

Федеральное агентство связи  
Поволжская Государственная Академия  
Телекоммуникаций и Информатики  
Кафедра Линий Связи и Измерений в Технике Связи

Одобрена Советом ФБТО  
22 июня 2005 года

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Методическая разработка по курсовому и дипломному  
проектированию для студентов специальности  
«Многоканальные телекоммуникационные системы»  
(201000) дневной и заочной формы обучения

Составили: к.т.н., доц. Воронков А.А.  
к.т.н., доц. Бурдин В.А.  
к.т.н., проф. Попов Б.В.

Под общей редакцией д.т.н., проф. Андреева В.А.  
Рецензент: к.т.н., доц. каф. МЭС  
Корнилов И.И.

Самара 2005г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА.....	5
1.1. Требования к курсовому проекту и его оформлению .....	5
1.2. Цель и задачи курсового проектирования кабельной линии связи .....	5
2. ВЫБОР ТРАССЫ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ.....	7
2.1. Основные критерии выбора трассы кабельной линии связи .....	7
3. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ СВЯЗИ.....	11
3.1. Определение конструкции кабеля и способа организации связи.....	11
3.2. Уточнение конструктивных размеров симметричного ЭКС реконструируемой линии .....	14
3.3. Уточнение конструкции коаксиального ЭКС реконструируемой линии ...	17
4. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ КАБЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ РЕКОНСТРУИРУЕМОЙ ЛИНИИ .....	18
4.1. Общие положения по расчёту параметров передачи кабельных цепей .....	18
4.2. Расчёт первичных параметров передачи симметричного кабеля .....	19
4.2.1. Активное сопротивление цепи.....	19
4.2.2. Индуктивность симметричной кабельной цепи.....	22
4.2.3. Ёмкость и проводимость изоляции симметричной кабельной цепи.....	22
4.3. Расчёт вторичных параметров передачи симметричной кабельной цепи.....	24
4.4. Расчёт параметров передачи коаксиальных кабелей .....	25
4.5. Размещение регенерационных пунктов по трассе кабельной линии.....	27
5. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМНЫХ ВЛИЯНИЙ МЕЖДУ ЦЕПЯМИ.....	28
5.1. Общие положения .....	28
5.2. Расчёт параметров взаимных влияний между цепями коаксиального кабеля.....	29
5.3. Расчёт параметров взаимных влияний между цепями симметричного ЭКС реконструируемой линии.....	31
6. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ ОТ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ .....	36
6.1. Основные положения.....	36
6.2. Расчёт опасных магнитных влияний .....	37
6.3. Нормы опасного магнитного влияния.....	43
6.4. Расчёт и защита кабелей связи от ударов молнии.....	44
6.5. Расчёт надёжности проектируемой кабельной магистрали.....	48

7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО - ОПТИЧЕСКОЙ	ЛИНИИ	
ПЕРЕДАЧИ.....		50
7.1. Выбор и обоснование ВОСП.....		51
7.2. Выбор и обоснование типа оптического волокна.....		52
7.3. Выбор и обоснование типа оптического кабеля .....		53
7.4. Выбор и обоснование схемы организации связи .....		56
7.5. Размещение ретрансляторов по трассе магистрали .....		56
7.6. Обеспечение доступа абонентов к цифровым каналам связи.....		58
8. ПЛАН ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И МОНТАЖУ		
ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЛИНИИ .....		60
8.1. Общие положения .....		60
8.2. Организация строительно-монтажных работ.....		61
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:.....		63

## **ВВЕДЕНИЕ**

Наряду с перспективными волоконно-оптическими линиями передачи (ВОЛП) на магистральных и внутризональных сетях связи России в настоящее время широко используются симметричные и коаксиальные электрические кабели связи (ЭКС), срок службы которых исчисляется десятками лет. Поэтому важной задачей является реконструкция кабельных линий связи, построенных на базе ЭКС с целью повышения эффективности использования и замены устаревших аналоговых систем передачи (АСП) на цифровые системы передачи (ЦСП), а также их сочетание с ВОЛП на этапе проектирования и строительства современных сетей связи.

Одним из основных направлений развития Взаимоувязанной сети связи (ВСС) является широкое внедрение ВОЛП с использованием кольцевых структур построения сети и многоканальных телекоммуникационных систем на базе плейзиохронной (PDH) и синхронной (SDH) цифровой иерархии. Это требует глубоких теоретических знаний, овладения навыками проектирования, реконструкции, строительства и эксплуатации линейных сооружений связи, являющихся наиболее дорогостоящими и трудоемкими элементами сети связи.

При подготовке специалистов многоканальных телекоммуникационных систем важное место занимают вопросы выбора наиболее целесообразных технико-экономических вариантов реконструкции и проектирования линий связи, многофакторный подход к проектированию для получения максимального эффекта при минимуме затрат.

Это наиболее полно реализуется при сопоставлении в процессе проектирования традиционных электрических кабелей и перспективных оптических кабелей связи.

При работе над проектом кабельной линии связи студенты должны научиться грамотно использовать различные нормативные материалы и справочную литературу, выполнить проект по предложенному индивидуальному заданию.

# **I. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

## **I.1. Требования к курсовому проекту и его оформлению**

Курсовой проект выполняется по одному из вариантов индивидуального задания и оформляется в виде пояснительной записки (ПЗ), отвечающей требованиям ГОСТ. В ПЗ не должно быть изложения общих положений и норм проектирования, текстовый материал следует излагать конкретно и чётко, при этом не допускается произвольное сокращение слов. При использовании общепринятых сокращений необходимо вначале указать полное наименование слова. ПЗ должна быть иллюстрирована необходимыми схемами, рисунками и чертежами, поясняющими выбор тех или иных проектных решений. При этом обязательны ссылки на литературу, из которой заимствованы выбранные решения. Такие ссылки выполняются указанием в скобках номера, под которым значится в общем списке литературы данный источник. Схемы, рисунки и чертежи оформляются на листах или миллиметровой бумаге того же формата, что и текст.

При выполнении расчётов в ПЗ должна быть приведена в общем виде расчётная формула с расшифровкой всех входящих в неё обозначений и ссылкой на литературу, из которой взяты эти расчётные формулы или входящие в неё исходные данные. Один вариант расчёта по формуле приводится подробно, остальные результаты представляются в виде таблицы. При использовании средств вычислительной техники приводятся расчётные формулы, ссылки на название программы расчёта и подробные исходные данные к расчёту, с результатами в виде таблиц и графиков. Все результаты расчётов должны сопровождаться их анализом и выводами.

Курсовой проект должен иметь титульный лист, оглавление, индивидуальное задание, введение, заключение и заканчиваться списком литературы, подписью и датой выполнения.

## **I.2. Цель и задачи курсового проектирования кабельной линии связи**

Основной целью курсового проектирования кабельной линии связи является закрепление и углубление знаний, полученных студентами при изучении направляющих систем электросвязи, решение конкретных задач по реконструкции подземных кабельных линий на базе традиционных медножильных кабелей связи и проектированию перспективных ВОЛП. Исходные данные к курсовому проекту составлены таким образом, что каждому студенту необходимо произвести реконструкцию существующей линии на базе ЭКС с заменой системы передачи (СП) и выполнить проектирование вновь строящейся линии с использова-

нием оптических кабелей связи (ОКС). Эта ВОЛП будет являться составным элементом новой телекоммуникационной сети на базе PDH и SDH.

