

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Методические указания
по выполнению курсовой работы по дисциплине
«НАПРАВЛЯЮЩИЕ СРЕДЫ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ
И МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ»

Направление подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль Защищенные инфокоммуникационные системы

Ростов-на-Дону

2022

Методические указания
по выполнению курсовой работы

по дисциплине

«НАПРАВЛЯЮЩИЕ СРЕДЫ В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И
МЕТОДЫ ИХ ЗАЩИТЫ»

Составитель: И.А. Енгибарян, доцент кафедры ИТСС

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры ИТСС
Протокол №5 от 19.12.2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Общие указания по выполнению курсовой работы.....	4
2. Задание на проектирование волоконно-оптической междугородной магистральной.....	6
3. Выбор трассы и способа прокладки волоконно-оптического кабеля.....	9
4. Выбор системы передачи.....	12
5. Расчет основных параметров передачи оптического волокна.....	13
6. Расчет конструктивных параметров ВОК.....	17
7. Расчет длины элементарного кабельного участка.....	24
8. Схема организации связи.....	26
9. Оценка надежности волоконно-оптической системы передачи.....	28
10. Расчет защищенности ВОК от ударов молний.....	32
11. Организация строительства и технической эксплуатации волоконно-оптической линии связи	35
Список использованных источников.....	36
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Задание на курсовую работу.....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Требования к механическим параметрам кабеля.....	39
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Основные параметры систем передачи.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Пример условных графических обозначений мультиплексоров.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Основные параметры оптических волокон кабелей.....	41
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Примеры маркировки волоконно-оптических кабелей.....	42
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Значения плотности и модуля продольной упругости материалов.....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Основные параметры оптических усилителей.....	44
ПРИЛОЖЕНИЕ И. Значения плотности повреждений и коэффициента защитного действия.....	45

ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа является итоговой работой в изучении теоретического материала. Для выполнения курсовой работы необходимо предварительно изучить разделы дисциплины «Направляющие среды в сетях электросвязи и методы их защиты», относящиеся к оптоволоконным средствам. Полученные в процессе работы над курсовой работой знания способствуют усвоению и закреплению материала программы и позволяют в дальнейшем использовать их при выполнении ВКР.

Общие указания по выполнению курсовой работы

Задания на курсовую работу составлены в 100 вариантах. Номер варианта определяется двумя последними цифрами номера студенческого билета. Курсовая работа, выполненная не по своему варианту, студенту не возвращается. Желающие выполнить курсовую работу по углубленному индивидуальному заданию могут обратиться на кафедру ИТСС.

Изложение текста и оформление пояснительной записки выполняют в соответствии с требованиями изложенными в [1], ГОСТ и ЕСКД.

Пояснительная записка курсовой работы должна в краткой и четкой форме раскрывать замысел работы, постановку задачи, выбор и обоснование принципиальных решений, содержать описание методов исследования, анализ результатов работы и выводы.

Типовая структура пояснительной записки курсовой работы включает:

- титульный лист;
- задание на курсовую работу и исходные данные;
- содержание;
- введение;
- основной текст пояснительной записки;
- заключение;
- список использованных источников.
- приложения.

Введение должно содержать краткую оценку состояния проблемы, обоснование актуальности работы.

В заключении приводятся краткие выводы по результатам работы, ожидаемая эффективность.

Приложения содержат дополнительные документы (чертежи, акты испытаний и др.).

Обязательный графический материал для курсовой работы:

- ситуационная схема трассы кабельной линии передачи;
- конструкция выбранного волоконно-оптического кабеля;
- схема организации связи;
- диаграмма уровней сигнала для линии передачи;

- схема распределения оптических муфт на одном из элементарных кабельных участков.

Список использованных источников должен содержать перечень источников, использованных при выполнении курсовой работы, на которые даны ссылки в тексте.

Содержание основной части пояснительной записки должно соответствовать заданию на курсовую работу.

Текст пояснительной записки подразделяется на разделы, подразделы и пункты, которые нумеруются арабскими цифрами (не нумеруется введение, заключение, список использованных источников).

Нумерация разделов делается сквозной внутри основной части. Наименование раздела выполняется прописными буквами без переносов. Каждый раздел начинается с нового листа.

Нумерация подразделов делается сквозной внутри раздела с двойным обозначением (номер раздела и через точку – номер подраздела внутри раздела). Заголовок подраздела выполняется строчными буквами за исключением первой – прописной.

Нумерация пунктов – сквозная внутри подраздела с тройным обозначением. Заголовки пунктов не применяются.

Математические формулы выделяются из текста отдельной строкой (при необходимости допускается перенос части формулы на другую строку на знаках равенства, сложения, вычитания, умножения и на знаках соотношения). Объяснение символов, входящих в формулу, располагается с новой строки после формулы, отделяясь от нее запятой, и начинается со слова «где». Если в тексте более одной формулы, то они нумеруются арабскими цифрами в пределах раздела (номер раздела и через точку порядковый номер формулы в данном разделе) в круглых скобках с правой стороны листа на уровне формулы.

Все иллюстрации (рисунки, схемы, чертежи, диаграммы, фотографии и д.р.) в тексте называются рисунками и нумеруются в пределах каждого раздела (номер раздела, через точку порядковый номер рисунка в разделе). Номер размещается под рисунком. Рисунок может иметь наименование и подрисуночный текст. Наименование рисунка начинается с прописной буквы и пишется в одну строку с номером рисунка. Подрисуночный текст располагается между рисунком и его номером. Чертежи, выполненные в соответствии с ЕСКД, размещаются в Приложении.

Выполненная курсовая работа размещается в электронном портфолио студента для проверки не позже, чем за 30 – 40 дней до начала сессии. Курсовая работа, допущенная к защите, после внесения исправлений по имеющимся замечаниям рецензента защищается на кафедре ИТСС. По результатам защиты выставляется оценка.

Задание на проектирование междугородной магистрали с использованием волоконно-оптического кабеля с разработкой мероприятий по защите от внешних факторов

При проектировании магистральной ВОЛС с использованием волоконно-оптического кабеля необходимо:

1. выбрать трассу магистрали между заданными городами и способ прокладки волоконно-оптического кабеля;
2. выбрать систему передачи;
3. выбрать класс оптического волокна и рассчитать его основные параметры;
4. выбрать тип и рассчитать геометрические размеры, массу и механическую прочность волоконно-оптического кабеля;
5. рассчитать длину элементарного кабельного участка в зависимости от энергетических потерь и дисперсии;
6. составить схему организации связи и рассчитать распределение энергетического потенциала;
7. рассчитать основные параметры надежности;
8. определить необходимость защиты кабельной магистрали от ударов молний;
9. сформулировать основные требования к строительству и эксплуатации волоконно-оптической линии связи.

Исходные данные к проектированию магистрали

Таблица 1 – Оконечные пункты линии передачи

ч	н	Оконечные пункты	ч	н	Оконечные пункты
99	00.	Ростов-на-Дону – Воронеж	49	50.	Рязань – Владимир
98	01.	Ростов-на-Дону – Краснодар	48	51.	Орел – Тула
97	02.	Ростов-на-Дону – Ставрополь	47	52.	Орел – Курск
96	03.	Ростов-на-Дону – Волгоград	46	53.	Орел – Брянск
95	04.	Краснодар – Ставрополь	45	54.	Брянск – Калуга
94	05.	Краснодар – Майкоп	44	55.	Брянск – Смоленск
93	06.	Ставрополь – Элиста	43	56.	Смоленск – Калуга
92	07.	Ставрополь – Грозный	42	57.	Смоленск – Тверь
91	08.	Волгоград – Астрахань	41	58.	Тверь – В.Новгород
90	09.	Волгоград – Саратов	40	59.	Ярославль – Вологда
89	10.	Волгоград – Элиста	39	60.	Вологда – Кострома
88	11.	Элиста – Астрахань	38	61.	Вологда – Архангельск
87	12.	Элиста – Буденновск	37	62.	Уфа – Пермь
86	13.	Буденновск – Владикавказ	36	63.	Уфа – Челябинск
85	14.	Буденновск – Нальчик	35	64.	Уфа – Екатеринбург
84	15.	Буденновск – Махачкала	34	65.	Киров – Пермь
83	16.	Буденновск – Грозный	33	66.	Екатеринбург – Пермь
82	17.	Воронеж – Белгород	32	67.	Екатеринбург – Челябинск
81	18.	Воронеж – Курск	31	68.	Екатеринбург – Тюмень
80	19.	Воронеж – Липецк	30	69.	Екатеринбург – Курган
79	20.	Воронеж – Тамбов	29	70.	Екатеринбург – Н.Тагил
78	21.	Воронеж – Пенза	28	71.	Челябинск – Курган
77	22.	Воронеж – Орел	27	72.	Тюмень – Нижневартовск
76	23.	Липецк – Курск	26	73.	Тюмень – Оренбург
75	24.	Липецк – Орел	25	74.	Тюмень – Курган
74	25.	Липецк – Тула	24	75.	Тюмень – Омск
73	26.	Липецк – Рязань	23	76.	Н.Тагил – Пермь
72	27.	Липецк – Тамбов	22	77.	Новосибирск – Омск
71	28.	Липецк – Белгород	21	78.	Новосибирск – Томск
70	29.	Тамбов – Пенза	20	79.	Новосибирск – Кемерово
69	30.	Тамбов – Саратов	19	80.	Новосибирск – Барнаул
68	31.	Тамбов – Рязань	18	81.	Барнаул – Кемерово
67	32.	Саратов – Самара	17	82.	Барнаул – Абакан
66	33.	Саратов – Пенза	16	83.	Красноярск – Кемерово
65	34.	Саратов – Ульяновск	15	84.	Красноярск – Абакан
64	35.	Самара – Ульяновск	14	85.	Красноярск – Иркутск
63	36.	Самара – Оренбург	13	86.	Красноярск – Новокузнецк
62	37.	Самара – Уфа	12	87.	Улан-Удэ – Иркутск
61	38.	Казань – Ульяновск	11	88.	Улан-Удэ – Чита
60	39.	Казань – Н.Новгород	10	89.	Чита – Благовещенск
59	40.	Казань – Уфа	09	90.	Благовещенск – Хабаровск
58	41.	Казань – Самара	08	91.	Хабаровск – Владивосток
57	42.	Казань – Ижевск	07	92.	Мурманск – Петрозаводск
56	43.	Н.Новгород – Киров	06	93.	Мурманск – Архангельск
55	44.	Н.Новгород – Владимир	05	94.	Вологда – Архангельск
54	45.	Н.Новгород – Саранск	04	95.	Киров – Сыктывкар
53	46.	Н.Новгород – Иваново	03	96.	С.П. – Петрозаводск
52	47.	Н.Новгород – Самара	02	97.	С.П. – Псков
51	48.	Н.Новгород – Кострома	01	98.	Москва – Смоленск
50	49.	Тула – Рязань	00	99.	Москва – С.П.

