным 0,9, количество абонентов в зоне АМТС можно рассчитать по формуле:

$$m = 0,9 \cdot N_t . \quad (1.3)$$

Таким образом, можно рассчитать число каналов для телефонной связи между заданными пунктами.

По кабельной линии передачи организуются каналы и других видов связи, а также транзитные каналы. Тогда общее число каналов между двумя АМТС будет равно:

$$n = 2n_{\text{тлф}} , \quad (1.4)$$

где $n_{\text{тлф}}$ - число каналов ТЧ или ОЦК для телефонной связи;

Поскольку число каналов для организации связи различного назначения может быть выражено через число телефонных каналов, то есть каналов ТЧ, целесообразно общее число каналов между пунктами выразить через телефонные каналы. Количество потоков Ethernet можно упрощённо определить из объёма передаваемых данных. Один поток Ethernet передаётся в пяти потоках E1.

Исходя из рассчитанного числа каналов ТЧ, определяется необходимое число цифровых потоков для организации связи между рассматриваемыми пунктами:

$$\text{для телефонии} \quad n_{E1} = n_{\text{тч}} : 30,$$

$$\text{для Ethernet} \quad n_{\text{Eth}} = n_{E1},$$

Для организации связи между офисом и филиалом берём поток Fast-Ethernet, скорость передачи которого 100 Мбит/с.

Отсюда общая загрузка разрабатываемой системы определяется суммарной скоростью передачи телефонных каналов и потоков пакетной передачи данных:

$$B = n_{E1} \cdot 2,048 + n_{\text{Eth}} \cdot 10 + 100 \text{ [Мбит/с]} \quad (1.5)$$

Пример.

Допустим, что по итогам переписи населения 2010 года в городе А проживало 1 000 000 жителей, а в городе В – 100 000 жителей.

Тогда согласно формуле (1.1):

$$\text{Число жителей в А: } N_t(A) = 1\,000\,000 (1+0,01)^{(5+(2014-2010))} = 1\,093\,685 \approx 1\,100\,000 \text{ человек}$$

$$\text{Число жителей в В: } N_t(B) = 100\,000 (1+0,01)^{(5+(2014-2010))} = 109\,369 \approx 110\,000 \text{ человек}$$

Принимая средний коэффициент оснащённости активного населения телефонными аппаратами равным 0,9, согласно (1.3) получаем количество абонентов:

$$m(A) = 0,9 \cdot N_t(A) = 0,9 \cdot 1\,100\,000 = 990\,000 \text{ абонентов,}$$

$$m(B) = 0,9 \cdot N_t(B) = 0,9 \cdot 110\,000 = 99\,000 \text{ абонентов.}$$

Для расчета количества телефонных каналов можно воспользоваться формулой (1.2):

где $\alpha = 1,3$; $\beta = 5,6$; $\gamma = 0,05$ Эрл.;

$$\text{Тогда, } n_{\text{тлф}} = 1,3 \cdot 0,05 \cdot 0,05 \frac{990000 \cdot 99000}{990000 + 99000} + 5,6 = 298 \text{ каналов}$$

Согласно (1.4) принимаем необходимое количество дуплексных каналов: $n = 2 \cdot 298 = 596$.

Исходя из рассчитанного числа каналов ТЧ, определяется необходимое число цифровых потоков для организации связи между рассматриваемыми пунктами:

$$\text{для телефонии} \quad n_{E1} = n_{\text{тч}} : 30, = 596/30 \approx 20 \text{ потоков E1}$$

$$\text{для Ethernet} \quad n_{\text{Eth}} = n_{E1}, \text{ принимаем тоже 20 потоков Ethernet.}$$

Для организации связи между офисом и филиалом берём поток Fast-Ethernet, скорость передачи которого 100 Мбит/с.

Отсюда согласно (1.5) общая загрузка разрабатываемой системы определяется

суммарной скоростью передачи телефонных каналов и потоков пакетной передачи данных:

$$V = n_{E1} \cdot 2,048 + n_{Eth} \cdot 10 + 100 = 20 \cdot 2,048 + 20 \cdot 10 + 100 = 341 \text{ [Мбит/с]}$$

Отсюда по табл. 1.1 выбираем уровень системы передачи соответствующей рассчитанной скорости.

1.3 Выбор и характеристика транспортной системы

Исходной информацией для выбора ВОСП является количество организуемых каналов ТЧ, ОЦК или цифровых потоков различного уровня и количество потоков Ethernet. Таким образом, выбор ВОСП определяется характером передаваемой информации (телефония, передача данных, видеотелефон и др.), а также числом организуемых каналов /2/. Следует при этом иметь в виду, что в настоящее время в ВОСП используется унифицированная каналообразующая аппаратура ЦСП различных ступеней иерархии, которые не всегда соответствуют конкретным уровням РДН. Обычно к ТКС используется наименование «система передачи».

Волоконно-оптической системой передачи или транспортной системой называется совокупность активных и пассивных устройств, предназначенных для передачи (транспортирования) информации на расстояние по ОВ с помощью оптических волн /6/. Следовательно, ВОСП – это совокупность электрических и оптических устройств и оптических линий передачи для создания, обработки и передачи (транспортирования) оптических сигналов.

Волоконно-оптической линией передачи (ВОЛП) понимается совокупность физических цепей, линейных трактов систем передачи, имеющих общие среду распространения (ОК), линейные сооружения и устройства их технического обслуживания и управления /7/.

Большинство ВОСП работают по ОК по двухволоконной схеме, когда для передачи информации в одном направлении используется одно ОВ, а для передачи в другом направлении – второе ОВ, расположенное в том же ОК.

Однако в последнее время появились ВОСП, работающие в одном ОВ для передачи информации в обоих направлениях. Например, аппаратура OMX-16S фирмы Siemens для передачи в одном направлении использует длину волны 1,3 мкм, а в другом – 1,55 мкм.

1.3.1 Системы передачи.

При проектировании оптической линии передачи с использованием ВОСП рекомендуется использовать продукцию ОАО «Русская телефонная компания», Россия, г. Новосибирск, выпускающей аппаратуру передачи потоков E1 (2,048 Мбит/с) и потоков Ethernet 10Tх/100Tх по оптическому волокну. В курсовом проекте можно использовать аппаратуру и других фирм-изготовителей. НПП «Полигон» (г.Уфа) поставляет на рынок волоконно-оптические системы передачи «Поликом» 200К, 200Т, 200ТВ, 300К, 300Т, 300ТВ. НПФ «Интек» (г.Уфа) выпускает ВОСП ОМС-4, ОМС-4М, ОМС-4С, ОМС-8. ЗАО «Борисоглебские системы связи» изготавливает аппаратуру ВОСП ТС 4Е1, ТС 8Е1, ТС 12Е1, ТС 16 Е1. Фирма «Ротек» (г.Москва) выпускает ВОСП Т-316(4Е1), Т-316(8Е1+), Т-316(16Е1+), Т-316(Е3). ЗАО НТЦ «Натекс» (г.Москва) – аппаратуру ВОСП ЕМХ-100, FOM 4, FOM 16, FOM 16Е.