В исходных данных три населенных пункта. Между первыми двумя – существующая линия на базе ЭКС, между вторым и третьим – проектируемая ВОЛП.

В процессе курсового проектирования необходимо решить следующие задачи:

1. В соответствии с исходными данными определить конструкцию и марку ЭКС, используемого в реконструируемой линии, вычертить его поперечный разрез в масштабе с указанием типа и марки ЭКС.
2. Рассчитать параметры передачи ЭКС в диапазоне частот ЦСП, выбранной для реконструкции. Определить длину регенерационного участка (РУ) этой ЦСП на линии.
3. Определить трассу реконструируемой кабельной линии между заданными населенными пунктами и произвести размещение необслуживаемых (НРП) и обслуживаемых (ОРП) регенерационных пунктов для вновь устанавливаемой ЦСП. При этом необходимо задействовать точки установки усилительных пунктов предыдущей СП на реконструируемой линии.
4. Рассчитать параметры взаимного влияния в диапазоне частот вновь устанавливаемой ЦСП, принять необходимые меры по обеспечению заданных норм.
5. В соответствии с индивидуальным заданием рассчитать опасное магнитное влияние ЛЭП на ЭКС, дать рекомендации по повышению эффективности защиты.
6. В соответствии с индивидуальным заданием оценить грозостойкость реконструируемой линии, дать рекомендации по повышению эффективности грозозащиты ЭКС и защиты от коррозии.
7. Выбрать и обосновать наиболее целесообразный вариант трассы ВОЛП между заданными пунктами, предусмотреть возможность подвески ОКС на отдельных участках трассы с целью снижения затрат на строительство.
8. Выбрать и обосновать применение схемы организации связи, оптического волокна (ОВ), конструкции ОКС, волоконно-оптической системы передачи (ВОСП), исходя из заданного числа каналов и расстояния между оконечными пунктами. Вычертить поперечный разрез ОКС в масштабе с указанием типа и марки кабеля.
9. Рассчитать длину РУ по энергетическим характеристикам ВОСП, затуханию ОКС и дисперсии.
10. Произвести размещение НРП и ОРП по трассе ВОЛП.
11. Рассчитать показатели надежности кабельной магистрали.
12. Составить план организации работ по строительству ВОЛП и ведомость расхода основных материалов и оборудования при строительстве.

## **2. ВЫБОР ТРАССЫ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ**

### **2.1. Основные критерии выбора трассы кабельной линии связи**

При проектировании трасса прокладки кабеля определяется расположением оконечных пунктов. Все требования, учитываемые при выборе трассы можно свести к трём следующим: минимальные капитальные затраты на строительство, минимальные эксплуатационные расходы, удобство обслуживания.

Для обеспечения первого требования учитывают протяжённость трассы, количество пересечений рек, шоссейных и железных дорог, возможность применения механизированной прокладки, а так же возможность снижения затрат на защиту линии связи от опасных и мешающих влияний со стороны высоковольтных линий и коррозии. Для обеспечения второго и третьего требований учитывают варианты прохождения трассы, возможность обеспечения хороших жилищно-бытовых условий для обслуживающего персонала.

Для соблюдения указанных требований трасса должна иметь наикратчайшее расстояние между заданными пунктами и наименьшее количество препятствий. За пределами населённых пунктов трассу обычно выбирают в полосе отвода автомобильных дорог. Допускается спрямление трассы кабеля, если прокладка вдоль автомобильной дороги значительно удлиняет трассу. Причем для ОКС допускается подвеска на опорах ЭЖД и ЛЭП. При выборе варианта трассы используется карта местности между заданными пунктами, обычно это атлас автомобильных дорог России / 1 /. На территории городов кабель прокладывается в телефонную канализацию, причём стремятся к максимальному использованию существующей канализации и резервных каналов. Ориентировочный объём прокладки кабеля в канализации устанавливается в пределах 3-4 км на каждый город с населением до 500 тыс. жителей, расположенный по трассе. Из общей протяжённости канализации 40-50 % принимается как существующая. От всей протяжённости трассы 5-10 % предусматривается на прокладку кабеля вручную, а остальная часть прокладывается кабелеукладчиком.

Номер варианта задания на реконструкцию и проектирование линии определяется двумя последними цифрами номера студенческого билета или индивидуальным заданием преподавателя в соответствии с табл. 2.1. Между первым и вторым населённым пунктом согласно табл. 2.1. производится реконструкция линии, между вторым и третьим – проектирование ВОЛП.

Трассы реконструируемой и проектируемой  
линии

00	Минеральные Воды – Армавир – Краснодар
01	Вологда - Ярославль – Москва
02	Москва – Тула – Рязань
03	Курск – Тула – Калуга
04	Вологда – Ярославль – Иваново
05	Балаково - Сызрань – Самара
06	Санкт-Петербург – Псков – Новгород
07	Самара – Саратов – Волгоград
08	Оренбург – Уфа – Ижевск
09	Оренбург – Самара – Тольятти
10	Иваново – Владимир – Москва
11	Волгоград – Элиста – Ставрополь
12	Екатеринбург – Уфа – Салават
13	Новороссийск – Краснодар - Ростов-на-Дону
14	Краснодар – Ростов-на-Дону - Волгоград
15	Псков - Новгород – Тверь
16	Ярославль – Тверь – Москва
17	Владимир – Ярославль – Кострома
18	Кострома – Иваново – Нижний Новгород
19	Брянск – Курск – Воронеж
20	Смоленск – Брянск – Москва
21	Саранск – Нижний Новгород – Йошкар-Ола
22	Саранск - Пенза – Рязань
23	Самара - Казань – Чебоксары
24	Самара – Ульяновск – Казань
25	Орёл – Курск – Воронеж
26	Липецк – Тамбов – Пенза
27	Орёл – Липецк – Воронеж
28	Саратов – Пенза – Самара
29	Пенза – Тамбов – Воронеж
30	Воронеж - Липецк – Пенза
31	Ростов-на-Дону – Шахты – Волгоград
32	Рязань – Тамбов – Пенза
33	Краснодар – Армавир – Ставрополь
34	Казань – Набережные Челны – Уфа