Номер трассы соответствует двум последним цифрам студенческого билета. Столбец «ч» соответствует четной последней цифре года выполнения проекта, «н» – нечетной.

Таблица 2 – Исходные данные к расчету параметров оптического волокна

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
V, Мбит/с	100	150	300	400	500	1500	1700	2000	7000	9000
λ_p , нм	1300	1330	1360	1400	1430	1460	1500	1530	1560	1600
$\Delta\lambda$, нм	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0,05

Таблица 3 – Исходные данные к расчету защищенности кабеля от ударов молний

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ρ_g , Ом · м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$I_{доп}$, кА	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,6	6,0
q , 1/км ² · год	30	40	50	60	65	70	75	80	90	100

3. ВЫБОР ТРАССЫ И СПОСОБА ПРОКЛАДКИ ВОК

3.1. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНОВ ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЯ

3.1.1. Географическая характеристика включает в себя оценку рельефа местности, рек, водоемов, болот; характеристику растительного покрова (лесов, лугов и др.) и типов почв, природных заповедников и заказников; оценку климатических условий. Приводится характеристика транспортной сети (авто- и железных дорог). Приведенные данные должны учитываться при выборе трассы прокладки кабеля и типа волоконно-оптического кабеля.

3.1.2. Социально-экономическая характеристика оконечных и промежуточных пунктов необходима для обоснования организации связи между оконечными и находящимися на трассе промежуточными пунктами. Тяготение выбранных пунктов друг к другу по различному виду услуг электросвязи зависит от уровня социально-экономического и культурного развития пунктов, от численности населения. Поэтому в характеристике приводится количество населения в пунктах по данным последней переписи, сведения о предприятиях промышленности, финансово-кредитных учреждениях, культурных центрах, научно-исследовательских и учебных заведениях, транспорте, связи и др. На основе этих сведений делается вывод о степени тяготения друг к другу населённых пунктов, обеспеченности их различными видами услуг электросвязи и осуществляется расчет требуемой пропускной способности линии передачи.

3.2. ВЫБОР ТРАССЫ И СПОСОБА ПРОКЛАДКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

При выборе трассы прокладки кабеля рекомендуется использовать картографические материалы соответствующих субъектов РФ, карты автомобильных и железных дорог.

Основные требования, учитываемые при выборе трассы: минимальные расходы на строительство и эксплуатацию; максимальные доходы при эксплуатации.

Для выполнения первого требования необходимо обеспечить:

- наикратчайшую протяженность трассы;
- наименьшее число препятствий, усложняющих и удорожающих стоимость строительства;
- возможность максимального использования средств механизации при строительстве;
- удобный доступ техники к трассе в период строительства и эксплуатации линии связи для профилактических и ремонтных работ;
- минимальные затраты по защите линий от сильноточных установок и атмосферного электричества.

Второе требование обеспечивается:

- уменьшением эксплуатационных расходов;
- максимальным использованием потенциальной пропускной способности ВОК, в том числе за счет обеспечения междугородной связью крупных населенных пунктов, расположенных по трассе с одновременным размещением в них усилительных (регенерационных) пунктов.

На практике трассы прокладки ВОК обычно привязываются к автомобильным или железным дорогам, к трассам ЛЭП. С выбором трассы в значительной степени связан выбор способа прокладки ВОК. В настоящее время используются следующие основные способы прокладки ВОК:

- подземный – в грунт, в лотковую канализацию, в коллекторы, в защитные пластиковые трубы;
- подвесной – на опорах электрифицированных железных дорог;
- подвесной – на опорах ЛЭП, при котором ВОК может навиваться на грозозащитный трос или фазный провод, прикрепляться к ним, а также используются самонесущие и встроенные в грозозащитный трос ВОК;
- подводный – через различного типа реки и водоемы, через моря и океаны.

При прокладке ВОК вдоль автомобильных и железных дорог пересечение рек и водоемов может осуществляться с использованием соответствующих мостовых переходов.

Подвесной способ прокладки позволяет существенно сократить стоимость строительства и сроки ввода в эксплуатацию линии передачи.

Изыскания по выбору трассы осуществляются по картографическим материалам. Обычно рассматривается несколько возможных вариантов прокладки ВОК, проводится их сравнительная характеристика и выбирается оптимальный вариант.

Основные характеристики вариантов трассы сводятся в таблицу, в которой указываются:

- протяженность трассы вдоль шоссежных дорог, вдоль железных дорог, вдоль грунтовых дорог, по бездорожью и полную протяженность трассы;
- характер местности – открытая, залесенная, заболоченная;
- количество переходов трассы через судоходные реки, через несудоходные реки, через железные дороги, через шоссежные дороги;
- число населенных пунктов, которые могут быть подключены к линии передачи или в которых возможно размещение усилительных (регенерационных) пунктов.

Чертеж трассы (ситуационная схема трассы магистрали) выполняется на выкопировке трассы. Указывается полная протяженность трассы и

расстояния между промежуточными пунктами, в которых предполагается располагать мультиплексоры ввода/вывода или регенераторы.

3.3. ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ВОК

Волоконно-оптические кабели имеют более низкие предельные нагрузки, чем электрические кабели связи. Особенно это относится к минимально допустимому радиусу изгиба и максимально допустимому натяжению. В связи с этим в зависимости от выбранного способа прокладки кабеля и климатических условий необходимо сформулировать требования к электрическим, механическим и климатическим параметрам кабеля. Определить требуемый тип кабеля по допустимому растягивающему усилию (Приложение Б).

4. ВЫБОР СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Основными элементами линии передачи синхронной цифровой иерархии являются синхронные мультиплексоры, которые подразделяются на:

- оконечные (терминальные), выполняющие функции на передаче – объединения низкоскоростных (трибутарных) потоков в один высокоскоростной (агрегатный), на приеме – разборку агрегатного потока в трибутарные;
- ввода/вывода, позволяющие выводить из агрегатного потока отдельные трибутарные потоки, вводить трибутарные потоки в агрегатный поток, а также осуществлять кросс-коммутацию потоков;
- регенераторы, представляющие собой вырожденный вариант мультиплексора ввода/вывода и выполняющие лишь функцию регенерации сигнала.

Трибутарные потоки могут быть как электрическими, так и оптическими. Агрегатные, как правило, оптические.

В состав мультиплексора входят:

- оптические приемопередающие устройства, в которых осуществляется оптоэлектронное и электроннооптическое преобразование сигнала и регенерация его;
- коммутационная матрица;
- интерфейсные устройства.

Современные синхронные мультиплексоры имеют модульную конструкцию, что позволяет изменением компоновки получать различные типы мультиплексоров. В зависимости от скорости передачи агрегатного потока выпускаются мультиплексоры уровней STM-1 (155,520 Мбит/с), STM-4 (622,08 Мбит/с), STM-16 (2488,32 Мбит/с), STM-64 (9,953 Гбит/с). Типовые параметры синхронных мультиплексоров, которые понадобятся в расчетах приведены в Приложении В. Условные графические обозначения мультиплексоров – в Приложении Г.

Выбор типов мультиплексоров осуществляется на основе заданной скорости передачи с учетом перспектив развития сети.

Рекомендуется применять более высокоскоростную аппаратуру линейного тракта по сравнению с исходными данными. Следует учитывать, что повышение уровня аппаратуры SDH на одну ступень увеличивает стоимость аппаратуры на 30-40%, а затрат в целом на сооружение волоконно-оптической системы передачи на несколько процентов. Дополнительная пропускная способность может кроме того использоваться для увеличения надёжности за счет применения резервирования в подсети.

5. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

5.1. ВЫБОР КЛАССА ОВ

В ВОК электросвязи используются в основном одномодовые ОВ, характеристики которых регламентируются Рекомендациями Международного Союза Электросвязи – сектора стандартизации электросвязи (МСЭ-Т/ITU-T).

Коэффициент затухания кварцевых ОВ с увеличением длины волны излучения сначала уменьшается примерно от 0,3...0,4 дБ/км на длине волны 1,31 мкм до 0,16...0,25 дБ/км на длине волны 1,55 мкм, затем возрастает. На длине волны 1,38 мкм затухание резко возрастает до 2 дБ/км за счет поглощения излучения в гидроксильных ионах ОН. В последние годы ряду фирм удалось улучшить технологию очистки ОВ от этой примеси и получить волокно без гидроксильного пика.

По основной области рабочих длин волн и величине дисперсии в этой области одномодовые оптические волокна подразделяются на классы и подклассы (базовый подкласс – для которого была первоначально создана рекомендация, в остальных подклассах учитываются последние достижения в области разработки ОВ).

В настоящее время существуют следующие классы ОВ:

- стандартные (SSF) волокна – соответствуют Рек. G.652, длина волны нулевой дисперсии в районе 1,31 мкм (на длине волны 1,55 мкм достигает значения 17... 20 пс/нм·км);
- волокна со смещенной нулевой дисперсией (DSF) – соответствуют Рек. G.653, длина волны нулевой дисперсии в районе 1,55 мкм (т.е. совмещена с минимумом затухания);
- волокна с ненулевой смещенной дисперсией (NZ DSF) – соответствуют Рек. G.655, длина волны нулевой дисперсии вынесена за пределы рабочего участка 1530...1565, т.о. чтобы величина коэффициента на этом участке имела порядок 6...8 пс/нм·км.

В последних документах МСЭ-Т установлены дополнительные классы оптических волокон:

- Рек. G.656 с рабочим диапазоном длин волн от 1460 до 1625 нм, положительным значением коэффициента хроматической дисперсии не менее 2 пс/(нм·км) и не более 14 пс/(нм·км) в рабочем диапазоне;
- Рек. G.657 с уменьшенными потерями на изгиб, что важно при использовании ОВ в сетях доступа.

Типовые характеристики ОВ приведены в Приложении Д.

Для среднескоростных систем (при скоростях до 2,5 Гбит/с) при одной несущей может быть использовано любое ОВ, удовлетворяющее требованиям по затуханию и накопленной дисперсии.

Для высокоскоростных систем (при скорости 10 Гбит/с и выше) при одной несущей может быть использовано любое ОВ, удовлетворяющее требованиям по затуханию, накопленной дисперсии и поляризационной модовой дисперсии (не хуже $0,1 \dots 0,2 \text{ пс}/\sqrt{\text{км}}$).