Продукция ОАО «Русская телефонная компания» позволяет передавать между двумя или несколькими пунктами связи, по любому типу оптического кабеля, используя одно или два одномодовых или многомодовых оптических волокна потоки E1 (2,048 Мбит/с), потоки Ethernet 10Тх/100Тх или вместе потоки E1 и потоки Ethernet 10Тх/100Тх в групповом потоке, на расстояния от 0 до 200 км.

Вся аппаратура ОАО «Русская телефонная компания» асинхронная. От синхронной аппаратуры отличается тем, что не нужно задавать источник синхронизации и зависеть от него. Вследствие этого, аппаратура для передаваемых потоков прозрачна.

Аппаратура может работать по схеме организации связи «точка-точка» или «кольцо» по одному или двум оптическим волокнам. Аппаратура серии «Транспорт-32х30», аппаратура «СуперГвоздь» и аппаратура «АКУЛА» дополнительно могут работать по схемам организации связи «кольцо с резервированием» и «связь по одному волокну между несколькими пунктами связи».

Аппаратура питается от постоянного напряжения от -36 В до -72 В. В состав аппаратуры входят преобразователи для питания от переменного напряжения 220 В, 50 Гц. Аппаратура «Гвоздь», «СуперГвоздь», «АКУЛА», «БЕЛУХА» и «КОСАТКА» имеют две модификации полуккомплектов с возможностью выбора питания:

- от постоянного напряжения от -36 В до -72 В;
- от переменного напряжения 220 В, 50 Гц.

Для контроля и управления всеми типами аппаратуры можно использовать единое программное обеспечение «Центр управления ЦВОЛТ».

Аппаратура может работать при температуре окружающей среды от 5°C до 40°C и относительной влажности до 85% при температуре 25°C.

Срок службы не менее 20 лет.

Тип системы передачи и комплектация выбирается в зависимости от варианта разрабатываемой ВОЛС. В пояснительной записке необходимо обосновать выбор конкретной системы передачи и привести таблицу с техническими параметрами.

Ниже приведены для примера мультиплексоры ОАО «Русская телефонная компания», для которых так же приведены оптические модули SFP, являющиеся внешними интерфейсами. По параметрам модулей SFP производится расчёт длин участков регенерации. Критичными параметрами для определения энергетического потенциала участка регенерации является максимальная мощность излучателя и минимальный уровень чувствительности фотоприёмника, которые берутся из таблицы 1.2.

Оптические мультиплексоры FoMUX-4LE (8LE) на 4E1-8E1 + Fast Ethernet



155 М6/с

Оптические мультиплексоры FoMUX-4LE (-8LE) – простое и эффективное решение для одновременной передачи **4 или 8 каналов E1, Fast Ethernet 10/100 Mbps** и асинхронного канала RS-232C (115,2 кбит/с). Скорость выходного оптического тракта: 155 Мбит/с.

PDH оптический мультиплексор "Супергвоздь"



155 Мб/с

Бюджетный оптический мультиплексор для передачи от 4Е1 до 24Е1 и каналов Ethernet с высокой пропускной способностью для работы по одному или двум одномодовым или многомодовым оптическим волокнам. Топология: "точка-точка", "цепь", "кольцо", "кольцо с резервированием".

PDH оптический мультиплексор "Акула"



155 Мб/с

Оптический PDH мультиплексор "Акула" предназначен для передачи между двумя или несколькими пунктами связи, по одному или двум одномодовым или многомодовым оптическим волокнам, до 66 потоков Е1 и/или до 18 потоков Ethernet с пропускной способностью $n \cdot E1$, $n=1..22$. Топология: "кольцо", "кольцо с резервированием", "цепь", "точка-точка".

PDH Асинхронный оптический мультиплексор "Акула" (с SFP-модулями)



155 Мб/с

Модификация оптического мультиплексора «АКУЛА»: Базовый модуль №3 - с SFP разъемами. Скорость оптического группового сигнала - 155, 520 Мбит/с.

Оптический мультиплексор на 2Е1 с возможностью передачи смешанного TDM+IP трафика FlexGain FOM4E/2-SA



155 Мб/с

Оптический мультиплексор FlexGain FOM4E/2-SA предназначен для передачи до 2 потоков Е1 G.703 и Ethernet-трафика по одному или двум волокнам оптического кабеля. FlexGain FOM4E/2-SA выполнен в настольном исполнении. Оптический порт мультиплексора выполнен в виде слота для оптического SFP-модуля для быстрой и удобной адаптации под длину кабеля, тип волокна и количество используемых волокон для передачи данных. Управление оборудованием производится через порт RS232, Telnet, SNMP.

Оптический мультиплексор FoMUX-16GE на 16Е1 + Gigabit Ethernet



1,25 Гб/с

Оптический мультиплексор FoMUX-16GE – для передачи 16 потоков Е1 и 2-х портов Gigabit Ethernet по оптоволоконному кабелю. Прост в настройке и управлении. Скорость в оптическом потоке: 1,25 Гбит/с.

Оптические мультиплексоры MC04-DSL.GE



1,25 Гб/с

Оптические мультиплексоры MC04-DSL.GE - надёжные и многофункциональные устройства модульного типа для передачи смешанного трафика 1...16Е1 + Ethernet 1000 Base-T + FXO/FXS/RS-232 по оптоволоконной сети с поддержкой топологии "точка-точка", "линия", "кольцо с резервированием".

Оптический мультиплексор «СуперГвоздь-1GE»



1,45 Гб/с

Оптический мультиплексор PDH «СуперГвоздь-1GE» предназначен для передачи **8/ 16/ 24E1 + Ethernet 10/100/1000 Base-TX(LX) + Ethernet 100TX + 12*RS-232** в оптическом тракте на основе SFP-модулей со скоростью 1,450 Гбит/с. Количество пунктов связи в сети: до 48, с возможностью выделения любых интерфейсов в любом пункте.

Оптический мультиплексор «БЕЛУХА»



2,2 Гб/с

Оптический мультиплексор «БЕЛУХА» предназначен для работы в кольце (до 132 пунктов связи) по одному волокну. Передаёт до **66 потоков E1** и потоки **Ethernet** с общей пропускной способностью в оптическом тракте 2,235Гбит/с.

Оптический мультиплексор «КОСАТКА»



4,7 Гб/с

Оптический мультиплексор «КОСАТКА» предназначен для передачи до **144 потоков Ethernet** и **132 потоков E1** с общей пропускной способностью 4,7 Гбит/с.