- 35 Ростов-на-Дону – Краснодар – Майкоп  
36 Челябинск – Магнитогорск – Уфа  
37 Магнитогорск – Уфа – Екатеринбург  
38 Нижний Тагил – Екатеринбург – Челябинск  
39 Ижевск – Пермь – Екатеринбург  
40 Пермь – Уфа – Оренбург  
41 Оренбург – Магнитогорск – Челябинск  
42 Архангельск – Вологда – Череповец  
43 Петрозаводск – Санкт-Петербург – Новгород  
44 Сыктывкар – Киров – Пермь  
45 Смоленск – Москва – Тверь  
46 Архангельск - Вельск – Вологда  
47 Брянск – Калуга – Москва  
48 Кострома – Нижний Новгород – Чебоксары  
49 Киров – Йошкар-Ола – Казань  
50 Йошкар-Ола – Ижевск – Пермь  
51 Калуга – Орел – Курск  
52 Кемерово – Новосибирск – Барнаул  
53 Томск – Кемерово – Новокузнецк  
54 Новосибирск – Барабинск – Омск  
55 Тюмень – Ишим – Омск  
56 Чита – Улан-Удэ – Иркутск  
57 Благовещенск – Райчихинск – Биробиджан  
58 Биробиджан - Хабаровск – Комсомольск-на-Амуре  
59 Владивосток – Дальнереченск – Хабаровск  
60 Канск – Тайшет – Иркутск  
61 Кызыл – Абакан – Красноярск  
62 Тюмень – Курган – Челябинск  
63 Нижний Тагил – Пермь – Ижевск  
64 Стерлитамак – Оренбург – Орск  
65 Красноярск – Ачинск – Кемерово  
66 Нальчик – Черкесск – Ставрополь  
67 Новосибирск – Томск – Колпашево  
68 Астрахань – Элиста – Минеральные Воды  
69 Белгород – Курск – Брянск  
70 Ульяновск – Алатырь – Йошкар-Ола  
71 Тула – Орел – Смоленск  
72 Самара – Бугульма – Ижевск  
73 Владимир – Муром – Саранск  
74 Рязань – Тамбов – Саратов

75	Смоленск – Вязьма – Калуга
76	Сыктывкар – Котлас – Вологда
77	Глазов - Ижевск – Чебоксары
78	Йошкар-Ола – Чебоксары – Нижний Новгород
79	Бугульма – Бузулук – Оренбург
80	Иваново – Ковров – Москва
81	Владимир – Иваново – Череповец
82	Сочи – Новороссийск – Краснодар
83	Новороссийск – Геленджик – Сочи
84	Нальчик – Гудермес – Махачкала
85	Махачкала – Грозный – Владикавказ
86	Пятигорск – Моздок – Махачкала
87	Липецк – Рязань – Москва
88	Калуга – Рязань – Воронеж
89	Череповец – Тихвин – Санкт-Петербург
90	Рубцовск – Барнаул – Горно-Алтайск
91	Барнаул – Новокузнецк – Абакан
92	Омск – Новосибирск – Мариинск
93	Ижевск – Уфа – Миасс
94	Шадринск – Курган – Тобольск
95	Енисейск – Красноярск – Минусинск
96	Майкоп – Краснодар – Темрюк
97	Красноуральск – Екатеринбург – Шадринск
98	Нефтекамск – Уфа – Миасс
99	Верхнеуральск – Челябинск – Шадринск

К курсовому проекту прилагается ситуационный чертёж трассы реконструируемой и проектируемой линии, причем для проектируемой ВОЛП в пояснительной записке приводится сравнение и обоснование выбранного варианта из не менее чем трёх рассматриваемых. Основные показатели сравниваемых вариантов ВОЛП сводятся в таблицу 2.2:

Таблица 2.2

Характеристика трассы	Единицы измерения	Количество единиц по вариантам		
		вариант №1	вариант №2	вариант №3
1. Общая протяжённость трассы: – вдоль шоссежных дорог; – вдоль железных дорог; – вдоль грунтовых дорог; – по бездорожью.	км			
2. Способы прокладки кабеля: – кабелеукладчиком; – вручную; – в канализации; – подвеска	км			
3. Количество переходов: – через судоходные и сплавные реки; – через несудоходные реки; – через шоссежные дороги;	1 пер.			
4. Число обслуживаемых регенерационных пунктов	1 пункт			

### 3. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ СВЯЗИ

#### 3.1. Определение конструкции кабеля и способа организации связи

Конструкция ЭКС реконструируемой линии определяется индивидуальным заданием, исходя из заданного числа каналов и задействованной СП согласно табл. 3.1, в которой устанавливается не только тип кабеля (коаксиальный или симметричный), но также его емкость, диаметр проводников, материал и конструкция изоляции жил и оболочки кабеля. В КП студенту необходимо определить, пользуясь учебником / 2 / или справочником / 3 / конструктивные размеры поясной изоляции, оболочки и внешних покровов наиболее близких по конструкции кабелей, выпускаемых промышленностью. Необходимо учесть, что в грунт прокладывается ЭКС с ленточной броней, под воду - с круглопроволочной броней, в канализацию - без брони.

Таблица 3.1

Сумма двух последних цифр студенческого билета						
18	К-24	ИКМ-120x2	450	СК 1x4	1,04	
17	К-300	ИКМ-480x2	900	КК 4КП	1,20	
16	К-60	ИКМ-120	830	СК 4x4	1,18	
15	К-60	ИКМ-120x2	390	СК 1x4	1,21	
14	К-24	ИКМ-480С	880	СК 4x4	1,21	
13	К-300	ИКМ-480	770	КК 4КП	1,20	
12	К-300	ИКМ-480x2	970	КК 4КП	1,18	
11	К-24	ИКМ-120x2	250	СК 1x4	1,07	
10	К-60	ИКМ-480С	600	СК 4x4	1,23	
09	К-300	ИКМ-480	950	КК 4КП	1,23	
08	К-60	ИКМ-120x2	450	СК 1x4	1,07	
07	К-24	ИКМ-120	200	СК 1x4	1,05	
06	К-300	ИКМ-480x2	850	КК 4КП	1,22	
05	К-60	ИКМ-480С	800	СК 4x4	1,22	
04	К-60	ИКМ-120x2	400	СК4x4	1,19	
03	К-300	ИКМ-480x2	900	КК 4КП	1,19	
02	К-300	ИКМ-480	700	КК 4КП	1,21	
01	К-60	ИКМ-480С	600	СК 4x4	1,21	
00	К-24	ИКМ-120	240	СК 1x4	1,06	
Заданный параметр	СП до реконструкции	СП после реконструкции	Число каналов после реконструкции ЭЭС	Тип и емкость ЭЭС	Диаметр жил СК или внутр. пров-ка коакс. пары, мм.	

Продолжение таблицы 3.1

Заданный параметр	Сумма двух последних цифр студенческого билета																		
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Тип изоляции ЭКС	КС	КС	ТП	ТП	КС	КС	ТП	СП	СП	ТП	СП	ПП	ТП	ТП	ПП	СП	КС	ТП	СП
Толщина сплошной изоляции или лент корд. изоляции, мм	0.12	0.10	-	-	0.20	0.14	-	1.0	1.1	-	1.2	0.9	-	-	1.2	0.8	0.15	-	1.3
Диаметр корделя, мм	0.6	0.5	-	-	0.7	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-
Материал оболочки ЭКС	Al	Pb	Pb	Al	Fe	Al	Pb	Al	Fe	Pb	Al	Al	Pb	Pb	Al	Fe	Al	Pb	Fe

Примечание: СК – симметричный кабель; КК – коаксиальный кабель; КП – коаксиальный пара; КС – кордельно-стирофлексная изоляция; ТП – трубчатая полиэтиленовая изоляция; СП – сплошная полиэтиленовая; ПП – пористо-полиэтиленовая изоляция; Al – алюминий; Pb – свинец; Fe - сталь

При этом способ организации связи по коаксиальному кабелю - однокабельный, т.е. цепи передачи и приёма размещены в одном кабеле, а по симметричному кабелю - двухкабельный, при котором цепи каждого направления передачи расположены в отдельном кабеле.