Для систем с плотным волновым мультиплексированием (DWDM) разработаны ОВ с ненулевой смещенной дисперсией.

Таким образом, при выборе класса ОВ следует исходить из заданных скорости передачи и рабочей длины волны с учетом возможного затухания и дисперсии.

Рекомендуется использовать резервное ОВ.

Во-первых, это обеспечивает запас по пропускной способности на перспективу развития (пространственный способ уплотнения информации). Подсчитано, что увеличение числа ОВ в кабеле в 10 раз увеличивает затраты на сооружение ВОЛП на 20%.

Во-вторых, позволяет использовать резервное ОВ для увеличения надежности функционирования ВОЛП:

- путем замены рабочих ОВ, если их параметры в процессе прокладки или эксплуатации вышли за допустимые пределы;
- организацией переключения на резервную мультиплексную секцию;
- путем контроля параметров и выявления постепенно развивающихся отказов в резервных ОВ, если эти причины общие для всех ОВ в кабеле.

В результате должен быть выбран класс ОВ и необходимое число ОВ в кабеле.

5.2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ ОВ

Коэффициент затухания ОВ определяется по формуле [7,8]:

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_{yf} + \alpha_{ик} + \alpha_{нр}, \quad (5.1)$$

$$\text{где } \alpha_p \approx 0,75/\lambda^4 \quad (5.2)$$

– составляющая, учитывающая потери на релеевское рассеяние;

λ – рабочая длина волны, мкм;

$$\alpha_{yf} \approx \frac{\text{dec}(2/\lambda)}{2154} \quad (5.3)$$

– составляющая, учитывающая потери в ультрафиолетовой области рабочего диапазона;

$$\alpha_{ик} \approx \text{dec}[(-21,9/\lambda)+12,4] \quad (5.4)$$

– составляющая, учитывающая потери в инфракрасной области;

$\alpha_{нр}$ – составляющая, учитывающая потери в примеси.

Инженерный расчет величины этой составляющей затруднен. Основной вклад в нее дает гидроксильная группа ОН. В этом случае можно считать [6]:

$$\alpha_{np} = \begin{cases} 0,05 \text{ Дб / км} & \text{при } \lambda = 1300 \text{ нм;} \\ 0,04 \text{ Дб / км} & \text{при } \lambda = 1383 \text{ нм;} \\ 0,03 \text{ Дб / км} & \text{при } \lambda = 1550 \text{ нм.} \end{cases}$$

В ОВ, очищенных от гидроксильных групп, потерями в примесях можно пренебречь.

Например, для рабочей длины волны $\lambda = 1,2$ мкм:

Следует учесть, что реальный коэффициент затухания будет выше расчетного за счет увеличения потерь в ОВ при укладке их в кабеле. Кабельные потери возникают также при прокладке кабеля. При соблюдении технических условий на прокладку кабеля их номинальный вклад не превышает 20% от полного затухания. С учетом кабельных потерь

$$\alpha_{\rho} \approx 0,75 / 1,2^4 = 0,36 \text{ дБ / км},$$

$$\alpha_{y\phi} = 10^{2/1,2} / 2154 = 0,022 \text{ дБ / км},$$

$$\alpha_k = 1,25^2 \alpha_{ик} = 10^{[(-21,9/1,2)+12,4]} = 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ дБ / км},$$

$$\alpha = 0,382 \text{ дБ / км},$$

$$\alpha_k = 1,25 \cdot 0,382 = 0,477 \text{ дБ / км}.$$

5.3. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ДИСПЕРСИИ

В стандартных ОВ (Рек. G.652) коэффициент дисперсии определяется по формуле:

$$D_{CT}(\lambda) = S_0 \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) / 4 = \frac{S_0 \lambda_0}{4} \left[\frac{\lambda}{\lambda_0} - \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-3} \right], \quad (5.5)$$

где S_0 – наклон дисперсионной кривой в точке нулевой дисперсии, пс/(нм²·км);

λ_0 – длина волны нулевой дисперсии, нм;

λ – рабочая длина волны, нм.

Для ОВ с нулевой смещенной дисперсией (Рек. G.653):

$$D_{HC}(\lambda) \approx S_0 \lambda_0 \ln(\lambda / \lambda_0), \quad (5.6)$$

Для ОВ с ненулевой смещенной дисперсией (Рек. G.655), предполагая зависимость $D(\lambda)$ в диапазоне от 1460 до 1625 нм линейной:

$$D_{\text{HHC}}(\lambda) \approx D(\lambda_{\text{оп}}) + S_{\text{оп}}(\lambda - \lambda_{\text{оп}}), \quad (5.7)$$

где $\lambda_{\text{оп}}$ – некоторая опорная длина волны, отличная от длины волны нулевой дисперсии;

$S_{\text{оп}}$ – наклон дисперсионной кривой на опорной длине волны.

Обычно в качестве опорной используется $\lambda_{\text{оп}}=1550$ нм (или другая, указанная в документации на кабель). В курсовой работе можно принять:

$$D(1550)=4...6 \text{ пс}/(\text{нм}\cdot\text{км}), \text{ при } D>0;$$

$$D(1550)=-(3...7) \text{ пс}/(\text{нм}\cdot\text{км}), \text{ при } D<0;$$

$$S_{\text{оп}}=0,05...0,06 \text{ пс}/(\text{нм}^2\cdot\text{км}).$$

Например, на длине волны $\lambda = 1520$ нм

$$\text{– для ОВ класса Рек. G.652} \left(\lambda_0 = 1310 \text{ нм}, S_0 = 0,093 \frac{\text{пс}}{\text{нм}^2\text{км}} \right)$$

$$D_{\text{см}}(1520) = \frac{0,093 \cdot 1310}{4} (1,16 - 1,16^{-3}) = 15,84 \frac{\text{пс}}{\text{нм}\cdot\text{км}};$$

$$\text{– для ОВ класса Рек. G.653} \left(\lambda_0 = 1550 \text{ нм}, S_0 = 0,085 \frac{\text{пс}}{\text{нм}^2\text{км}} \right)$$

$$D_{\text{нс}}(1520) = 0,085 \cdot 1550 \ln(1520/1550) = -2,24 \frac{\text{пс}}{\text{нм}^2\cdot\text{км}};$$

$$\text{– для ОВ класса Рек. G.655} \left(\lambda_{\text{оп}} = 1550 \text{ нм}, S_0 = 0,058 \frac{\text{пс}}{\text{нм}^2\text{км}} \right)$$

$$D_{\text{HHC}}(1520) = -4 + 0,058(1520 - 1550) = -5,74 \frac{\text{пс}}{\text{нм}\cdot\text{км}};$$

6. РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

По своим механическим, климатическим и электромагнитным характеристикам ВОК должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к выбранному способу прокладки кабеля. В настоящее время кабельная промышленность России выпускает ВОК широкой номенклатуры различного назначения и для различных условий прокладки и эксплуатации [3, 4]. Каждый производитель использует свою систему маркировки ВОК.

В ВОК отечественного производства применяются в основном следующие конструкции оптического сердечника ОС:

- одномодульный (трубчатый) ОС, представляющий собой центральный оптический модуль (ЦОМ) – двухслойная трубка из полимерных материалов, в которой размещены оптические волокна, а свободное пространство заполнено гидрофобным гелем. Ориентировочные размеры ЦОМ приведены в Таблице 6.1;

Таблица 6.1 – Габариты ЦОМ

Количество ОВ, $n_{ОВ}$	2 ... 8	10 ... 16	18 ... 24	26 ... 48
Наружный диаметр ЦОМ, $D_{ЦОМ}$, мм	$2,9 \pm 0,2$	$4 \pm 0,3$	$5 \pm 0,35$	$6 \pm 0,4$
Толщина стенки ЦОМ, $\Delta_{ЦОМ}$, мм	0,4	0,6	0,75	0,9

- многомодульный ОС (рис 6.1), в центре которого расположен центральный силовой элемент (ЦСЭ), а поверх него один или несколько повивов из оптических модулей с ОВ и корделей заполнения. ЦСЭ может быть выполнен из стального троса с полимерным покрытием или из стеклопластикового стержня. ОМ имеет трубчатую конструкцию, ориентировочные размеры его приведены в Таблице 6.2. Кордель заполнения выполняется из полиэтилена, ПВХ или пустых ОМ. Оптические модули и кордели скрепляются лентой. Размеры ЦСЭ зависят от размеров и количества ОМ и корделей (Таблице 6.2);

Таблице 6.2 – Габариты ОМ

Количество ОВ, $n_{ОВ}$	2	4	6	8 ... 12
Наружный диаметр ОМ, $D_{ОМ}$, мм	$1,8 \pm 0,2$	$2,0 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,2$	$3,0 \pm 0,2$
Толщина стенки ОМ, $\Delta_{ОМ}$, мм	0,25	0,3	0,4	0,6

- ОС с профилированным центральным элементом ПЦЭ, в пазах которого размещаются ОВ или ОМ с ОВ. Пазы располагаются по геликоиде. В зависимости от назначения кабеля ПЦЭ может быть выполнен из полимерного материала или металла (алюминия, меди). Внутренняя оболочка защищает ОС от механических воздействий на него и от проникновения влаги и может быть:

- однослойной – из полиэтилена с толщиной стенки от 0,2 до 2,0 мм.;
- многослойной – из водоблокирующей и алюмополиэтиленовых лент.

Наружный покров в общем случае состоит из силовых элементов и наружной оболочки.

Силовые элементы могут выполняться из:

- брони, состоящей из одного-двух повивов стальных проволок;
- брони из стальной гофрированной или плоской ленты;
- брони из стеклопластиковых стержней;
- повивов из высокопрочных синтетических нитей.

При использовании брони под неё укладывается подушка из выпрессованного полиэтилена.

Наружная оболочка выполняется из следующих материалов:

- полиэтиленовых композиций с добавками компонент, улучшающих параметры материала;
- полиамида – обычно используется в качестве дополнительного покрытия;
- полиуретана – применяются в основном в полевых кабелях.

Размеры элементов наружного покрова приведены в Таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Габариты силовых элементов

Тип силового элемента	Диаметр Д, мм	Толщина Δ, мм
Внутренняя оболочка	–	0,2 ... 2,0
Подушка под броню	–	0,8 ... 3,0
Стальной провод	0,8 ... 3,0	–
Стальная лента	–	0,1 ... 0,2
Стеклопластиковый пруток	0,25 ... 3,5	–

При выборе типа ВОК необходимо использовать справочную литературу (например [4]).

Примеры маркировки некоторых видов кабелей приведены в Приложении Е.