Пример. Из приведенных выше мультиплексоров подходящим для рассчитанной скорости в 341 Мбит/с (из предыдущего примера) подойдет оптический мультиплексор «СуперГвоздь-1GE», т.к. он позволяет передавать 20 потоков E1 + 20 потоков Ethernet + FastEthernet поток. Для дальнейшего расчета предельных длин участков регенерации необходимо выбрать оптический модуль SFP, являющиеся внешними интерфейсами магистрального потока. Он выбирается из табл. 1.2. Для приведенного примера подойдет модуль SFP-G-S1550/120-D по скорости передачи, длине волны, количеству волокон и дальности связи. Его параметры необходимо использовать для дальнейших расчетов длины регенерационного участка.

1.3.2 Выбор оптического модуля SFP.

SFP-модули предназначены для установки в телекоммуникационное оборудование отечественных и зарубежных изготовителей. В курсовом проекте можно использовать модули различных фирм-изготовителей. Для этого в сети интернет ознакомиться с предлагаемыми SFP-модулями и выбрать подходящий по скорости передачи, длине волны, количеству волокон, дальности связи и т.д.

SFP-модули работают по одному или двум оптическим волокнам. Скорости передачи: от 155 Мбит/с до 10 Гбит/с.

Все возможные SFP-модули с их характеристиками в методической разработке привести не представляется возможным. Для примера приведены технические характеристики SFP-G.

Таблица 1.2 Характеристики модулей SFP

Модификация SFP-модуля	Тип оптического кабеля (длина волны передатчика/ приемника, нм)	Кол-во оптич. волокон	Выходная оптическая мощность, dBm, не менее	Минимальная допустимая входящая оптическая мощность dBm	Дальность связи, км
SFP-G-S1550/60-D	SM(1550/1550)	2	0	-24	60
SFP-G-S1550/120-D	SM(1550/1550)	2	-5	-32	120
SFP-G-S1550:1490/60-D	SM(1550/1490)	1	0	-24	60
SFP-G-S1490:1550/120-D	SM(1490/1550)	1	0	-32	120
SFG-X12-D	1550	2	5 до 0	-30	120
SFG-X16-D	1550	2	5 до 1	-36	160
SFG-X18-D	1550	2	6 до 3	-36	180
SFG-X20-D	1550	2	8 до 5	-36	200
SFG-W08(L)	1510/ 1570	1	3 до -2	-25	80
SFG-V08	1490/ 1550	1	3 до -2	-25	80
SFG-V08-D	1490/ 1550	1	3 до -2	-25	80
SFG-W12-D	1510/ 1570	1	5 до 0	-30	120
SFG-V12-D	1490/ 1550	1	5 до 0	-30	120
SFG-W16-D	1510/ 1570	1	6 до 3	-34	160

Технические характеристики модулей SFP-G:

- соответствуют спецификации: SFF-8074i;
- скорость работы: 1250 Мбит/с;
- соответствуют стандарту IEEE802.3z;
- функция цифровой диагностики: DDMI (только модули с маркировкой “D”);
- допускается "горячая" замена модуля, без выключения электропитания оборудования (hot-swap);
- тип оптического волокна: многомодовое (MM) или одномодовое (SM);
- напряжение питания: 3,3 В;

характеристики лазера:

- класс 1, удовлетворяет требованиям: EN 60825-1, 21 CFR 1040.10 и 1040.11.
- Излучение лазера безопасно для глаз.

1.4 Выбор типа оптического кабеля

Волоконно-оптические кабели обладают рядом преимуществ:

- высокая помехозащищённость от внешних электромагнитных полей;
- большая широкополосность. ВОК работают в диапазоне частот 100÷1000 ТГц. В световом диапазоне увеличивается несущая частота в 6-10 раз. Отсюда теоретически увеличивается объём передаваемой информации. Работают оптические линии со скоростью передачи до 10 Гбит/с (опытные образцы до 100 Гбит/с);
 - малое затухание энергии в оптическом волокне позволяет существенно увеличить длину регенерационного участка;
 - дефицитные металлы (медь, свинец) заменены кварцем;
 - высокая скрытность передачи информации;

- большие строительные длины кабеля (2 км и более) обеспечивают меньшее число соединений, что увеличивает надёжность ВОЛС;

- снижение массы кабеля.

При проектировании оптических цифровых линий передачи или кольцевых сетей необходимо принять оптимальные решения по выбору типа оптического кабеля. Выбор ОК для проектируемой ВОЛС осуществляется, исходя из следующих основных требований.

1) Число ОВ в оптическом кабеле и их тип – одномодовые, градиентные, многомодовые – определяются требуемой пропускной способностью с учетом развития сети на период 15÷20 лет, выбранной системой передачи (транспортной системой), схемой организации линейного тракта (однокабельная, однополосная) и с учетом резервирования.

2) Затухание и дисперсия ОВ в ОК, зависящие от излучения, должны обеспечивать заданную (или максимальную) длину РУ и высокую экономичность ВОСП и ВОЛС, которые должны конкурировать с существующими системами передачи на базе симметричных и коаксиальных кабелей.

3) Защитные покрытия и силовые элементы ОК должны обеспечивать необходимую защиту ОВ от механических повреждений и воздействий, достаточную надежность работы ОК. Кабель должен допускать прокладывание примерно такое же, как и большинство электрических кабелей.

4) Кабель должен с малым затуханием, достаточной легкостью и за приемлемый отрезок времени сращиваться в муфтах ОК и соединяться с помощью разъемов в полевых и станционных условиях.

5) Механические и электрические свойства ОК должны соответствовать их конкретному применению и условиям окружающей среды, включая стойкость к воздействию статических и динамических нагрузок, влаги, содержанию ОК под избыточным воздушным давлением для обеспечения достаточной надежности работы в течение проектируемого срока эксплуатации ОК.

6) Отдельные световоды в кабеле должны быть различимы для их идентификации.

В настоящее время число типов ОК отечественного производства заметно возросло. Вместе с тем ограничения и требования на параметры системы обычно существенно сужают выбор подходящих типов ОК.

Для магистральной связи рекомендуется использование кабеля ОКЛ с одномодовыми волокнами, обеспечивающими на волне 1,55 мкм большие дальности связи и число каналов. Кабели содержат 4, 8, 16 и более одномодовых ОВ с коэффициентом затухания 0,2... 0,22 дБ/км. Имеются специальные модификации кабелей ОКЛ:

ОКГ – с защитными медными и полиэтиленовыми оболочками и ОКВ – бронированные стальными лентами.

Для зонавых и внутризоновой связи можно использовать одномодовые ОВ на длине волны 1,3 мкм, поэтому рекомендуются кабели ОКЗ, ОКГТ и ОКС. Зонавые кабели прокладывают непосредственно в грунт и поэтому для защиты от атмосферного электричества и грызунов они имеют металлический покров (оболочку, бронеленты).

Для сельской связи целесообразно применять кабели четырехволоконной конструкции ОК-4, которые можно подвешивать и прокладывать непосредственно в грунт. Эти кабели поверх сердечника имеют стальную оплетку и пластмассовую оболочку.