На внутризонных кабельных линиях связи (ВКЛС), прокладываемых между сетевыми узлами второго класса и соединяющих между собой разные местные сети данной зоны, используется как и на магистральных кабельных линиях связи (МКЛС) четырёхпроводная схема организации связи по одно- или двухкабельной системе связи.

### 3.2. Уточнение конструктивных размеров симметричного ЭКС реконструируемой линии

При существенном расхождении исходных данных симметричного ЭКС согласно табл. 3.1 и стандартных конструкций симметричных кабелей согласно /2, 3 / необходимо уточнить конструктивные размеры симметричного ЭКС. Для этого по заданному значению диаметра токопроводящей жилы определяется диаметр изолированной жилы. В симметричных кабелях изоляция жил по конструкции может быть представлена двумя профилями, изображёнными на рис. 3.1: а) кордельно-полистирольная; б) сплошная или пористая полиэтиленовая.

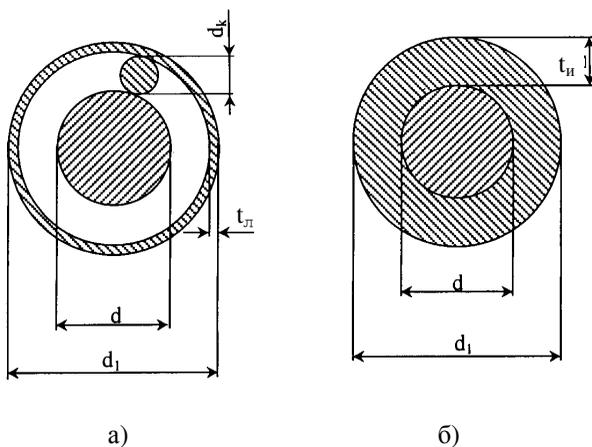


Рис. 3.1 Диаметр изолированной жилы

Диаметр изолированной жилы для кордельной изоляции

(рис. 3.1а) определяется по формуле:

$$d_l = d_0 + 2d_k + 2 t_l , \text{ мм} \quad (3.1)$$

где  $d_0$  - диаметр токопроводящей жилы, мм;  
 $d_k$  - диаметр корделя, мм;  
 $t_l$  - общая толщина лент, наложенных поверх корделя, мм.

Диаметр изолированной жилы со сплошной или пористой изоляцией (рис. 3.1б) определяется по формуле:

$$d_l = d_0 + 2 t_u , \text{ мм} \quad (3.2)$$

где  $t_u$  - радиальная толщина изоляционного слоя, мм.

Изолированные жилы скручиваются в четвёрки с шагом 80-300 мм.

Диаметр элементарной группы, скрученной в звёздную четвёрку (рис. 3.2), определяется из выражения:

$$d_3 = d_1 + a , \text{ мм} \quad (3.3)$$

где  $a$  - расстояние между центрами жил одной пары

$$a = \sqrt{AC^2 + BC^2} = \sqrt{2}d_1 , \text{ мм} \quad (3.4)$$

Отсюда  $d_3 = 2.41 \cdot d_1$ .

Диаметр центрирующего корделя определится из соотношения:

$$d_{цк} = a - d_1 , \text{ мм} \quad (3.5)$$

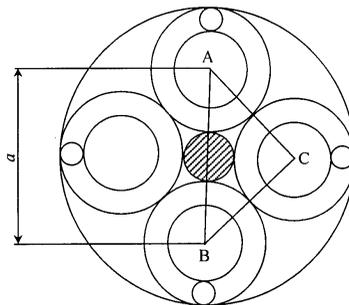


Рис. 3.2. Диаметр элементарной группы кабеля

Размеры кабельного сердечника зависят от числа четвёрок в кабеле.

Диаметр кабельного сердечника с поясной изоляцией при наличии металлической оболочки будет соответствовать диаметру экрана:

$$d_э = D_{кc} + 2t_{ни}, \quad \text{мм} \quad (3.6)$$

где  $t_{ни}$  - радиальная толщина поясной изоляции, мм.

Диаметр кабельного сердечника  $D_{кc}$  определяется из выражений:

- для одночетвёрочного кабеля

$$D_{кc} = d_3;$$

- для четырёхчетвёрочного кабеля (рис. 3.3)

$$D_{кc} = 2.41 \cdot d_3;$$

- для семичетвёрочного кабеля при расположении в центре одной четвёрки и шести четвёрок в повиве:

$$D_{кc} = 3 \cdot d_3 .$$

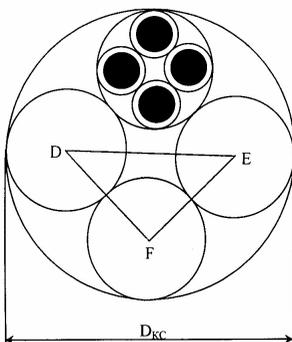


Рис. 3.3. Диаметр кабельного сердечника 4x4

В проекте используются, как правило, кабели небронированные - для прокладки в канализации, бронированные стальными лентами - для прокладки непосредственно в грунте и бронированные круглыми проволоками - для прокладки через судоходные и сплавные реки. Поэтому расчёт диаметров кабеля выполняется для всех трёх разновидностей конструкции, пользуясь справочными данными.

### 3.3. Уточнение конструкции коаксиального ЭКС реконструируемой линии

Расчёт конструкции коаксиального кабеля во многом аналогичен расчёту симметричного кабеля. По заданному значению диаметра внутреннего проводника и изоляции коаксиальной пары (КП) прежде всего определяют внутренний диаметр внешнего проводника, исходя из нормируемого значения волнового сопротивления  $Z_{\epsilon} = 75 \text{ Ом}$ :

$$Z_{\epsilon} = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\epsilon}}} \ln \frac{D}{d}, \quad \text{Ом}, \quad (3.7)$$

где  $\epsilon_{\epsilon}$  - значение эквивалентной относительной диэлектрической проницаемости изоляции, определяемое по табл. 4.5;

$d$  - диаметр внутреннего проводника, мм;

$D$  - внутренний диаметр внешнего проводника, мм.

Отсюда  $D$  определится из выражения:

$$D = de^{z_{\epsilon} \sqrt{\epsilon_{\epsilon}} / 60} = de^{1,25 \sqrt{\epsilon_{\epsilon}}}, \quad \text{мм} \quad (3.8)$$

Наружный диаметр КП определяется по формуле:

$$D_{кп} = D + 2t, \quad \text{мм} \quad (3.9)$$

где  $t$  - толщина внешнего проводника, берётся из справочника для ближайшего по конструкции коаксиального стандартного кабеля.

Диаметр сердечника кабеля, состоящего из четырёх КП одинакового размера, будет равен:

$$D_{кс} = 2,41 D_{кп}, \quad \text{мм} \quad (3.10)$$

В кабеле, содержащем четыре одинаковых КП, размещается пять симметричных групп.

В проекте, в результате выполненного расчёта конструкции, приводится чертёж сечения кабеля, выполненный в масштабе с указанием всех элементов конструкции и полной марки кабеля.

## 4. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ КАБЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ РЕКОНСТРУИРУЕМОЙ ЛИНИИ

### 4.1. Общие положения по расчёту параметров передачи кабельных цепей

Параметры передачи кабельных цепей рассчитываются с целью оценки электрических свойств используемого в проекте кабеля и для последующего размещения регенерационных пунктов по трассе кабельной линии.