6.1. РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ВОК

В общем случае диаметр ВОК определяется по формуле:

$$D_k = D_c + 2\Delta_{cl} + 2\Delta_{eo} + 2\Delta_{nd} + 2\Delta_{cэ} + 2\Delta_{но} \quad (6.1)$$

где D_c – диаметр оптического сердечника, мм;

Δ_{cl} – толщина скрепляющей ленты, мм;

Δ_{eo} – толщина внутренней оболочки, мм;

Δ_{nd} – толщина подушки, мм;

$\Delta_{cэ}$ – толщина силовых элементов, мм

$\Delta_{но}$ – толщина наружной оболочки (шланга), мм.

Для одномодульного ОС (ЦОМ) размеры выбираются в зависимости от количества размещаемых в нем ОБ (Таблица 6.1)

Габариты многомодульного ОСМ определяются по формулам [6]

- диаметр ОСМ

$$D_{ОСМ} = D_{П},$$

где $D_{П}$ – диаметр повива (рис. 6.1);

- диаметр ЦСЭ

$$D_{ЦСЭ} = D_{ОМ} (A - 1);$$

- диаметр повива оптических модулей

$$D_{П} = D_{ОМ} (A + 1),$$

где $D_{ОМ}$ – наружный диаметр оптического модуля, мм;

$$A = \sqrt{1 + \frac{1}{\sin^2 \Theta} \left(\frac{1}{\sin^2 \frac{\pi}{n}} - 1 \right)}, \quad (6.2)$$

где Θ – угол скрутки элементов повива;

n – число элементов в повиве.

Габариты остальных элементов кабеля с учетом данных Таблицы 6.3.

Результатом подраздела является чертёж конструкции кабеля с указанием рассчитанных размеров.

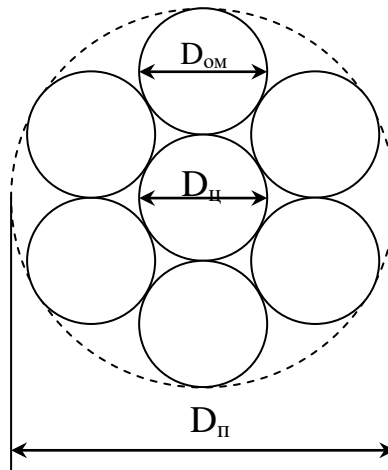


Рисунок 6.1 – Конструкция сердечника с одноповивной структурой

Если в сердечнике имеется m повивов, то диаметр сердечника

$$D_{cm} = D_c + 2(m-1)D_{ом},, \quad (6.3)$$

Диаметр ВОК с профилированным сердечником определяется по выражению:

$$D_K = D_{ПС} + 2\Delta_l + 2\Delta_{об} + 2\Delta_n + 2\Delta_{бр} + 2\Delta_{ш}, \quad (6.4)$$

где D_{nc} – диаметр профилированного сердечника;

Δ_l – толщина скрепляющей ленты.

Расчет размеров ВОК с одномодульным сердечником производится аналогичным образом, только вместо диаметра сердечника D_c берется диаметр центрального оптического модуля.

Результатом раздела является выбор типа ВОК и чертеж конструкции ВОК с указанием рассчитанных размеров.

6.2. РАСЧЕТ МАССЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Масса волоконно-оптического кабеля складывается из составляющих его элементов, которые могут быть определены с помощью следующих формул [6].

Масса оптических волокон

$$M_{ов} = (M_{с-о} + M_{нов})n_{ов} = \left[\frac{\pi(2r_{об})^2}{4} \rho_k K_y + \pi(2r_{об} + 2\Delta_{нов})\Delta_{нов} \rho_{нов} K_y \right] n_{ов}, \frac{кг}{км}, \quad (6.5)$$

где $M_{с-о}$ – масса сердцевины и оболочки, кг/км;

$M_{нов}$ – масса первичного покрытия ОВ, кг/км;

$n_{ов}$ – число ОВ в кабеле;

$r_{об}$ – радиус кварцевой оболочки ОВ, мм;

$\rho_k, \rho_{нов}$ – плотность кварца и покрытия, г/см³;
 K_y – коэффициент укрутки;
 $\Delta_{нов}$ – толщина покрытия ОВ, мм.

Масса центрального силового элемента

Из стального троса с полимерным покрытием:

$$M_{цс} = M_m + M_{nm} = \left[\frac{\pi D_u^2}{4} + \left(\frac{\pi D_n^2}{4} N_n K_y \right) \right] \rho_m K_c + \pi (D_m + \Delta_{nm}) \Delta_{nm} \rho_{nm} K_\phi, \frac{кг}{км}, \quad (6.6)$$

где M_m – масса троса, кг/км;

M_{nm} – масса полимерного покрытия троса, кг/км;

D_u, D_n – диаметры проволоки в центральном и наружном повивах, мм;

N_n – число проволок в наружном повиве;

K_y – коэффициент укрутки проволок троса;

ρ_m, ρ_{nm} – плотность материала проволок и покрытия троса, г/см³;

$K_c \approx 1,07$ – коэффициент, учитывающий приращение массы троса за счет его смазки;

D_m – наружный диаметр троса, мм;

Δ_{nm} – толщина покрытия троса, мм;

$K_\phi \approx 1,13$ – коэффициент, учитывающий технологические факторы.

Из стеклопластика:

$$M_{цс} = \frac{\pi D_c^2}{4} \rho_c, \frac{кг}{км}, \quad (6.7)$$

где D_c – диаметр стеклопластикового стержня, мм;

ρ_c – плотность стеклопластика, г/см³;

Из профилированного сердечника:

$$M_{nc} = S_{nc} \rho_{nc}, \frac{кг}{км}, \quad (6.8)$$

где S_{nc} – площадь поперечного сечения профилированного сердечника ОК, мм²;

ρ_{nc} – плотность материала профилированного сердечника, г/см³;

Масса трубок оптических модулей

$$M_{ом} = \pi (D_{ом} + \Delta_{ом}) \Delta_{ом} \rho_{ом} K_y n, \frac{кг}{км}, \quad (6.9)$$

где $D_{ом}$ – диаметр трубки ОМ, мм;

$\Delta_{ом}$ – толщина стенки трубки, мм;

$\rho_{ом}$ – плотность материала трубки, г/мм³;

K_y – коэффициент укрутки трубок;

n – количество ОМ в кабеле.

Масса гидрофобного заполнителя в ОМ

$$M_{ГЗ} = (S_{\text{в}} - S_{\text{ов}} K_{Гт}) \rho_{ГЗ} K_{\gamma} n, \text{ кг/км}, \quad (6.10)$$

где $S_{\text{в}}$ – внутренняя площадь поперечного сечения ОМ или паза поперечного сердечника, мм²;

$S_{\text{ов}}$ – площадь поперечного сечения ОВ, мм²;

$\rho_{ГЗ}$ – плотность гидрофобного заполнителя, г/см³;

Масса промежуточной оболочки

$$M_{об} = \pi (D_{вт} + \Delta_{об}) \Delta_{об} \rho_{об} K_{тф}, \text{ кг/км}, \quad (6.11)$$

где $D_{вт}$ – внутренний диаметр оболочки, мм;

$\Delta_{об}$ – толщина оболочки, мм;

$\rho_{об}$ – плотность материала оболочки, г/см³;

$K_{тф} \approx 1,04$ – коэффициент, учитывающий технологические факторы для пластмассовой оболочки.

Масса броневых покровов

Ленточной брони:

$$M_{брл} = \pi (D_{нод} + \Delta_{бр}) \Delta_{бр} \rho_{л} K_{з}, \text{ кг/км}, \quad (6.12)$$

где $D_{нод}$ – диаметр по подушке или промежуточной оболочке, мм;

$\Delta_{бр} = 2\Delta_{л}$ – общая толщина брони, мм;

$\rho_{л}$ – плотность материала брони, г/см³;

$K_{з} \approx 0,75$ – коэффициент зазора аксиального.

Гофрированной брони:

$$M_{БРГ} = \pi (D_{вн} + \Delta_{бр}) \Delta_{бр} \rho_{бр} K_{тф} K_{Г}, \text{ кг/км}, \quad (6.13)$$

где $D_{вн}$ – внутренний диаметр оболочки по впадине гофра, мм;

$\Delta_{бр}$ – толщина брони, мм;

$\rho_{бр}$ – плотность материала гофрированной оболочки, г/см³;

$K_{Г}$ – коэффициент гофрирования брони;

$K_{тф} \approx 1,04$ – коэффициент, учитывающий технологические факторы.

Круглых стальных проволок:

$$M_{брпр} = \pi d_{пр}^2 N \rho_{пр} K_{упр} / 4, \text{ кг/км}, \quad (6.14)$$

$d_{пр}$ – диаметр проволоки, мм;

N – число бронепроволок;

$\rho_{пр}$ – плотность материала проволоки, г/см³;

$K_{упр} \approx 1,04$ – коэффициент укрутки проволок.

$$N = \frac{\pi (D_{об} + d_{пр})}{K_{упр} d_{пр}}$$

Масса защитного шланга

$$M_{шл} = \pi (D_{вн} + \Delta_{шл}) \Delta_{шл} \rho_{шл} K_{тф}, \text{ кг/км}, \quad (6.15)$$

где $D_{вн}$ – диаметр под шлангом, мм;

$\Delta_{шл}$ – толщина шланга, мм;

$\rho_{шл}$ – плотность материала шланга, г/см³;

$K_{тф} \approx 1,1$ – коэффициент, учитывающий технологические факторы.

Значения плотности основных материалов приведены в Приложении Ж.

Масса ВОК равна сумме масс составляющих его элементов.

6.3. РАСЧЕТ ДОПУСТИМОГО РАСТЯГИВАЮЩЕГО УСИЛИЯ

Допустимое растягивающее усилие конструкции кабеля можно определить по формуле [5, 6]:

$$F = \delta \sum_{i=1}^n K_i E_i S_i, \text{ Н}, \quad (6.16)$$

где δ – коэффициент допустимого продольного растяжения конструкции кабеля (0,01...0,025 в зависимости от типа конструкции ВОК);

K_i – коэффициент, учитывающий расположение i -го элемента относительно оси конструкции кабеля;

E_i – модуль продольной упругости материала i -го элемента, Па;

S_i – поперечное сечение i -го элемента конструкции кабеля, м².

$K_i=0$ – для элементов, не испытывающих механическое напряжение (обычно ОВ);

$K_i = \cos \psi_i$ – для элементов, испытывающих напряжение и расположенных по спирали с углом ψ_i (обычно для оптических модулей $\psi=30...35^\circ$);

$K_i=1$ – для элементов, параллельных оси кабеля, испытывающих механическое напряжение.