От правильности выбора оптического кабеля зависят капитальные затраты и эксплуатационные расходы на проектируемую ВОЛП. На выбор влияют, с одной стороны, параметры ВОСП (широкополосность или скорость передачи информации, длина волны

оптического излучения, энергетический потенциал, допустимая дисперсия, искажения), с другой стороны, оптический кабель должен удовлетворять и техническим требованиям:

- возможность прокладки в тех же условиях, в каких прокладываются электрические кабели;

- максимальное использование существующей техники;

- устойчивость к внешним воздействиям и т.д.

Оптические кабели для организации ВОЛП производятся на нескольких предприятиях России:

ЗАО «СОКК», ЗАО "Москабель-Фуджикура", «Еврокабель» и др. В проекте рекомендуется использовать оптический кабель связи, выпускаемый ЗАО «СОКК» г. Самара. Фирмой выпускается кабель различных модификаций.

ОКЛ - Кабели оптические для прокладки методом задувки в трубы (ЗПТ).

Преимущества:

- Компактный дизайн.

- Минимальный вес.

- Изгибная жесткость 0,7-2,5 Н*м².

- Оптимальное соотношение диаметра и веса .

- Коэффициент трения в ЗПТ не более 0,1.

ОКЛК - Кабели оптические бронированные для прокладки в грунт.

Броня – повив стальных оцинкованных проволок или диэлектрических высокопрочных стержней.

Преимущества:

- Уникальная нераскручиваемая конструкция повива стальных проволок.

- Отсутствие остаточных механических напряжений.

- Стойкость к повышенным механическим нагрузкам.

- Надежная защита от повреждений грызунами.

- Высокая молниестойкость.

- Высокая стойкость к раздавливанию и ударам.

- Высокая надежность при эксплуатации в тяжелых условиях.

- Компактный дизайн.

- Минимальный вес.

ОКЛСт - Кабели оптические бронированные для прокладки в канализации.

Броня – стальная гофрированная лента с водоблокирующей лентой под ней.

Преимущества:

- Компактный дизайн.

- Минимальный вес.

- Отличные механические свойства.

- Стойкость к грызунам.

- Минимальный коэффициент трения.

ОКЛЖ - Кабели оптические самонесущие диэлектрические для широкополосных мультисервисных сетей.

Силовые элементы – слой арамидных нитей.

Преимущества:

- Расчет конструкции под конкретный проект.

- Стойкость к раздавливающим нагрузкам не менее 2500 Н / 10 см.

- Прочное сцепление наружной оболочки со слоем арамидных нитей.

- Высокая стойкость к эоловой вибрации, «пляске» проводов.
- Эксплуатация при больших ледовых и ветровых нагрузках, в широком диапазоне рабочей температуры.
- Компактный дизайн.

ОКЛ-Н - Кабели оптические небронированные для внутриобъектовой прокладки.

Кабели предназначены для прокладки и эксплуатации внутри помещений, а так же лотках и трубах при повышенных требованиях по пожарной безопасности.

Преимущества:

- компактный дизайн;
- минимальный вес;
- высокая гибкость.

В приложении Б приведены основные параметры оптических кабелей, выпускаемых ЗАО «СОКК».

1.5 Расчет предельных длин участков регенерации

Предельная длина регенерационного участка ВОСП определяется двумя параметрами: суммарным затуханием РУ и дисперсией сигналов ОВ.

Длина РУ с учетом только затухания оптического сигнала, то есть потерь в ОВ, устройствах ввода оптического излучения (как правило, потерь в разъемных соединениях), неразъемных соединениях (сварных соединениях строительных длин кабеля) найдем из формулы:

$$l_{ру} = \frac{\mathcal{E}_n - \mathcal{E}_з - A_p \cdot n_p - A_n}{\alpha + A_n / l_c}, \quad (1.6)$$

где \mathcal{E}_n – энергетический потенциал системы передачи, дБм;

α – коэффициент затухания ОВ, дБм/км;

$l_{ру}$ – длина регенерационного участка, км;

A_p, A_n – затухание оптического сигнала на разъемном и неразъемном соединениях, дБм;

n_p – количество разъемных соединений ОВ на регенерационном участке.

$\mathcal{E}_з$ – запас по энергетическому потенциалу, необходимый для компенсации эффекта старения элементов аппаратуры и ОВ, $\mathcal{E}_з = 6$ дБм;

l_c – строительная длина оптического кабеля на бобине, км.

Современные технологии позволяют получать затухания $A_p \leq 0,5$ дБм, $A_n \leq 0,1$ дБм. На регенерационном участке количество разъемных соединений $n_p = 6$ (по три на каждом пункте).

Длина регенерационного участка (РУ) цифровой волоконно-оптической линии связи зависит от многих факторов, важнейшими из которых является энергетический потенциал (\mathcal{E}_n) ЦВОСП, равный:

$$\mathcal{E}_n = p_{пер} - p_{пр}, \quad \text{дБм}, \quad (1.7)$$

где $p_{пер}$ – абсолютный уровень мощности оптического сигнала (излучения), дБм;

$p_{пр}$ – абсолютный уровень мощности оптического сигнала на входе приёмного устройства, при котором коэффициент ошибок или вероятность ошибки Рош одиночного

регенератора не превышает заданного значения, дБм;

\mathcal{E}_n – энергетический потенциал определяет максимально-допустимое затухание оптического сигнала в оптическом волокне (ОВ), разъёмных и неразъёмных соединителях на РУ, а также в других узлах ЦВОЛС.

Как было отмечено выше, длина регенерационного участка ВОСП зависит также и от дисперсии сигнала в ОВ. Максимальная длина РУ с учетом дисперсионных свойств ОВ рассчитывается по следующей формуле:

$$l_{ру \max \sigma} = \frac{0,25}{\sigma \cdot B}, \text{ км}, \quad (1.8)$$

где σ – дисперсия сигнала в ОВ, определенная для одномодового ОВ;

B – скорость передачи цифрового сигнала в линейном тракте.

Для одномодовых ОВ в паспортных данных указывается нормированная среднеквадратичная дисперсия, пс/(нм·км), которая с ненормированной величиной связана выражением:

$$\sigma = 10^{-6} \cdot \Delta\lambda \cdot \sigma_n, \text{ мкс/км}, \quad (1.9)$$

где $\Delta\lambda$ – ширина полосы оптического излучения, определяется из справочных данных соответствующего источника излучения (для современных одномодовых полупроводниковых лазеров составляет 0,1 нм);

σ_n – нормированное значение среднеквадратической дисперсии для ОК (берётся из параметров маркировки выбранного кабеля для соответствующей длины волны).

Из рассчитанных максимальных длин в проекте выбираем наименьшее значение, которое должно находиться в пределах между минимальным и максимальным значениями длин регенерационных участков, указанных для ВОСП PDH.

После расчета максимальной длины регенерационного участка следует распределить регенерационные пункты.