Расчёт параметров выполняется на ЭВМ с использованием пакетов программ, имеющихся на кафедре ЛС и ИТС.

В результате расчёта должны быть построены графики частотной зависимости параметров, поэтому расчёт необходимо провести не менее, чем на трёх фиксированных частотах рабочего диапазона, включая минимальную и максимальную.

При выборе средней расчётной частоты следует иметь в виду, что наиболее резкому изменению подвержены параметры в области нижней части рабочего диапазона.

При расчёте параметров для систем ИКМ за минимальную частоту целесообразно принимать  $f=10$  кГц, за максимальную - полутаковую частоту, соответствующую половинному значению скорости передачи, бит/с (табл. 4.1)

Таблица 4.1

Системы передачи по КЛС	Скорость передачи, кбит/с	Затухание ЭКУ, дБ	Расстояние между ОРП, км	Кабель
ИКМ-120	8 500	45...65	240	симметричный
ИКМ-120x2	12 000	45...65	240	симметричный
ИКМ-480С	34 000	45...85	200	симметричный
ИКМ-480	34 000	45...65	200	малогабаритный коаксиальный
ИКМ-480x2	52 000	45...65	200	малогабаритный коаксиальный

## 4.2. Расчёт первичных параметров передачи симметричного кабеля

### 4.2.1. Активное сопротивление цепи

Активное сопротивление цепи определяется по формуле:

$$R = R_0 \left[ 1 + F(kr_0) + \frac{pG(kr_0)(d_0/a)^2}{1 - H(kr_0)(d_0/a)^2} \right] + R., \text{ Ом/км} \quad (4.1)$$

где  $R_0$  – сопротивление цепи на постоянном токе, рассчитываемое по формуле:

$$R_0 = \frac{8 \cdot 10^3 \chi \rho}{\pi d_0^2}, \text{ Ом/км};$$

$\rho = \frac{1}{\sigma}$  - удельное сопротивление материала жил, Ом мм<sup>2</sup>/м, (табл. 4.2);

$d_0$  - диаметр жил, мм;

$\chi$  - коэффициент укрутки, учитывающий увеличение длины цепи за счёт скрутки, принимается равным 1,01.....1,02;

$p$  - коэффициент, учитывающий потери на вихревые токи в жилах второй цепи элементарной группы, для звёздной скрутки  $p=5$ ;

$a$  - расстояние между центрами жил цепи из формулы (3.4), мм;

$r_0$  - радиус токопроводящей жилы, мм:  $r_0 = d_0/2$ , мм;

$k$  - коэффициент вихревых токов:  $k = \sqrt{\omega \mu_a \sigma}$ , мм<sup>-1</sup> (табл. 4.2);

$\mu_a$  - абсолютная магнитная проницаемость,

$$\mu_a = \mu_0 \mu, \text{ Гн/м}; \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}, \text{ Гн/м};$$

$\mu$  - относительная магнитная проницаемость;

$F(kr_0)$ ,  $G(kr_0)$ ,  $H(kr_0)$  - функции, учитывающие потери на вихревые токи вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости, значения которых приведены в табл. 4.3

Таблица 4.2

Металл	Удельное сопротивление, Ом·мм <sup>2</sup> /м	Удельная проводимость, См·м/мм <sup>2</sup>	Относительная магнитная проницаемость	Коэффициент вихревых токов $k$ , 1/мм
медь	0.01754	57	1	$21.2 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$
алюминий	0.0295	34.4	1	$16.35 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$
свинец	0.221	4.52	1	$5.97 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$
сталь	0.139	7.23	100...200	$75.6 \cdot 10^{-3} \sqrt{f}$

Таблица 4.3

$kr_0$	$F(kr_0)$	$G(kr_0)$	$H(kr_0)$	$Q(kr_0)$
0.0	0	0	0.0417	1.0
0.1	0	0	0.0417	1.0
0.2	0	0	0.0417	1.0
0.3	0	0	0.0417	1.0
0.4	0	0	0.0417	1.0
0.5	0.0003	0.000975	0.0420	0.9998
0.6	0.001	0.00202	0.0440	0.9998
0.7	0.001	0.00373	0.0450	0.999
0.8	0.002	0.00632	0.0460	0.999
0.9	0.003	0.0101	0.0490	0.998
1.0	0.005	0.0152	0.0530	0.997
1.1	0.008	0.0220	0.0580	0.996
1.2	0.011	0.0306	0.0640	0.995
1.3	0.015	0.0413	0.0720	0.993
1.4	0.020	0.0541	0.080	0.990
1.5	0.026	0.0691	0.092	0.987
1.6	0.033	0.0863	0.106	0.983
1.7	0.042	0.105	0.122	0.979
1.8	0.052	0.126	0.137	0.974
1.9	0.064	0.149	0.154	0.968
2.0	0.078	0.172	0.169	0.961
2.1	0.094	0.197	0.187	0.953
2.2	0.111	0.221	0.205	0.945
2.3	0.131	0.246	0.224	0.935
2.4	0.152	0.271	0.242	0.925
2.5	0.175	0.295	0.263	0.913
2.6	0.201	0.318	0.280	0.901
2.7	0.228	0.341	0.298	0.888
2.8	0.256	0.363	0.316	0.874
2.9	0.286	0.384	0.333	0.860
3.0	0.318	0.405	0.348	0.845

$kr_0$	$F(kr_0)$	$G(kr_0)$	$H(kr_0)$	$Q(kr_0)$
3.1	0.351	0.425	0.362	0.830
3.2	0.385	0.444	0.376	0.814
3.3	0.420	0.463	0.388	0.798
3.4	0.456	0.481	0.400	0.782
3.5	0.492	0.499	0.416	0.766
3.6	0.529	0.516	0.420	0.749
3.7	0.566	0.533	0.430	0.733
3.8	0.603	0.550	0.440	0.717
3.9	0.640	0.567	0.450	0.720
4.0	0.678	0.584	0.460	0.688
4.1	0.715	0.601	0.466	0.671
4.2	0.752	0.618	0.474	0.657
4.3	0.789	0.635	0.484	0.643
4.4	0.826	0.652	0.490	0.629
4.5	0.863	0.669	0.509	0.616
4.6	0.899	0.686	0.505	0.603
4.8	0.971	0.720	0.516	0.579
5.0	1.043	0.755	0.530	0.556
5.2	1.114	0.790	0.540	0.535
5.4	1.184	0.825	0.550	0.516
5.6	1.254	0.861	0.558	0.498
5.8	1.324	0.896	0.566	0.481
6.0	1.394	0.932	0.575	0.461
6.2	1.463	0.967	0.582	0.445
6.4	1.533	1.003	0.590	0.436
6.8	1.673	1.073	0.602	0.412
7.0	1.743	1.109	0.608	0.400
7.4	1.884	1.180	0.620	0.379
7.8	2.024	1.251	0.630	0.360
8.0	2.094	1.287	0.634	0.351
9.0	2.446	1.464	0.655	0.313
10.0	2.799	1.641	0.670	0.282
$kr > 10$	$\frac{\sqrt{2kr_0} - 3}{4}$	$\frac{\sqrt{2kr_0} - 1}{8}$	0750	$\frac{2\sqrt{2}}{kr_0}$

Составляющая активного сопротивления  $R_m$ , обусловленная потерями в окружающих металлических массах (соседних группах и металлической оболочке), на частоте 200 кГц определяется из табл. 4.4 как сумма потерь в смежных четвёрках и оболочке.