Значения E_i для различных материалов приведены в Приложении Ж.

Площадь круга (например сечения ОВ), равна:

$$S = \pi r^2, \text{ м}^2$$

где r – радиус круга, м.

Площадь кольца (например, сечения оптического модуля:

$$S_{об} = \left(\frac{\pi d_{вн}^2}{4} - \frac{\pi d_{вн}^2}{4} \right), \text{ м}^2,$$

где $d_{вн}$ – внешний диаметр ОМ, м²;

$d_{вн}$ – внутренний диаметр ОМ, м².

Рассчитанное значение растягивающего усилия не должно превышать величины, установленной для выбранного способа прокладки кабеля. В противном случае необходимо использовать кабель другой конструкции.

7. РАСЧЕТ ДЛИНЫ ЭЛЕМЕНТАРНОГО КАБЕЛЬНОГО УЧАСТКА

7.1. РАСЧЕТ ДЛИНЫ ЭЛЕМЕНТАРНОГО КАБЕЛЬНОГО УЧАСТКА ПО ЗАТУХАНИЮ

В соответствии с нормами [9] при проектировании, строительстве и приемке в эксплуатацию магистральных и внутризоновых кабельных волоконно-оптических линий передачи задаются значения номинальной, минимальной и максимальной длины элементарного кабельного участка (ЭКУ) ВОСП.

Номинальная длина ЭКУ – такая протяженность ЭКУ, при которой заданная норма на вероятность ошибки при передаче информационных цифровых сигналов выполняется для всех 100% равновеликих ЭКУ, даже если все их строительные длины имеют максимальный коэффициент затухания, а все сварные соединения ОВ – максимально допустимые потери:

$$L_{ном} = \frac{W - A_p + A_{н max} - A_{эз}}{\alpha_{max} + A_{н max} / l_c}, \quad (7.1)$$

где W – энергетический потенциал ВОСП, дБ;

A_p – общие потери на всех разъёмных соединениях на ЭКУ, дБ;

$A_{н max}$ – максимальное значение потерь неразъёмного соединения, дБ;

$A_{эз}$ – эксплуатационный запас энергетического потенциала для аппаратуры и кабеля, дБ;

α_{max} – максимальное значение коэффициента затухания, заданное в технических условиях (спецификациях), дБ;

l_c – средняя строительная длина кабеля, км.

Минимальная длина ЭКУ – такая протяженность ЭКУ, при которой уровень оптического сигнала на приеме не превышает заданный для 50% равновеликих ЭКУ:

$$L_{min} = \frac{W - \Delta A - A_p + A_{нс}}{\alpha_{cp} + A_{нс} / l_c}, \quad (7.2)$$

где ΔA – динамический диапазон уровня приемного оптического сигнала, дБ;

$A_{нс}$ – среднее значение потерь неразъёмного соединения, дБ;

α_{cp} – среднее расчетное значение коэффициента затухания ОВ, дБ/км.

Максимальная длина ЭКУ – такая протяженность ЭКУ, при которой норма на вероятность ошибки при передаче информационных цифровых сигналов выполняется для 99,86% равновеликих ЭКУ:

$$L_{max} = \frac{W - A_p + A_{нс} - A_{эз} - B\sqrt{L_{ном}}}{\alpha_{cp} + B/\sqrt{L_{ном}} + A_{нс} / l_c}, \quad (7.3)$$

где B – коэффициент разброса затухания и потерь;

$$B = \frac{3 \cdot 0,8}{2\lambda^4 \sqrt{12}} \sqrt{1 + 1/l_{cp}}$$

λ – рабочая длина волны.

Энергетический потенциал ВОСП определяется по данным раздела 4, как разность между максимальной излучаемой мощностью и чувствительностью приемника.

Динамический диапазон приемника – разность между уровнями перегрузки и чувствительности.

Эксплуатационный запас энергетического потенциала для аппаратуры и кабеля принимается порядка 6 дБ.

Потери в разъемных соединениях – не более 0,5 дБ, в неразъемных – не более 0,05 дБ.

Протяженность проектируемого ЭКУ должна быть:

$$L_{min} < L_{ЭКУ} < L_{max}.$$

Длина ЭКУ по затуханию может быть увеличена за счет применения оптических усилителей. Рабочий диапазон длин волн выпускаемых в настоящее время эрбиевых усилителей мощности 1530...1565 нм, предусилителей 1530...1560 нм. Основные параметры эрбиевых усилителей фирмы Alcatel приведены в Приложении 3.

Если длина проектируемого ЭКУ меньше минимально допустимого значения, необходимо использовать оптические аттенюаторы на приемной стороне.

7.2. РАСЧЕТ ДЛИНЫ ЭЛЕМЕНТАРНОГО КАБЕЛЬНОГО УЧАСТКА ПО ДИСПЕРСИИ

В общем случае дисперсия в одномодовых ОВ обусловлена шириной полосы источника излучения и частотой модулирующего сигнала. Полагая, что используется код БВН и допустимая длительность уширенного импульса не должна превышать величины двух тактовых интервалов, протяженность ЭКУ в зависимости от дисперсии можно определить по формуле [8]:

$$L_d = \left[|D(\lambda)| \cdot F_T (0,577 \Delta\lambda_0 + 1,155 \lambda^2 F_T / c) \right]^{-1}, \text{ м}, \quad (7.4)$$

где $D(\lambda)$ – коэффициент дисперсии, с/м^2 ;

$$1 \text{ пс}/(\text{нм} \cdot \text{км}) = 10^{-6} \text{ с/м}^2$$

F_T – тактовая частота, Гц;

$\Delta\lambda_0$ – ширина полосы источника излучения, нм;

λ – рабочая длина волны, нм;

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость света.

Для дальнейших расчетов выбирается меньшее из полученных значений длин ЭКУ по затуханию и дисперсии.

8. СХЕМА ОРГАНИЗАЦИИ СВЯЗИ

Схема организации связи разрабатывается на основе выбранной трассы прокладки ВОК, размещения оконечной и промежуточной аппаратуры с учетом ее параметров. Длины пролетов должны удовлетворять рассчитанным значениям протяженности ЭКУ. Рекомендуется составлять схему таким образом, чтобы исключить использование необслуживаемых регенерационных (усилительных) пунктов, а обслуживаемые регенерационные пункты размещать в промежуточных населенных пунктах на трассе. На схеме показываются условными графическими обозначениями типы аппаратуры, виды кабелей (электрические или оптические), протяженности пролетов.

Пример построения схемы организации связи показан на рис 8.1а. В оконечных пунктах установлены терминальные мультиплексоры ТМ1 и ТМ2, в промежуточных пунктах – мультиплексор ввода/вывода АМД или регенератор REG. Если расстояние между пунктами превышает максимальную длину ЭКУ, то в диапазоне 1530 ...1560 нм можно использовать оптические эрбиевые усилители (усилители мощности и/или предусилители). Если расстояние между пунктами меньше минимальной длины ЭКУ, то необходимо использовать оптические аттенюаторы на передающей или приемной стороне.

Расчет распределения энергетического потенциала производится по формуле:

$$P_i = P_{nd} - 2A_p - nA_n - \alpha L_i, \quad (8.1)$$

где P_i – уровень мощности на выходе i -го пролета
(на входе соответствующего оптического приемника);
 P_{nd} – уровень мощности оптического передатчика
(одинаков на всех мультиплексорах);
 A_p – потери в разъёмном соединении;
 A_n – потери в неразъёмном соединении;
 L_i – длина i -го пролета;
 $n = (L_i / l_{cp}) - 1$ – количество неразъёмных соединений;
 α – коэффициент затухания ОВ;
 L_i – длина i -го пролета.

Значения входящих в формулу параметров берутся из предыдущих разделов проекта.

Расчет производится для каждого пролета и по результатам строится диаграмма распределения энергетического потенциала, пример которой показан на рис 8.1б,

где $L1, L2, L3$ – длины пролетов;
 P_n – уровень мощности перегрузки приемника;
 $P_{\text{ч}}$ – уровень чувствительности приемника.

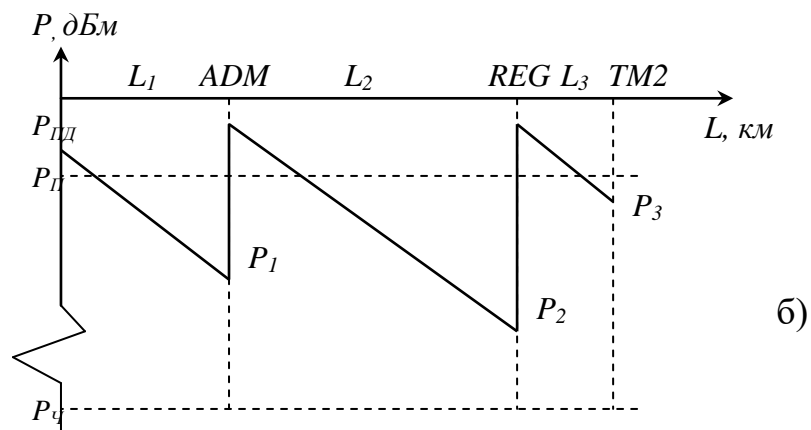
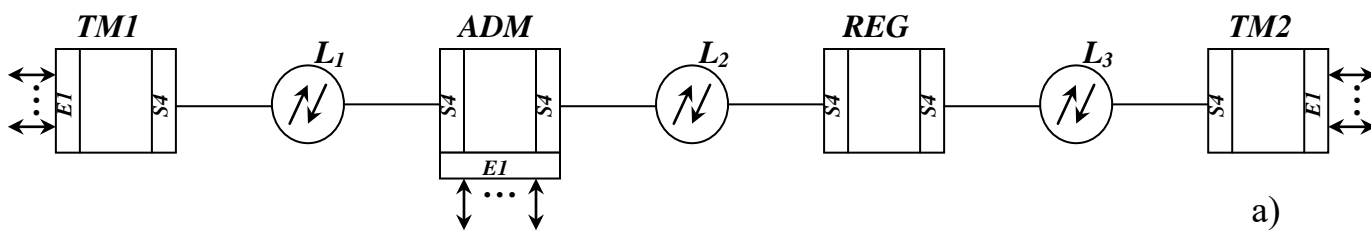
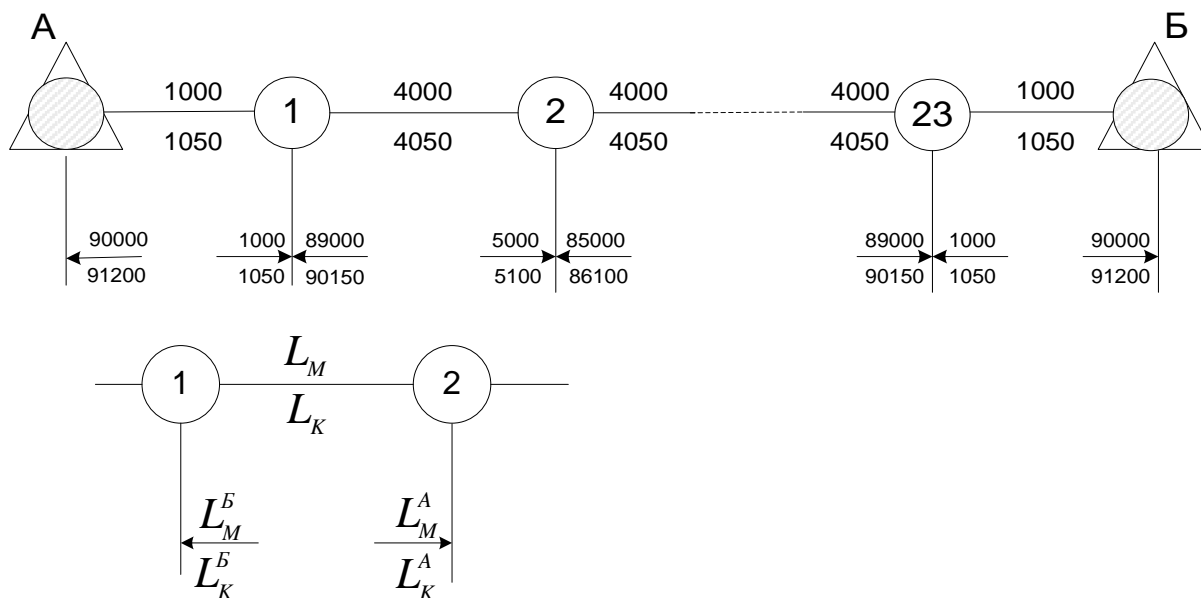