При проектировании внутризонавой, зонавой или магистральной междугородной связи в соответствии с заданием или по взаимному тяготению следует выбрать населенные пункты, где будет осуществляться ввод/вывод рассчитанного количества каналов или цифровых потоков.

Такие пункты чаще всего проектируются как обслуживаемые. Затем, если расстояния между ними будут больше $l_{ру \max}$, необходимо рассчитать число регенерационных участков, расположенных между обслуживаемыми пунктами:

$$n_{ру} = \frac{l_{оп(орп)}}{l_{ру \max}}, \quad (1.10)$$

а количество необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП) на этой секции будет равно:

$$n_{нрп} = n_{ру} - 1. \quad (1.11)$$

По этой же методике следует распределить НРП на всех участках между ОРП (ОП) и выбрать тип НРП. Такой же методике следует придерживаться при проектировании областных и межобластных кольцевых сетей.

1.6 Схема организации связи

Схема организации связи разрабатывается на основе размещения ОП, ОРП, НРП, технических возможностей аппаратуры и технического задания с целью получить наиболее экономичный вариант организации необходимого числа каналов ТЧ, ОЦК или цифровых потоков более высокого порядка между соответствующими населенными пунктами.

Примерная схема организации связи без каналообразующего оборудования приведена в приложении Б.

В процессе разработки схемы организации связи должны быть решены вопросы организации цифровой связи, служебной связи, телеконтроля и телемеханики. На схеме должно быть показано размещение ОП, ОРП, НРП, приведена нумерация пунктов. Обслуживаемые пункты нумеруются отдельно от НРП: ОП-1, ОРП-2, ОП-3. Нумерация НРП на линиях передачи малой протяжённости может быть сквозной: НРП-1, НРП-2, ..., НРП-К, а на линиях передачи большой протяжённости (несколько секций) – по секциям. Например, на первой от оконечной станции – НРП-1/1, НРП-2/1 и т.д., на второй секции – НРП-1/2, НРП-2/2 и т.д.

Кроме того, на схеме организации связи необходимо показать количество систем передачи (транспортных систем), распределение каналов и потоков по потребителям, тип аппаратуры оконечных и промежуточных пунктов, сервисного оборудования. При организации связи на зонавых, внутризонавых и магистральных оптических линиях передачи в качестве каналообразующего оборудования для получения потоков Е1 следует применять оборудование САЦК-2М-У НПП «Технодалс», гибкий мультиплексор МП-1 НПП «Супертел», гибкий мультиплексор ОГМ-30Е ОАО «Морион», гибкий мультиплексор Nateks ММХ НТЦ «Натекс», гибкий мультиплексор Т-130 фирмы «Ротек» и более современное оборудование.

1.6.1 Особенности построения схемы организации связи

При построении схемы организации связи необходимо указать типы всех применяемых мультиплексоров как на оконечных, так и на промежуточных пунктах, тип кабеля, схемы резервирования. Указать количество входных/выходных потоков (КТЧ, Е1, Ethernet) согласно расчётов и скорости агрегатных потоков в транспортной системе.

Сначала строится структурная схема ВОЛП, на которой указываются все оконечные и промежуточные пункты, а так же расстояния между ними.

Схема организации связи должна быть выполнена по ГОСТ 21.406-88 СПДС «Проводные средства связи. Обозначения условные графические на схемах и планах».

Пример схемы организации связи приведён в приложении «Б».

2 Расчет параметров волоконно-оптической линии передачи

2.1 Расчёт затухания на участках регенерации

Уровень оптической мощности сигнала, поступающего на вход ПРОМ, зависит от энергетического потенциала ВОСП, потерь мощности в ОВ, потерь мощности в разъёмных соединителях, потерь мощности в неразъёмных соединителях /1/. Перед выполнением расчетов рекомендуется составить таблицу (например, таблица 2.1) с исходными данными для расчета распределения энергетического потенциала по длине ВОЛП.

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета затухания регенерационных участков

Параметры	Обозначения	Значение параметра			
		РУ1	РУ2	...	РУn
1. Уровень мощности передачи оптического сигнала, дБм	$P_{пер}$				
2. Минимальный уровень мощности приема, дБм	$P_{пр.min}$				
3. Энергетический потенциал ВОСП, дБм	\mathcal{E}				
4. Длина РУ, км	$l_{ру}$...	
5. Строительная длина ОК, км	l_c	4			
6. Количество строительных длин ОК на РУ	n_c			...	
7. Количество разъёмных соединителей на РУ	n_p	2			
8. Затухание оптического сигнала на разъёмном соединителе, дБм	A_p	0,15			
9. Количество неразъёмных соединений ОВ на РУ	n_n			...	
10. Затухание оптического сигнала на неразъёмном соединении, дБм	A_n	0,1			
11. Коэффициент затухания ОВ, дБм/км	α	0,22			

Суммарное затухание регенерационного участка ($A_{ру}$) рассчитывается по формуле:

$$A_{ру} = \alpha \cdot l_{ру} + n_n \cdot A_n + n_p \cdot A_p. \quad (2.1)$$

Для транспортных систем в технических данных приводится максимальный уровень приёма, т.е. порог перегрузки. Рассчитанный уровень приёма не должен быть больше максимально возможного уровня приёма, но и не должен быть ниже минимально возможного уровня приёма, т.е. порог чувствительности:

$$P_{пр min} \leq P_{пр} \leq P_{пр max}. \quad (2.2)$$

Уровень приема на входе регенерационного пункта может быть определен по формуле:

$$P_{пр} = P_{пер} - A_{ру}. \quad (2.3)$$

Результаты расчетов затуханий и уровней приема на всех регенерационных участках проектируемой ВОЛП представить в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Затухания и уровни приема на участках регенерации

РУ	РУ1	РУ2	...	РУ _n
l_{py} , км			...	
A_{py} , дБм			...	
$p_{пр}$, дБм			...	

Затухания на участках регенерации должны быть меньше энергетического потенциала системы передачи, а уровень оптического сигнала в точке приёма больше минимально возможного и меньше максимально возможного уровней, приводимых в технических данных ВОСП.

2.2 Расчет вероятности или коэффициента ошибок одиночного регенератора

Определение вероятности или коэффициента ошибок одиночного регенератора распадается на две части:

1) расчет *допустимой вероятности ошибок* $p_{ош доп}$, приходящаяся на один регенерационный участок исходя из норм на различные участки первичной сети: магистральной, внутризонавой и местной;

2) расчет *ожидаемой вероятности ошибок* $p_{ож}$, зависящей от величины защищенности от суммарных шумов регенерационного участка.

Расчет допустимой вероятности ошибок. Допустимая вероятность ошибки одиночного регенератора определяется по формуле

$$p_{ош доп} = p_{ош1} \cdot l_{py}, \quad (2.4)$$

где $p_{ош1}$ – нормированная вероятность ошибки, приходящаяся на 1 км километр линейного тракта, значения которой для различных участков первичной сети приведены в таблица 2.3;

l_{py} – длина регенерационного участка, км.