Таблица 4.4

Число четвѐрок	Дополнительное сопротивление $R_{м200}$ за счёт потерь, Ом/км								
	в смежных четвѐрках для повивов			свинцовой оболочке для повивов			алюминевой оболочке для повивов		
в повиве	1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го	1-го	2-го	3-го
1	0	-	-	22	-	-	8,1	-	-
4	7,5	-	-	14	-	-	5,2		-
1+6	8,0	7,5	-	1,5	5,5	-	0,6	2,0	-
1+6+12	8,0	7,5	7,5	0	0	1,0	0	0	0,4

Расчёт потерь в металле для другой частоты производится по формуле:

$$R_m = R_{m200} \sqrt{f / 2 \cdot 10^5}, \text{ Ом/км} \quad (4.3)$$

где  $f$  - частота, Гц.

Расчёт потерь в стальной металлической оболочке можно производить как для алюминиевой оболочки, так как при наличии алюминиевого экрана под стальной оболочкой потери определяются в основном внутренним слоем экрана.

#### 4.2.2. Индуктивность симметричной кабельной цепи

Индуктивность симметричной кабельной цепи определяется как сумма внешней межпроводниковой индуктивности ( $L_{вн}$ ) и внутренней индуктивности самих проводников ( $L_a + L_e$ ):

$$L = \kappa \left[ 4 \ln \frac{a - r_0}{r_0} + \mu Q(kr_0) \right] \cdot 10^{-4}, \text{ Гн/км} \quad (4.4)$$

где  $Q(kr_0)$  - функция поверхностного эффекта, определяемая из табл. 4.3

#### 4.2.3. Ёмкость и проводимость изоляции симметричной кабельной цепи

Ёмкость симметричной кабельной цепи определяется по формуле:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 10^{-6} / 36 \ln \left( \frac{a}{r_0} \Psi \right), \text{ Ф/км} \quad (4.5)$$

где  $\varepsilon_0$  - эквивалентное значение диэлектрической проницаемости, для различной по конструкции изоляции приведено в табл. 4.5;

$\Psi$  - поправочный коэффициент.

Таблица 4.5

Тип изоляции	$\varepsilon_0$	$tg\delta_0 10^{-4}$ при частотах, кГц			
		10	100	250	550
Кордельно-полистирольная	1.2-1.3	3	7	12	20
Полиэтиленовая	1.9-2.1	2	6	8	14
Пористо-полиэтиленовая	1.4-1.5	3	8	12	20
Баллонно-полиэтиленовая	1.2-1.3	2	6	8	12

Поправочный коэффициент  $\Psi$ , характеризующий близость проводов цепи к заземлённой оболочке и другим проводникам, при звёздной скрутке определяется по формуле:

$$\Psi = \frac{(d_3 + d_1 - d_0)^2 - a^2}{(d_3 + d_1 - d_0)^2 + a^2}, \quad (4.6)$$

Проводимость изоляции кабельных цепей определяется из выражения:

$$G = \omega C tg\delta_0, \text{ См/км} \quad (4.7)$$

где  $tg\delta_0$  - тангенс угла диэлектрических потерь комбинированной изоляции (табл. 4.5).

Сведений о значениях  $tg\delta_0$  в более высоком диапазоне частот для симметричных кабелей в технической литературе не имеется, однако, учитывая, что чистые полиэтилен и полистирол имеют значение  $tg\delta_0$  постоянное в широком диапазоне частот и потери определяются лишь наличием в изоляции примесей и загрязнений неполярного диэлектрика полярными молекулами при рас-

чёте в более высоком диапазоне частот значение  $tg\delta_9$  можно принимать равным его величине при  $f=550$  кГц.

### 4.3. Расчёт вторичных параметров передачи симметричной кабельной цепи

Коэффициент распространения цепи определяется по формуле:

$$\gamma = \alpha + i\beta = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)}, \quad (4.8)$$

где  $\alpha$  - коэффициент затухания, Нп/км;

$\beta$  - коэффициент фазы, рад/км.

Расчёт  $\alpha$  и  $\beta$  по формуле (4.8) предусматривает операции с комплексными числами и весьма трудоёмок, поэтому в области высоких частот, когда  $\omega L / R \gg 3,5$ , расчёт можно производить по упрощённым формулам:

$$\alpha = \alpha_m + \alpha_d = \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) 8,69, \quad \text{дБ/км} \quad (4.9)$$

$$\beta = \omega \sqrt{LC}, \quad \text{рад/км} \quad (4.10)$$

где  $\alpha_m$  - составляющая затухания за счёт потерь в металле;

$\alpha_d$  - составляющая затухания за счёт потерь в диэлектрике.

Волновое сопротивление цепи определяется по формуле:

$$Z_g = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)} = |z_g| e^{i\varphi}, \quad \text{Ом} \quad (4.11)$$

В области высоких частот, когда  $\omega L / R \gg 3,5$ ,

$$Z_g = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad \text{Ом} \quad (4.12)$$

Скорость распространения электромагнитной волны:

$$v = \frac{\omega}{\beta}, \quad \text{км/с} \quad (4.13)$$

$$\text{при } \omega L / R > 3,5, \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad \text{км/с} \quad (4.14)$$

Результаты расчёта первичных и вторичных параметров должны быть сведены в таблицу и отражены на графиках частотной зависимости параметров, построенных в линейном масштабе частот. Полученные величины параметров следует сравнить с параметрами близкого по конструкции типового кабеля и дать анализ причин отличия параметров рассчитанного кабеля от типового, выпускаемого кабельной промышленностью.

#### 4.4. Расчёт параметров передачи коаксиальных кабелей

Активное сопротивление коаксиальной цепи определяется по формуле:

$$R = R_a + R_b = \frac{\sqrt{2}k}{2\pi\sigma} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) = \frac{A_1\sqrt{f}}{d} + \frac{A_2\sqrt{f}}{D}, \quad \text{Ом/км} \quad (4.15)$$

где  $R_a$ ,  $R_b$  - активное сопротивление соответственно внутреннего и внешнего проводников, **Ом/км**;

$d$ ,  $D$  - диаметры, соответственно, внутреннего и внутренней диаметр внешнего проводников;

$k = \sqrt{\omega\mu_a\sigma}$  - коэффициент вихревых токов, **1/м**;

$A_1$  и  $A_2$  - постоянные коэффициенты внутреннего и внешнего проводников, зависящие от материала проводников. Для медных проводников  $A=0,0835$ , для алюминиевых  $A=0,108$ ;

$f$  - частота, **Гц**.

Индуктивность коаксиальной цепи состоит из суммы внешней индуктивности между проводами  $L_{\text{овн}}$  и внутренней индуктивности проводников  $L_a + L_b$ :

$$L = L_a + L_* = \left[ 2 \ln \frac{D}{d} + \frac{\sqrt{2} \mu_a}{2\pi k} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \right] 10^{-4} = \quad (4.16)$$

$$= \left( 2 \ln \frac{D}{d} + \frac{B_1}{d \sqrt{f}} + \frac{B_2}{D \sqrt{f}} \right) 10^{-4}, \text{ Гн/км}$$

где  $B_1, B_2$  - постоянные коэффициенты для внутреннего и внешнего проводников, зависящие от материала проводников. Для медных проводников  $B=133,3$ , для алюминиевых  $B=172$ .