Рис. 8.1

Принцип построения профиля трассы для условного участка А–Б показан на рис. 8.2.



L_M – расстояние между муфтами, м;
 L_K – длина кабеля с учетом запаса, м;
 L_M^A – нарастающая длина от пункта А до муфты, м;
 L_K^A – нарастающая длина кабеля от пункта А до муфты, м;
 L_M^B – нарастающая длина кабеля от пункта Б до муфты, м;
 L_K^B – нарастающая длина кабеля от пункта Б до муфты, м.

Рис. 8.2

9. ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Под надежностью понимают свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значение всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки. Надежность – комплексное свойство, которое в зависимости от условий строительства и эксплуатации может включать в себя различные показатели. На практике в качестве комплексного показателя надежности используется показатель – коэффициент готовности:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + T_B}$$

где T_0 – наработка на отказ (среднее время между отказами);

T_B – среднее время восстановления (среднее время затраченное на обнаружение, поиск причин отказа и устранение последствий отказа), или связанный с ним коэффициент простоя:

$$K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma} = T_B / (T_0 + T_B).$$

Требуемые показатели надежности для первичной сети магистральной (МГ), внутризоновой (ВЗ) и местной (МС) для системы с максимальной протяженностью L_m (без резервирования) приведены в Таблице 9.

Таблица 9

Объект		Показатели	
		$K_{ГМ}$	$T_{ОМ}, ч$
ОЦК независимо от применяемой ОСП	МГ $L_m=12500 км$	> 0.920	> 12.54
	ВЗ $L_m=1400 км$	> 0.990	> 111.4
	МС $L_m=200 км$	> 0.997	> 400
ОЦК на перспективной цифровой сети	МГ $L_m=12500 км$	> 0.982	> 230
	ВЗ $L_m=1400 км$	> 0.998	> 2050
	МС $L_m=200 км$	> 0.9994	> 7000

Кроме перечисленных, установлены следующие нормативы:

- время восстановления НРП $T_{ВНРП} \leq 2,5$ и (в том числе время подъезда – 2 часа);
- время восстановления ОРП и ОП $T_{ВОП} \leq 0,5 ч$;
- время восстановления ВОК $T_{ВОК} \leq 10 ч$ (в том числе время подъезда – 3,5 часа).

Наработка на отказ конечных и промежуточных станций оценивается производителями в 6,7...8 лет. Однако, учитывая, что наименее надежным элементов в передатчике является лазерный диод можно ориентировочно взять наработку на отказ аппаратуры $T_{ОА} \approx 50000 ч$.

В соответствии с [7,8] алгоритм расчета показателей надежности состоит из четырех этапов: расчет требуемых показателей надежности для

проектируемой системы; расчет ожидаемых показателей надежности линейно-кабельных сооружений; расчет ожидаемых показателей аппаратного комплекса; расчет ожидаемых показателей системы в целом.

9.1. ТРЕБУЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ

Требуемое значение наработки на отказ

$$T_{OL} = \frac{T_{OM} \cdot L_M}{L}, \quad (9.1)$$

где L – протяженность проектируемого канала.

Требуемое значение коэффициента готовности

$$K_{GL} = \left[1 + \frac{L(1 - K_{GM})}{L_M \cdot K_{GM}} \right]^{-1}, \quad (9.2)$$

Требуемое значение коэффициента простоя

$$K_{IL} \approx \frac{L \cdot K_{IM}}{L_M},$$

9.2. ОЖИДАЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Интенсивность отказов для всей длинны трассы

$$M_{LJKC} = M_{BШК} + M_{ВНК} + M_{ВШ НРП}, \quad (9.3)$$

где

$$M_{BШК} = \frac{mL}{8765 \cdot 100} \quad (9.4)$$

– интенсивность отказов, обусловленных воздействием на ВОК внешних причин (работа сторонних организаций, природные явления и т.п.);

$m=0,15$ – среднее количество отказов кабеля на 100 км в год;

$$M_{ВНК} = \frac{n_{cd}}{T_{OK}} \quad (9.5)$$

– интенсивность отказов, обусловленных внутренними причинами;

n_{cd} – число строительных длин ВОК;

$T_{OK}=3\,225\,500$ ч – среднее значение наработки на отказ одной строительной длины ВОК;

$$M_{ВШ НРП} = \frac{0.06 \cdot n_{НРП}}{8765} \quad (9.6)$$

– интенсивность отказов, обусловленная внешним воздействием на НРП (0,06 на один НРП в год).

Наработка на отказ линейно-кабельных сооружений:

$$T_{0ЛКС} = \frac{1}{M_{ЛКС}}. \quad (9.7)$$

Коэффициент готовности линейно-кабельных сооружений:

$$K_{ГЛКС} = \frac{T_{0ЛКС}}{T_{0ЛКС} + T_{ВЛКС}}. \quad (9.8)$$

9.3. ОЖИДАЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

Интенсивность отказов аппаратуры оконечных и промежуточных пунктов

$$M_{ОП} = \sum_{i=1}^n M_{ОПi} = \sum_{i=1}^n (1/T_{0ОПi}), \quad (9.9)$$

где $T_{0ОПi}$ – наработка на отказ одного комплекта аппаратуры.

– наработка на отказ –

$$T_{0ОП} = 1/M_{ОП}, \quad (9.10)$$

– коэффициент готовности –

$$K_{ГОП} = \frac{T_{0ОП}}{T_{0ОП} + T_{ВОП}}.$$

Интенсивность отказов аппаратуры НРП

$$M_{НРП} = \sum_{i=1}^n M_{НРPi} = \sum_{i=1}^n 1/T_{0НРPi} \quad (9.11)$$

– наработка на отказ –

$$T_{0НРП} = 1/M_{НРП}, \quad (9.12)$$

– коэффициент готовности –

$$K_{ГНРП} = \frac{T_{0НРП}}{T_{0НРП} + T_{ВНРП}}. \quad (9.13)$$

Суммарные показатели надежности аппаратного комплекса

$$M_A = M_{ОП} + M_{НРП} \quad (9.14)$$

$$T_{OA} = 1/M_A \quad (9.15)$$

$$K_{ГА} = K_{ГОП} \cdot K_{ГНРП} \quad (9.16)$$

9.4. ОЖИДАЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ В ЦЕЛОМ

Интенсивность отказов системы

$$M_C = M_{ЛКС} + M_A \quad (9.17)$$

– наработка на отказ системы –

$$T_{OC} = 1/M_C \quad (9.18)$$

– коэффициент готовности системы –

$$K_{ГС} = K_{ГЛКС} \cdot K_{ГА} \quad (9.19)$$

При отсутствии НРП расчеты упрощаются.

Полученные ожидаемые показатели надежности сравниваются с требуемыми. Если ожидаемые показатели хуже требуемых, то предложить пути улучшения ожидаемых показателей.

Следует отметить, что используемая методика расчета не учитывает возможностей резервирования, заложенных в синхронных мультиплексорах. Поэтому реальные показатели надежности будут выше расчетных.

10. РАСЧЕТ ЗАЩИЩЕННОСТИ ВОК ОТ УДАРОВ МОЛНИЙ

Вероятное число повреждений ВОК ударами молний характеризуется вероятной плотностью повреждений:

$$n = \frac{N}{KL} 100,$$

где N – общее число повреждений, равное числу ударов молний на линии длиной L за K лет.

Допустимая плотность повреждения ВОК на 100 км трассы в год указана в Таблице 10 [5].

Таблица 10

Характер грунта	Допустимая плотность повреждений	
	ВОК магистральной сети связи	ВОК внутризоновой сети связи
Горные районы, районы со скальными грунтами при удельном сопротивлении более 500 Ом·м, районы многолетней мерзлоты	0,1	0,3
Остальные районы	0,2	0,5

Повреждение полностью диэлектрических ВОК возможно только при прямых ударах молний в кабель, приводящих к термическим и механическим разрушениям. Вероятность такого удара очень мала (меньше 0,001...0,1 повреждений на 100 км в год), что ниже нормируемых значений. Под действием электрического поля молнии возможен лишь поворот плоскости поляризации распространяющейся по кабелю волны.

В ВОК с металлическими элементами в конструкции при воздействии молнии в металлических элементах могут индуцироваться токи, представляющие опасность для кабеля.