Таблица 2.3 – Нормированная вероятность ошибок

Участок первичной сети	Магистральный	Внутризонавый	Местный
$p_{ош1}$, 1/км	10^{-11}	$1,67 \cdot 10^{-10}$	10^{-9}

Пример 1. Рассчитать допустимую вероятность ошибки одиночного регенератора для ЦВОСП *внутризонавой первичной сети*, длина регенерационного участка которой равна $l_{py} = 99$ км.

Решение. Подставив в (2.4) значения $p_{ош1} = 1,67 \cdot 10^{-10}$ (см. табл. 2.3) и $l_{py} = 99$ км, получим *допустимую вероятность ошибок* одиночного регенератора:

$$p_{ош доп} = p_{ош1} \cdot l_{py} = 1,67 \cdot 10^{-10} \cdot 99 = 1,65 \cdot 10^{-8}.$$

Допустимой вероятности ошибки одиночного регенератора соответствует допустимая защищенность $A_{з\text{ доп}}$, которая определяется по формуле

$$A_{з\text{ доп}} = 4,58 + 11,42 \lg(-\lg p_{\text{ош}}) = 4,58 + 11,42 \lg(-\lg 1,65 \cdot 10^{-8}) = 14,68 \text{ дБ.}$$

Для оценки соответствия вероятности ошибок нормам необходимо определить *ожидаемую вероятность ошибок* – $p_{\text{ож}}$ и сравнить ее с допустимой. При правильно выбранных проектных решениях должно выполняться условие:

$$p_{\text{ош ож}} \leq p_{\text{ош доп}}.$$

Расчет ожидаемой вероятности ошибок одиночного регенератора. Ожидаемая вероятность ошибок определяется *ожидаемой защищенностью* от шумов оптического линейного тракта, которая равна:

$$A_{з\text{ ож}} = 10 \lg(I_c^2 / I_{\text{ш}}^2), \quad (2.5)$$

где I_c^2 и $I_{\text{ш}}^2$ среднеквадратические значения фототоков полезного сигнала и суммарных шумов на выходе ПРОМ или ППОМ соответственно, определенных ранее.

Ожидаемая вероятность ошибок одиночного регенератора $p_{\text{ош ож1}}$ может быть получена из данных таблицы 2.4 соответствующим интерполированием.

Таблица 2.4 – Зависимость $p_{\text{ош}}$ от $A_{з}$

$A_{з\text{ ож}}$, дБм	18.8	19.7	20.5	21.1	21.7	22.2	22.6	23.0	23.4	23.7
$p_{\text{ош ож1}}$	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}

Пример 2. Определить ожидаемую вероятность ошибок одиночного регенератора для результатов Примера 1, т.е. $I_c^2 = 14,7 \cdot 10^{-9} \text{ А}^2$ и $I_{\text{ш}}^2 = 2,941 \cdot 10^{-14} \text{ А}^2$.

Решение. Подставив в формулу (2.12) значения токов I_c^2 и $I_{\text{ш}}^2$ получим

$$A_{з\text{ ож}} = 10 \lg(I_c^2 / I_{\text{ш}}^2) = 10 \lg(14,7 \cdot 10^{-9} / 2,941 \cdot 10^{-14}) = 56,99 \text{ дБм.}$$

Ожидаемой защищенности, как следует из таблицы 2.3, соответствует вероятность ошибок менее 10^{-14} , что значительно ниже допустимого значения.

2.3 Расчет энергетического запаса

Суммарное затухание регенерационного участка ($A_{\text{ру}}$) составляет:

$$A_{\text{ру}} = p_{\text{пер}} - p_{\text{пр}} = \alpha \cdot l_{\text{ру}} + n_{\text{н}} \cdot A_{\text{н}} + p_{\text{р}} \cdot A_{\text{р}}, \quad (2.6)$$

где $n_{\text{н}}$ - количество неразъемных соединений.

$p_{\text{р}}$ - количество разъемных соединений;

$p_{\text{пр}}$ - уровень мощности принимаемого сигнала.

Общее число неразъемных соединений на участке регенерации определяется по формуле:

$$n_{\text{н}} = \frac{l_{\text{ру}}}{l_{\text{с}}} + 1, \quad (2.7)$$

где $l_{\text{с}}$ - среднее значение строительной длины кабеля.

Энергетический запас на конкретном регенерационном участке можно определить по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_п - A_{py}.$$

Энергетический потенциал системы определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_п = p_{\text{перmax}} = p_{\text{прmin}}, \quad (2.8)$$

где \mathcal{E} - энергетический запас;

$\mathcal{E}_п$ - энергетический потенциал аппаратуры, дБм.

Таким образом, подставляя формулы (2.6) и (2.7) в формулу (2.8) получим значение энергетического запаса:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_п - A_n - 6 \cdot A_p - I_{py} \cdot \alpha - I_{py} \cdot A_n / I_c. \quad (2.9)$$

Расчеты проводятся для всех участков регенерации, а результаты сводятся в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 - Значения энергетического запаса на участках регенерации

РУ	РУ1	РУ2	...	РУn
Э, дБм			...	

Согласно рекомендациям РД 45.047-99 («Руководящий документ отрасли. Линии передачи волоконно-оптические на магистральной и внутризональных первичных сетях ВСС России. Техническая эксплуатация») значение параметра энергетического запаса должно быть больше или равно следующим значениям:

- 2 дБм (экономически выгодные условия эксплуатации);
- 6 дБм (экономически неблагоприятные условия эксплуатации).

Рассчитанные величины должны превышать допустимые значения.

2.4 Расчет дисперсии линейного сигнала

При прохождении импульсных сигналов по оптическому волокну изменяется не только амплитуда импульсов, но и их форма - импульсы уширяются. Это явление называется дисперсией. Дисперсия ограничивает максимальную скорость передачи сигналов по оптическому волокну.

Исходя из расчетных длин регенерационных участков, проектируемой скорости передачи и оптических характеристик кабеля можно рассчитать пропускную способность кабеля на данных участках с целью сравнения ее с проектируемой скоростью передачи. В общем случае дисперсия в оптическом волокне рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sigma_{\text{mod}} + (\Delta\lambda \cdot D(\lambda)), \text{ пс/км}, \quad (2.10)$$

где $\Delta\lambda$, - ширина спектра излучения источника (нм), $\Delta\lambda=1\text{нм}$;

σ_{mod} - модовая дисперсия, (пс/км);

$D(\lambda)$ - удельная хроматическая дисперсия, (пс/нм·км).