Ёмкость коаксиальной цепи определяется как ёмкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \epsilon_9 \cdot 10^{-6} / 18 \ln \frac{D}{d}, \quad \Phi/\text{км} \quad (4.17)$$

где  $\epsilon_9$  - эквивалентное значение относительной диэлектрической проницаемости комбинированной изоляции (табл. 4.6)

Таблица 4.6

Тип изоляции	$\epsilon_9$	$tg\delta_9 \cdot 10^{-4}$ при частотах, МГц			
		1	5	10	60
Кордельно-полистирольная	1,19	0,7	0,8	1,0	1,2
Полиэтиленовая шайбовая	1,13	0,5	0,5	0,7	0,8
Пористо-полиэтиленовая	1,5	2	3	3	-
Трубчато-полиэтиленовая	1,22	1,2	1,3	1,5	-
Полиэтиленовая спиральная	1,1	0,4	0,4	0,5	0,6

Проводимость изоляции коаксиальной цепи определяется по формуле:

$$G = \omega C tg\delta_9, \quad \text{С м/км} \quad (4.18)$$

Вторичные параметры передачи определяются по тем же формулам, что и для симметричного кабеля (4.9...4.14).

Для коаксиальных кабелей с медными внутренним и внешним проводниками коэффициент затухания можно определить через габаритные размеры и параметры изоляции:

$$\alpha = \alpha_m + \alpha_d = \frac{2,6\sqrt{f\epsilon_3}}{\lg D/d} \left( \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) 10^{-3} + 9,08f\sqrt{\epsilon_3} \operatorname{tg} \delta_3 10^{-5}, \text{ дБ/км} \quad (4.19)$$

Пренебрегая внутренней индуктивностью проводников в области высоких частот, можно пользоваться упрощёнными формулами для вторичных параметров:

$$\beta = \omega\sqrt{\epsilon_3} / C, \text{ рад/км} \quad (4.20)$$

$$Z_6 = 60 / \sqrt{\epsilon_3} \cdot \ln \frac{D}{d}, \text{ Ом} \quad (4.21)$$

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_3}}, \text{ км/с} \quad (4.22)$$

где  $c$  - скорость света,  $C=3 \cdot 10^5$  км/с.

Результаты расчёта первичных и вторичных параметров должны быть сведены в таблицу и отражены на графиках частотной зависимости параметров, построенных в линейном масштабе частот. Полученные величины параметров следует сравнить с параметрами близкого по конструкции типового кабеля и дать анализ причин отличия параметров рассчитанного кабеля от типового, выпускаемого кабельной промышленностью.

#### 4.5. Размещение регенерационных пунктов по трассе кабельной линии

Размещение регенерационных пунктов производится исходя из допустимого затухания на элементарном кабельном участке (ЭКУ) или кабельной секции (КС). ЭКУ представляет собой участок кабельной линии совместно со смонтированными по концам кабельными оконечными устройствами. КС представляет собой совокупность электрических цепей, соединённых последовательно на нескольких соседних ЭКУ для организации регенерационного участка одной или нескольких систем передачи с одинаковым расстоянием между регенераторами, большим, чем на ЭКУ данной линии. При применении на кабельной линии одних и тех же систем передачи на всех цепях длины ЭКУ и КС одинаковы.

Необслуживаемые регенерационные пункты (НРП) располагаются в незатопляемых водой местах с возможностью организации к ним подъезда при минимально наносимом ущербе для лесных насаждений, плодородных земель и т.п. В КП эта задача решается ориентировочно, т.к. практически НРП могут быть

расположены в любом месте. Расстояние между ними может быть определено из выражения:

$$l_{ку} = (a_{ном} - 0,9) / \alpha_{мак} , км \quad (4.23)$$

где  $a_{ном}$  - номинальное значение затухания регенерационного участка, **дБ** (табл. 4.1);

$0,9$  - затухание оконечных устройств, **дБ**;

$\alpha_{мак}$  - коэффициент затухания кабельной цепи на наивысшей частоте при максимальной температуре грунта на глубине прокладки кабеля, **дБ/км**.

Определённые по расчётным формулам параметры кабеля справедливы для температуры  $t=20^{\circ}\text{C}$ . При другой температуре коэффициент затухания может быть определён по формуле:

$$\alpha_{мак} = \alpha [1 + \alpha_{\alpha}(t - 20)] , дБ/км \quad (4.24)$$

где  $\alpha$  - коэффициент затухания, определённый расчётом на полутактовой частоте, **дБ/км**;

$\alpha_{\alpha}$  - температурный коэффициент затухания цепей кабеля на полутактовой частоте, определяемой по таблицам /2,3/. При расчётах ориентировочно может быть принят равным  $\alpha_{\alpha} \cong 2 \cdot 10^{-3}$  **1/град**;

$t$  - максимальная температура грунта на глубине прокладки кабеля,  $^{\circ}\text{C}$ .

В результате расчёта и уточнения длин регенерационных участков по секциям между ОРП определяется число НРП на каждой секции и составляется структурная схема кабельной линии, на которой указываются ОРП и НРП, длины участков и секций, тип кабеля и нумерация НРП. Как правило, нумерация НРП приводится дробью: в числителе указывается номер секции, а в знаменателе - порядковый номер НРП в секции.

## 5. РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМНЫХ ВЛИЯНИЙ МЕЖДУ ЦЕПЯМИ

### 5.1. Общие положения

Электромагнитное влияние между симметричными цепями обусловлено наличием поперечного электромагнитного поля, которое и наводит в рядом расположенной цепи токи помех. Коаксиальная цепь без щелей во внешнем проводнике не имеет внешних поперечных электромагнитных полей. Радиальная

составляющая электрического  $E_r$  и тангенциальная составляющая магнитного  $H_\phi$  полей замыкается внутри цепи между внутренним и внешним проводниками, а радиальная составляющая магнитного  $H_r$  и тангенциальная составляющая электрического  $E_\phi$  полей отсутствуют вследствие осевой симметрии цепи. Влияние между коаксиальными цепями осуществляется за счёт продольной составляющей электрического поля  $E_z$ , под действием которой в третьей цепи, образованной внешними проводниками взаимодействующих цепей, возникает ток, вызывающий падение напряжения на внешней поверхности внешнего проводника цепи, подверженной влиянию. Продольное напряжение на внешней поверхности коаксиальной цепи приводит к появлению продольной ЭДС на внутренней поверхности цепи, подверженной влиянию. Под действием этой ЭДС и возникает ток помех. С ростом частоты передаваемого сигнала из-за эффекта близости плотность тока во внешнем проводнике коаксиальной цепи возрастает на внутренней поверхности внешнего проводника, а на внешней поверхности уменьшается. Это приводит к тому, что с увеличением частоты уменьшается напряжённость поля на внешней поверхности влияющей коаксиальной цепи, следовательно, уменьшаются и электромагнитные влияния между цепями. В симметричных кабелях, в отличие от коаксиальных, частотная зависимость влияния другая. В симметричных кабелях с ростом частоты возрастает скорость изменения электромагнитного поля, и поэтому возрастает электромагнитное влияние между цепями. Между коаксиальными цепями с ростом частоты взаимные влияния уменьшаются.