Для определения вероятной плотности повреждений ВОК необходимо знать:

- молниестойкость кабеля (допустимый ток молнии, не вызывающий повреждения ВОК с перерывами связи); кА;
- интенсивность грозовой деятельности в районе прокладки кабеля (удельную плотность ударов молний в землю или среднегодовую продолжительность гроз в часах);
- удельное сопротивление грунта, Ом·м, и его строение;
- наличие вблизи кабеля возвышающихся объектов (лес, отдельно стоящие деревья, ВЛС и т.п.).

По максимально допустимому току молнии ВОК подразделяются на следующие категории молниестойкости:

I категория – $I_{\max} \geq 105$ кА;

II категория – $I_{\max} = (80 \dots 105)$ кА;

III категория – $I_{\max} = (55 \dots 80)$ кА;

IV категория – $I_{\max} < 55$ кА.

Рекомендуемые категории молниестойкости ВОК:

- в районах с удельным сопротивлением грунта до $1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$
I-III – для магистральной сети связи, I-IV – для внутризоновой;
- в районах с удельным сопротивлением грунта более $1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$
I-II – для магистральной сети связи, I-III – для внутризоновой;
- в районах с многолетнемерзлым грунтом
I – для магистральной сети связи, I-II – для внутризоновой.

Значения ожидаемой плотности повреждения ВОК, проложенных на открытой местности (на 100 км длины кабеля в год, при удельной плотности ударов молний в землю $q_n = 2 \frac{1}{\text{км}^2 \cdot \text{год}}$) приведены в Приложении И.

При других значениях удельной плотности ударов молний в землю величину плотности повреждений определяют как

$$n_1 = \frac{nq_n}{2} \quad (10.1)$$

При необходимости определения абсолютного значения вероятного числа повреждений на участке длиной L , найденное по формуле (10.1) нужно умножить на отношение длин

$$n_L = \frac{n_1 L}{100} \quad (10.2)$$

Если рассчитанная плотность повреждений ниже допустимой (Таблица 10), то необходима защита ВОК от ударов молний. Защита может быть осуществлена использованием ВОК повышенной молниестойкости или с помощью проложенных в земле параллельно ВОК защитных тросов (проводов).

Защитное действие проложенных в земле проводов характеризуется коэффициентом защитного действия $K_{з\partial}$, показывающим отношение плотности повреждений ВОК при наличии защитного троса к плотности повреждений при его отсутствии.

Значения коэффициентов защитного действия одного и двух проводов типа ПС-70 для различных значений удельного сопротивления грунта при прокладке защитных покровов на глубине 0,4 м от поверхности земли, расстояние между кабелем и тросом (при защите одним тросом) и между кабелем и плоскостью защитных проводов (при защите двумя тросами) равно 0,5 м приведены в Приложении И.

Исходные данные для расчета:

- $I_{дон}$, кА – молниестойкость кабеля (допустимый ток молнии, не вызывающий повреждений);
- q – удельная плотность ударов молнии в землю;
- ρ , Ом·м – удельное сопротивление грунта.

Порядок расчета:

1. По табл. в Приложении И определяется величина n .
2. По формулам (10.1 и 10.2) рассчитываются значения n_L для выбранной трассы прокладки кабеля.
3. При $n_L \leq n_{дон}$ защита от молний не требуется, при $n_L > n_{дон}$ в качестве защитной меры выбирается использование одного защитного троса.
4. По табл. в ПРИЛОЖЕНИИ И определяется величина $K_{з\partial 1}$ одного троса и рассчитывается значение $n_{L1} = n_L K_{з\partial 1}$.
5. При $n_{L1} \leq n_{дон}$ выбранной защиты достаточно, при $n_{L1} > n_{дон}$ в качестве защитной меры выбирается использование двух защитных тросов.
6. По табл. в ПРИЛОЖЕНИИ И определяется величина $K_{з\partial 2}$ двух тросов и рассчитывается значение $n_{L2} = n_L K_{з\partial 2}$.
7. При $n_{L2} \leq n_{дон}$ выбранной защиты достаточно, при $n_{L2} > n_{дон}$ необходимо выбрать ВОК с большей молниестойкостью. В последнем случае определить требуемое значение $I_{дон}$.

Ожидаемая плотность повреждений кабеля при прокладке одного или двух тросов находится умножением ожидаемого числа повреждений при отсутствии провода на коэффициент защитного действия.

11.ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

Необходимый для раздела материал достаточно полно изложен в [2,6,4].

Особенностями ВОК являются критичность к растягивающим усилиям и изгибам кабеля, большие строительные длины.

В общем случае строительство ВОЛС состоит из следующих этапов:

- подготовительные работы;
- проведение входного контроля и группирование строительных длин ВОК;
- прокладка или подвеска ВОК.

В процессе строительства ВОЛС в целях контроля качества строительства измеряют:

- коэффициент затухания;
- затухание строительных длин, оптических сростков и участков регенерации;
- энергетический потенциал;
- чувствительность фотоприемного устройства регенератора;
- уровни оптической мощности на входе и выходе линейного регенератора;
- расстояние до места повреждения.

Эксплуатационно-техническое обслуживание линейных сооружений ВОЛС должно обеспечивать их бесперебойную и качественную работу и организуется по территориально-производственному принципу.

Техническое обслуживание подразделяется на текущее и планово-предупредительное и включает в себя:

- технический надзор за состоянием трассы и выполнение правил охраны средств связи;
- технический надзор за всеми сооружениями;
- проведение профилактических работ;
- контроль за характеристиками кабеля;
- устранение выявленных неисправностей;
- подготовка линейных сооружений к работе в зимних условиях и период паводка;
- ведение технического учета и паспортизации.

В процессе эксплуатации для определения технического состояния линейных сооружений и аппаратуры выполняются профилактические, контрольные и аварийные измерения следующих параметров:

- чувствительность фотоприемного устройства регенератора;
- уровень оптической мощности на входе и выходе линейного регенератора;
- расстояние до места повреждения.

Содержание раздела необходимо увязать с выбранным способом прокладки ВОК.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жуковский А.Г., Манин А.А. Руководство по подготовке курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. Учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2017. – 69 с.
2. Енгибарян И.А., Зуев В.В. Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2012 – 152с.
3. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Том 1. Теория передачи и влияния: Учебник для вузов / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов и др. - 7-е изд., перераб. и доп. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. - 424 с.; . ISBN 978-5-9912-0092-9, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/256974>
4. Андреев, В. А. Направляющие системы электросвязи. В 2 т. Т. 2. Проект., строит. и тех. экспл.: Учеб. /В.А.Андреев и др.; Под ред. В.А. Андреева - 7 изд. - Москва : Гор.линия-Телеком,2010-424 с.; - (Уч. пос. для вузов) ISBN 978-5-9912-0141-4, 2000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/245482>
5. Портнов, Э. Л. Оптические кабели связи, их монтаж и измерение: Учебное пособие для вузов / Э.Л. Портнов. - Москва : Гор. линия-Телеком, 2012. - 448 с.: ил.; . - (Специальность). ISBN 978-5-9912-0219-0, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/333230>
6. Оптические телекоммуникационные системы: Учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев, А.Д. Моченов, Р.М. Шарафутдинов; Под ред. В.Н. Гордиенко - Москва : Гор. линия-Телеком, 2011. - 368 с.: ил.; . ISBN 978-5-9912-0146-9, 1000 экз. - Текст : электронный. - URL: <https://new.znanium.com/catalog/product/318817>
7. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы 3-е изд., перераб. и доп.\Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. М.: Техносфера, 2010. - 608с. ISBN 978-5-94836-245-8
8. В.Г. Фокин Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 288с.: ил.
9. Ксенофонов С. Н., Портнов, Э. Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

Кафедра Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Утверждаю
Зав. кафедрой ИТСС СКФ МТУСИ
_____ В.И. Юхнов
« ____ » _____ 201__ г.

**ЗАДАНИЕ
НА КУРСОВУЮ РАБОТУ**

Студенту _____ группы _____

Направление – 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Профиль «_____»

**Тема курсовой работы: Проектирование междугородной магистрали с использованием
ВОК с разработкой мероприятий по защите от внешних факторов**

№	Содержание
1	2
1	Исходные данные к проекту (в соответствии с МУ по заданному варианту).
2	Введение.
3	Выбор трассы магистрали между заданными городами и способ прокладки ВОК.
4	Выбор системы передачи.
5	Выбор класса оптического волокна и расчет его основных параметров. Расчет геометрических размеров, массы и механической прочности волоконно-оптического кабеля.
6	Расчет длины элементарного кабельного участка в зависимости от энергетических потерь и дисперсии.
7	Схема организации связи и расчет распределения энергетического потенциала
8	Основные параметры надежности
9	Защита кабельной магистрали от ударов молний
10	Основные требования к строительству и эксплуатации ВОЛС.
11	Заключение
12	Список использованных источников

Перечень графического материала:

1. Ситуационная схема трассы кабельной линии передачи.
2. Конструкция выбранного волоконно-оптического кабеля.
3. Схема организации связи.
4. Диаграмма уровней сигнала для линии передачи.
5. Схема распределения оптических муфт на одном из элементарных кабельных участков.

Срок сдачи студентом законченной работы _____

Дата выдачи задания _____

Руководитель

Енгибарян И.А. доцент кафедры ИТСС, к.т.н.

(фамилия и инициалы, должность, ученая степень)

(подпись руководителя)

Задание принял к исполнению _____

(дата и подпись студента)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица П.1 – Требования к параметрам ВОК

Прокладка	Условия прокладки	Допустимое растягивающее усилие, кН	Допустимое раздавливающее усилие, кН/см	Диапазон температур, °С
Подземная	Грунт	2,5...50	0,4...1	-40...50
	Кабельная канализация	1,0...2,5	0,4...1	-40...50
	Мосты	1,0...2,5	0,4...1	-60...50
Подводная	Речные переходы	20...80	1	-40...50
	Глубоководные участки	100...250	1...3	-40...50
	Береговые участки	400...640	1...6	-40...50
Подвесная	На опорах ЭЖД и ЛЭП напряжение < 110 кВ	3...30	1...2	-60...60
	На опорах ЛЭП напряжение ≥ 110 кВ	30...65	2	-60...60

Таблица П.2 – Классификация ВОК по допустимому растягивающему усилию

Тип ВОК – допустимое растягивающее усилие	Условия прокладки и эксплуатации
Тип 1, ≥ 80 кН	В грунтах все групп, включая грунты, подверженные мерзлотным деформациям, а также на речных переходах, через судоходные реки и на глубоководных участках водоемов.
Тип 2, ≥ 20 кН	В грунтах все групп, включая скальные и сложные грунты, а также через неглубокие и несудоходные реки и болота.
Тип 3, ≥ 7 кН	В легких грунтах, по мостам и эстакадам, а также к кабельной канализации.
Тип 4, ≥ 2,7 кН	В стандартной кабельной канализации, блоках, коллекторах, в полиэтиленовых защитных трубах (методом пневмопрокладки), а также для прокладки внутри зданий.
Самонесущие 3,0...35,0 кН	На опорах ВЛС, ЛЭП и эл. ж. д.