Коэффициент широкополосности (ΔF) или полоса пропускания оптического кабеля, приходящаяся на 1 км кабеля зависит от дисперсии (σ) и определяется по формуле:

$$\Delta F = 1 / \sigma, \text{ МГц·км}. \quad (2.11)$$

Чем больше дисперсия и уширение импульса, тем меньше частотный диапазон использования оптического кабеля. Пропускная способность (F_{np}) оптического кабеля длиной l_{py} определяется по формуле:

$$F_{np} = \Delta F / l_{py}, \text{ МГц} \approx V_{np}, \text{ Мбит/с.} \quad (2.12)$$

В одномодовых волокнах в широком диапазоне длин волн модовая дисперсия, как правило, равна нулю, поэтому в данном случае ее можно не учитывать.

Таблица 2.6 - Исходные данные к расчету пропускной способности кабеля

Скорость передачи (Мбит/с)	Удельная хроматическая дисперсия кабеля (пс/нм·км)	Ширина спектра источника излучения (нм)

Результаты расчета пропускной способности на участках регенерации свести в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 - Пропускная способность на участках регенерации

РУ	РУ1	РУ2	...	РУn
$V_{np}, \text{ Мбит/с}$...	

Если расчетная пропускная способность кабеля больше проектируемой скорости передачи, искажений оптического сигнала за счет размывания фронтов импульсов не произойдет.

Заключение

Проблема быстрой передачи обширных массивов информации на значительные расстояния приобретает особую актуальность в связи с возрастающей потребностью современного общества в обмене информацией. Волоконно-оптические системы передачи значительно повышают качество и экономичность информационных услуг.

Волоконно-оптические системы передачи организуют надежные высокоскоростные потоки, имеют гибкую, легко управляемую структуру. Аппаратура – асинхронная. От синхронной аппаратуры отличается тем, что не нужно задавать источник синхронизации и зависеть от него. Вследствие этого, аппаратура для передаваемых потоков Е1 абсолютно прозрачна.

Системы передачи SDH обеспечивают передачу и переключение потоков информации разной мощности, ввод и выделение этих потоков в произвольных пунктах, глубокий контроль качества и тарификацию в соответствии с действительным временем пользования связью и её качеством. Эти сети могут быть базой для служб, использующих как синхронный (Synchronous Transfer Mode, STM), так и асинхронный (Asynchronous Transfer Mode, ADM) способы переноса информации.

Список использованных источников

- 1 Волоконно – оптические системы передачи и кабели: Справочник / И.И.Гроднев, А.Г. Мурадян, Р.М. Шарафутдинов и др. – М.: Радио и связь, 1993.-265 с.
- 2 Корнилов И.И. Цифровая линия передачи: Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию по курсу МСП.- Самара: ПГАТИ, 1998. - 125 с.
- 3 Волоконно – оптические системы передачи: Учебник для ВУЗов / М.М. Бутусов, С.М.Верник и др.; Под ред. В.Н. Гомзина. - М.: Радио и связь, 1992.-416 с.
- 4 Берлин Б.З. и др. Волоконно-оптические системы связи на ГТС: Справочник. - М.: Радио и связь, 1994.- 172 с.
- 5 Строительство кабельных сооружений связи: Справочник / Д.А. Барон, И.И. Гроднев и др. - М.: Радио и связь, 1988.- 768 с.
- 6 Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи: Учебник для ВУЗов / В.А. Андреев и др.; Под ред. Б.В. Попова.- М.: Радио и связь, 1995.- 200с.
- 7 Оптические системы передачи: Учебник для ВУЗов / Б.В.Скворцов, В.И.Иванов, В.В.Крухмалев и др.; Под ред. В.И.Иванова. – М.: Радио и связь, 1994. - 224 с.
- 8 Гауэр Дж. Оптические системы связи. - М: Радио и связь, 1989. - 502 с.
- 9 Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для вузов/ Под ред. А.Д. Моченова.- М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 351 с.
- 10 Проектирование волоконно – оптических линий связи: Уч. пособие по дипломному и курсовому проектированию для специальностей 2305 и 2306 / В.А. Бурдин и др.- Самара: ПИИРС, 1992. - 148 с.
- 11 Многоканальные системы передачи: Учебник для ВУЗов / Н.Н. Баева, В.Н. Гордиенко, С.А. Курицын и др.; Под.ред. Н.Н. Баевой и В.Н. Гордиенко. - М.: Радио и связь, 1997. - 560 с.
- 12 Хан Н.Организация управления сетями связи // Электросвязь, 1994. - №4.- с. 43-44.
- 13 Нетес В.А. Сеть управления электросвязью (TMN) / Сети и системы связи, 1996. -№10.- с. 62-68.
- 14 Гордиенко В.Н., Тверецкий М.С. Многоканальные телекоммуникационные системы: Учебник для вузов. – М: Горячая линия - Телеком, 2005. - 416 с.
- 15 Методические указания по выполнению раздела «Охрана труда» в дипломных проектах / Сост. Еремин Ю.Н, Шаталов В.Ф.- Самара: ПГАТИ, 1999. - 17 с.
- 16 Нормативные материалы по проектированию. Линии связи с использованием аппаратуры PDH и SDH.НП. 1 .287-1- 96. Раздел 1. Линии связи с использованием аппаратуры PDH. - М.: Гипросвязь, 1996. - 68 с.
- 17 Байков В.И., Беседин, С.Н.Монтаж оборудования многоканальной связи. - М.: Высшая школа, 1988. - 200 с.
- 18 Руководящий технический материал по построению тактовой сетевой синхронизации. - М.: ЦНИИС, 1995. - 55 с.
- 19 Рекомендации по метрологическому обеспечению системы тактовой синхронизации (ТСС) на цифровой сети общего пользования РФ. - М.: Госкомсвязи РФ, 1998. - 46 с.
- 20 Варакин Л.Е., Козелев А.И. Надежность глобального цифрового кольца связи // Сети связи, 1994. - №6. - с. 2 – 5.
- 21 Крухмалев В.В., Моченов А.Д. Синхронные телекоммуникационные системы и транспортные сети: Учебное пособие для вузов. – Ростов н/Д: Рост.гос ун-т путей сообщения, 2009.- 296 с.

Основные технические параметры кабеля ОКЛ

Кол-во ОВ в кабеле	Кол-во элементов	Кол-во ОВ в трубах	Диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Раздавливающая нагрузка, Н/10 см не менее	Растягивающая нагрузка, Н		Радиус изгиба, мм
						статическая	динамическая	
до 30	5	4 / 6	10,2	85	2500	1800	2700	205 / 155
ОКЛ-01-5-30-10/125-0,36/0,22-3,5/18-1,8								
до 24	6	4	11,9	118	4000	2700	3100	235 / 175
ОКЛ-01-6-24-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 36	6	4 / 6	11,4	105	2500	2700	3100	225 / 170
ОКЛ-01-6-36-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 48	6	4 / 6 / 8	10,8	98	2000	2700	3100	215 / 165
ОКЛ-01-6-48-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 64	8	8	12,9	145	2000	2700	3100	258 / 193
ОКЛ-01-8-64-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 96	8	12	13,9	159	2500	2700	3100	278 / 200
ОКЛ-01-8-96-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 144	12	12	15,8	226	2500	2700	3100	315 / 235
ОКЛ-01-12-144-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								

Кабели предназначены для прокладки в специальных трубах методом задувки. Могут быть использованы для ввода в здания и сооружения, а так же для городской канализации в местах, не зараженных грызунами.

Основные технические параметры кабеля ОКЛК

Приложение А (продолжение)

Кол-во ОВ в кабеле	Кол-во элементов	Кол-во ОВ в трубах	Диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Раздавливающая нагрузка, Н/10 см не менее	Растягивающая нагрузка, Н, не менее		Радиус изгиба, мм
						статическая	динамическая	
ОКЛК-01-4-20-10/125-0,36/0,22-3,5/18-7,0								
до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24
ОКЛК-01-6-36-10/125-0,36/0,22-3,5/18-7,0								
до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36
ОКЛК-01-6-48-10/125-0,36/0,22-3,5/18-7,0								
до 48	до 48	до 48	до 48	до 48	до 48	до 48	до 48	до 48
ОКЛК-01-8-64-10/125-0,36/0,22-3,5/18-7,0								
до 64	до 64	до 64	до 64	до 64	до 64	до 64	до 64	до 64
ОКЛК-01-8-96-10/125-0,36/0,22-3,5/18-7,0								
до 96	до 96	до 96	до 96	до 96	до 96	до 96	до 96	до 96
ОКЛК-01-6-36-10/125-0,36/0,22-3,5/18-7,0 (усиленный – повышенная стойкость к раздавливанию)								
до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36
ОКЛК-01-4-24-10/125-0,36/0,22-3,5/18-20,0								
до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24
ОКЛК-01-6-36-10/125-0,36/0,22-3,5/18-20,0								
до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36
ОКЛК-01-6-48-10/125-0,36/0,22-3,5/18-20,0								
до 48	до 48	до 48	до 48	до 48	до 48	до 48	до 48	до 48
ОКЛК-01-8-64-10/125-0,36/0,22-3,5/18-20,0								
до 64	до 64	до 64	до 64	до 64	до 64	до 64	до 64	до 64
ОКЛК-01-6-36-10/125-0,36/0,22-3,5/18-20,0 (усиленный – повышенная стойкость к раздавливанию)								
до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36	до 36
ОКЛК-01-6-24-10/125-0,36/0,22-3,5/18-7,0 (диэлектрический)								
до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24	до 24

Кабели предназначены для прокладки в грунтах всех категорий (в том числе подверженных мерзлотным деформациям), в кабельной канализации, коллекторах, тоннелях, шахтах, на мостах и эстакадах, а так же через болота и водные переходы.

Основные технические параметры кабеля ОКЛСт

Кол-во ОВ в кабеле	Кол-во элементов	Кол-во ОВ в трубах	Диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Раздавливающая нагрузка, Н/10 см не менее	Растягивающая нагрузка, Н		Радиус изгиба, мм
						статическая	динамическая	
ОКЛСт-01-6-36-10/125-0,36/0,22-3,5/18-1,0 (облегченный – без внутренней оболочки)								
до 36	6	4 / 6	12,5	150	3000	1000	1150	250 / 190
ОКЛСт-01-6-24-10/125-0,36/0,22-3,5/18-1,0								
до 24	6	4	15,3	220	4000	2000	2300	305 / 230
ОКЛСт-02-8-32-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 32	8	4	16,8	290	4000	3000	3450	335 / 255
ОКЛСт-01-6-48-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 48	6	8	16,8	270	4000	2700	3100	335 / 255
ОКЛСт-01-8-64-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 64	8	8	16,8	272	4000	3000	3450	335 / 255
ОКЛСт-01-8-96-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7 (без внутренней оболочки)								
до 96	8	12	15,3	234	4000	2700	3100	305 / 230
ОКЛСт-01-12-144-10/125-0,36/0,22-3,5/18-2,7								
до 144	12	12	20,8	412	4000	3000	3450	415 / 315

Кабели предназначены для прокладки в кабельной канализации, специальных трубах, коллекторах, тоннелях, на мостах и эстакадах, а так же в легких грунтах, в местах, зараженных грызунам.

Приложение А (продолжение)

Основные технические параметры кабеля ОКЛЖ

Кол-во ОВ в кабеле	Кол-во элементов	Кол-во ОВ в трубах	Диаметр кабеля, мм	Вес кабеля, кг/км	Раздавливающая нагрузка, Н/10 см не менее	Растягивающая нагрузка, Н не менее		Радиус изгиба, мм
						статическая	динамическая	
ОКЛЖ-01-6-24-10/125-0,36/0,22-3,5/18-15								
до 24	6	4	11	90	4000	2700	3100	235 / 175
ОКЛЖ-01-6-48-10/125-0,36/0,22-3,5/18-15								
до 48	6	4	10,8	98	2000	2700	3100	215 / 165
ОКЛ-01-8-96-10/125-0,36/0,22-3,5/18-15								
до 96	8	12	13,9	159	2500	2700	3100	278 / 200
ОКЛ-01-12-144-10/125-0,36/0,22-3,5/18-15								
до 144	12	12	15,8	226	2500	2700	3100	315 / 235

Кабели оптические самонесущие диэлектрические типа ОКЛЖ-(Г) для воздушной прокладки с силовыми элементами из арамидных нитей.

Структурная схема ВОЛП

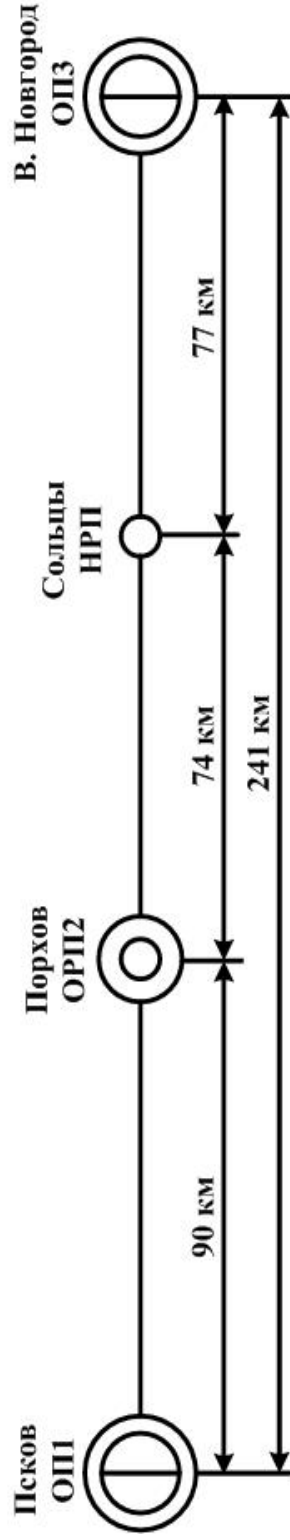


Схема организации связи ВОСП