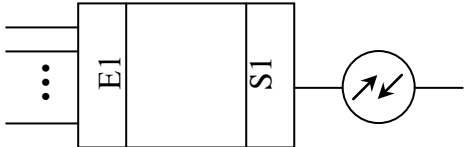
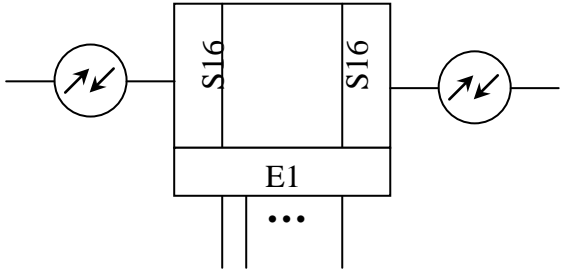
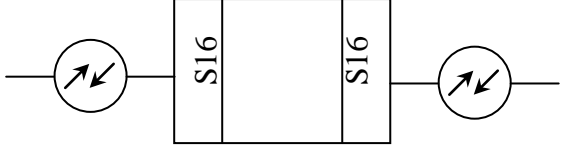

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица П.3 – Основные параметры типовых систем передачи

Параметр	Значения			
Цифровой сигнал	STM – 1	STM – 4	STM – 16	STM – 64
Скорость передачи, кбит/с	155520	622080	2488320	9953280
Средняя излучаемая мощность:				
- максимальная, дБм	0	+2	+3	+4
- минимальная, дБм	-5	-3	-2	-1
Параметры приемника:				
- чувствительность, дБм	-34	-28	-27	-26
- уровень перегрузки, дБм	-10	-8	-9	-9

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Примеры условных графических обозначений синхронных мультиплексоров

Оконечный мультиплексор с трибутарными потоками плезиохронного уровня E1 и агрегатным потоком STM – 1	
Мультиплексор ввода/вывода уровня STM-16 с потоками ввода/вывода E1	
Регенератор уровня STM – 16	
Оптический кабель	

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица П.4 – Основные параметры оптических волокон

Параметры	Класс ОВ по Рек. МСЭ			
	G. 652	G. 653	G. 654	G. 655
<u>Оптическое волокно</u>				
Диаметр модового поля, мкм				
на $\lambda=1310$ нм	(8,6...9,5) $\pm 0,7$	—	—	—
на $\lambda=1550$ нм	—	(7,5...8,5) $\pm 0,7$	(9,5...10,5) $\pm 0,7$	(8,0...11) $\pm 0,7$
Коэффициент затухания, дБ/км				
на $\lambda=1310$ нм	$\leq 0,35$	—	—	—
на $\lambda=1550$ нм	$\leq 0,22$	$\leq 0,22$	$\leq 0,20$	$\leq 0,22$
на $\lambda=1625$ нм	—	—	—	$\leq 0,25$
Коэффициент дисперсии, пс/нм·км		$\leq 3,5$	≤ 20	1...10
Наклон характеристики дисперсии, пс/(нм ² ·км)	0,093	0,085	0,070	0,058
Длина волны отсечки, нм	1260	1270	1530	1480
<u>Оптический кабель</u>				
Коэффициент затухания, дБ/км				
на $\lambda=1310$ нм	$\leq 0,40$			
на $\lambda=1550$ нм	$\leq 0,35$	$\leq 0,35$	$\leq 0,22$	$\leq 0,35$
на $\lambda=1625$ нм	$\leq 0,40$			$\leq 0,40$

Примеры маркировки ВОК

Структура кодового обозначения кабелей СПОАО «Москабель-Фуджикура»

Информационные индексы: 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – (6) – 7.

1. Марка кабеля:

- ОМЗКГМН: О – оптический, М – магистральный, З – зонавый, К – канализация, Г – грунт, М – многомодульный, Н – не распространяющий горение.

ЦСЭ из стеклопластикового стержня, в ОМ до 12 ОВ, внутренняя и наружная оболочки из полиэтилена, броня из стальных оцинкованных проволок.

- ОМЗКГЦ: Ц – одномодульный (с центральным ОМ).

ОМ содержит до 24 ОВ, броня из круглых стальных оцинкованных проволок, наружная оболочка из полиэтилена.

- ОКСТМ: ОК – оптический кабель, СТ – стальная гофрированная оболочка, М – многомодульный.

ЦСЭ из стеклопластикового стержня, В ОМ до 12 ОВ, возможен слой из арамидных нитей, броня из стальной гофрированной оболочки, наружная оболочка из полиэтилена.

- ОККТМ: К – канализация, Т – трубы пластиковые, М – многомодульный.

ЦСЭ из стеклопластикового стержня, В ОМ до 12 ОВ, периферийный силовой элемент из повива арамидных нитей, алюмополиэтиленовая оболочка.

- ОККТЦ: Ц – одномодульный (с центральным ОМ).

В центральном ОМ до 24 ОВ, стальная гофрированная оболочка, наружная оболочка из полиэтилена с двумя продольно расположенными в ней стальными проволоками.

- ОКСНМ: С – самонесущий, Н – неметаллический, М – многомодульный.

ЦСЭ из стеклопластикового стержня, В ОМ до 12 ОВ, внутренняя и наружная оболочки из полиэтилена, периферийный силовой элемент из повива арамидных нитей.

2. Диаметр модового поля ОВ.

3. Тип центрального силового элемента:

- 01 – из стеклопластика;
- 02 – из стального троса;
- 03 – из стальной проволоки.

4. Коэффициент затухания, дБ/км.

5. Количество ОВ в кабеле.

6. Допустимое растягивающее усилие, кН.

7. ТУ фирмы – производителя на кабель.

Например: ОМЗКГМ – 10 – 01 – 0,22 – 32 – (7,0) ТУ 16.К87-001-00

Структура кодового обозначения кабелей ЗАО «ТРАНСВОК»

Информационные индексы: 1 – 2 – 3 – 4 – 5/6(7)8 – 9(10)11

1. Марка кабеля:

- ОКМС – оптический кабель самонесущий. ЦСЭ из стеклопластикового стержня, периферийный силовой элемент из арамидных нитей, внутренняя и наружная оболочки из полиэтилена.
- ОКМТ – оптический кабель для прокладки в защитные пластмассовые трубы. ЦСЭ из стеклопластикового стержня, периферийный силовой элемент из арамидных нитей, внутренняя и наружная оболочки из полиэтилена.
- ОКЗ-С...С_п – оптический кабель с броней из стальной гофрированной ленты. ЦСЭ из стеклопластикового стержня, внутренняя и наружная оболочки из полиэтилена.
- ОКЗ-НС...Т – оптический кабель с броней из стальной гофрированной ленты. ЦСЭ – стальной трос, внутренняя оболочка из полиэтилена, наружная оболочка – из полиэтилена не распространяющая горение.

2. Наружная оболочка:

В – из ПВХ пластиката;
Н – не распространяющая горение;
отсутствие индекса – полиэтиленовая.

3. Наружный покров (броня):

А – обмотка из арамидных нитей;
С – из стальной гофрированной ленты.

4. Внутренняя оболочка:

П – полиамидная;
отсутствие индекса – полиэтиленовая.

5. Количество ОМ в кабеле.

6. Количество заполняющих модулей.

7. Наружный номинальный диаметр ОМ и заполняющего модуля (2,0; 2,4; 3,0 мм).

8. Центральный силовой элемент:

Сп – стеклопластиковый пруток;
Т – стальной трос.

9. Количество ОВ в кабеле (6...64).

10. Тип оптического волокна:

2 – Рек. МСЭ-Т G.652;
3 – Рек. МСЭ-Т G.653;
5 – Рек. МСЭ-Т G.655.

11. ТУ на кабель.

Например: ОКМТ – А – 4/2(2,4)Сп – 8(5) ТУ 3587 – 002 – 458693 - 98

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Значения плотности и модуля продольной упругости материалов

Материал	Плотность, г/см ³	Модуль упругости, ·10 ⁹ Па
Алюминий	2,7	70
Арамидное волокно	1,44...1,45	125
Водоблокирующий компаунд	0,85...0,90	
Волокно СВМ	1,25	65
Кварцевое волокно	2,4	86
Медь	8,7...8,9	120
Поливинилхлорид	1,3...1,7	3
Полистирол	1,04...1,06	1,2...1,5
Полиэтилен НП	0,92	0,26
Полиэтилен СП	0,93	0,62
Полиэтилен ВП	0,95	1,0
Сталь	7,8...7,9	200
Стеклопластик	1,85...2,15	50
Фторпласт	2,1...2,3	2,25

ПРИЛОЖЕНИЕ З

Таблица П.5 – основные параметры оптических усилителей

Тип усилителя	Уровень входного сигнала, дБм мин/макс	Уровень выходного сигнала, дБм мин/макс
<u>Усилители мощности</u>		
LBB/10ДВ	-6/4	10/12
LBB/13ДВ	-6/4	13/15
LBB/15ДВ	-6/4	15/17
<u>Предусилитель</u>		
LB OPA	-37/-18	-29/-8,5

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Таблица П.6

Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Плотность повреждений при допустимом токе, $I_{доп}$, кА					
	30	40	55	80	90	105
100	0,217	0,154	0,089	0,034	0,023	0,012
200	0,301	0,212	0,121	0,046	0,031	0,017
300	0,355	0,249	0,143	0,054	0,036	0,020
400	0,394	0,277	0,158	0,060	0,040	0,022
500	0,425	0,298	0,170	0,064	0,043	0,023
600	0,449	0,315	0,180	0,068	0,045	0,025
700	0,469	0,329	0,188	0,071	0,047	0,026
800	0,486	0,341	0,195	0,073	0,049	0,027
900	0,501	0,351	0,201	0,075	0,050	0,027
1000	0,513	0,360	0,206	0,077	0,052	0,028

Таблица П.7

Удельное сопротивление грунта, Ом·м	Коэффициент защитного действия			
	Одного троса	Двух тросов при расстоянии между ними, м		
		0,4	1,0	2,0
100	0,03	0,02	0,002	0,001
300	0,18	0,15	0,06	0,03
500	0,25	0,21	0,10	0,06
700	0,34	0,28	0,16	0,09
1000	0,41	0,31	0,22	0,15
3000	0,63	0,54	0,48	0,41