Величина взаимных влияний между цепями выражается и нормируется через переходные затухания на ближнем конце  $A_0$  и дальнем  $A_1$  концах, а также через защищённость  $A_3$ .

При выполнении курсового проекта необходимо рассчитать указанные характеристики и сравнить их с нормами. Если нормы на параметры взаимного влияния не выполняются, то необходимо указать меры уменьшения взаимных влияний.

## 5.2. Расчёт параметров взаимных влияний между цепями коаксиального кабеля

Первичным параметром взаимного влияния между коаксиальными цепями является *сопротивление связи*  $Z_{12}$ , представляющее собой отношение продольной составляющей электрического поля  $E_z$  на внешней поверхности внешнего проводника (напряжения  $U$ , возбуждаемого на внешней поверхности внешнего проводника) влияющей цепи к току  $I_1$ , протекающему в этой цепи. Значение  $E_z$  численно равно  $U$ , поэтому

$$Z_{12} = E_z / I_1 = U / I_1$$

Рассмотрим расчётные формулы для переходных затуханий и защищённости между одинаковыми по конструкции коаксиальными, согласованно

нагруженными цепями, которые справедливы при условии, когда коэффициент распространения третьей цепи  $\gamma$  много больше коэффициента распространения взаимодействующих цепей  $\gamma$ .

Переходное затухание на ближнем конце определяется формулой:

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4Z_6 Z_3 \gamma}{Z_{12}^2 (1 - e^{-2\gamma l})} \right|, \quad \text{дБ} \quad (5.1)$$

Переходное затухание на дальнем конце:

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{2Z_6 Z_3}{Z_{12}^2 l} \right| + \alpha l, \quad \text{дБ} \quad (5.2)$$

Защищённость на дальнем конце:

$$A_l = 20 \lg \left| \frac{2Z_6 Z_3}{Z_{12}^2 l} \right|, \quad \text{дБ} \quad (5.3)$$

В этих формулах:  $z_e$  - волновое сопротивление цепи, **Ом**;  $\gamma = \alpha + i\beta$  - коэффициент распространения, **1/км**;  $l$  - длина усилительного участка, **км**;  $z_3$  - полное сопротивление третьей промежуточной цепи, состоящее из собственных сопротивлений двух внешних проводников рассматриваемых коаксиальных цепей ( $z_{en}$ ) и индуктивного сопротивления промежуточной цепи  $z_3 = 2z_{en} + i\omega L_3$ , **Ом/км**.

Величину параметров взаимных влияний коаксиальных кабелей находят, пользуясь справочными данными /6/ или по результатам расчетов /2,5/ и сравнивают с нормами.

Согласно нормам для коаксиальных кабелей переходное затухание на ближнем конце и защищённость на дальнем конце усилительного участка в области частот, соответствующих максимальной энергии линейного сигнала должны соответствовать следующим эмпирическим формулам:

$$A_0 \geq 79,9 + 73 \sqrt{f_{(МГц)}} \quad , \text{дБ}; \quad A_3 \geq 70,4 + 73 \sqrt{f_{(МГц)}} \quad , \text{дБ}$$

Если параметры взаимного влияния по результатам расчёта окажутся ниже нормы, то необходимо указать, каким образом можно повысить защищённость и переходное затухание между коаксиальными цепями.

### 5.3. Расчёт параметров взаимных влияний между цепями симметричного ЭКС реконструируемой линии

При замене АСП на ЦСП в процессе реконструкции линии существенно изменится рабочий спектр частот ЭКС. Линейный сигнал ЦСП с импульсно-кодовой модуляцией имеет значительно более широкую полосу частот, чем в аналоговых системах. Максимальная энергия спектра линейного сигнала ЦСП сконцентрирована в области частот, близких к полутактовой частоте системы передачи. Поэтому нормирование, расчёты и измерения электрических характеристик кабеля выполняются на полутактовой частоте конкретной ЦСП.

Основными электрическими характеристиками, определяющими вероятность ошибок в линейном тракте ЦСП и влияющими на длину элементарного кабельного участка (регенерационного участка), являются параметры взаимного влияния между цепями: переходное затухание на ближнем  $A_0$  и защищённость  $A_z$  на дальнем конце. Для однокабельной системы, которая применяется на местных сетях, определяющим параметром является  $A_0$ , а для двухкабельной системы связи, которая применяется на магистральных и внутризоновых сетях, основным параметром является  $A_z$ .

*Нормы на параметры взаимного влияния на длине элементарного кабельного участка (ЭКУ).*

Переходное затухание на ближнем конце  $A_0$  на полутактовой частоте нормируется так: для системы передачи ИКМ-120 на частоте 4,2 МГц  $A_0 \geq 39$  дБ; для ИКМ-480С на частоте 17,2 МГц  $A_0 \geq 30$  дБ.

Защищённость на дальнем конце  $A_z$  на полутактовой частоте нормируется: для системы передачи ИКМ-120 на частоте 4,2 МГц  $A_z \geq 27$  дБ (между цепями внутри четвёрок); для системы передачи ИКМ-480С на частоте 17,2 МГц  $A_z \geq 22$  дБ (между цепями разных четвёрок) и  $A_z \geq 12$  дБ (между цепями внутри четвёрок).

*Расчёт переходного затухания на ближнем конце.*

Влияние на ближнем конце осуществляется за счёт непосредственного перехода энергии между цепями и обусловлено наличием электромагнитной связи:

$$N_{12}(x) = i\omega [N_p + n(x)] , \quad (5.11)$$

где  $N_p$  - равномерно распределённая (систематическая) связь по длине линии;

$n(x)$  - случайная функция, описывающая нерегулярное изменение связей по длине линии.

Переходное затухание на ближнем конце за счёт систематической связи можно рассчитать по формуле:

$$A_{0p} = 20 \lg \frac{4\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\alpha N_p} - 20 \lg \left[ (1 - 2e^{-2\alpha l}) \cos 2\beta \cdot l + e^{-4\alpha l} \right]$$

где  $l$  - длина элементарного кабельного участка, **км**;

$\alpha$ ,  $\beta$  - коэффициенты затухания и фазы взаимовлияющих цепей на полутактовой частоте ЦСП, соответственно в **Нп/км** и в **рад/км**.

Величина систематической связи определяется по формуле:

$$N_p = c_{12} z_{12} + m_{12} / z_g,$$

где  $c_{12}$  - ёмкостная связь;

$m_{12} = c_{12} z_g^2$  - индуктивная связь;

$z_g$  - волновое сопротивление цепи кабеля.

Переходное сопротивление на ближнем конце за счёт нерегулярной связи можно определить по формуле:

$$A_{он} = 10 \lg 4\alpha - 10 \lg \left[ \omega^2 (1 - e^{-4\alpha l}) S_n(2\alpha z_3) \right], \text{ дБ} \quad (5.12)$$

где  $S_n(2\omega t)$  - нормированная спектральная плотность случайной функции нерегулярной связи на ближнем конце  $n(x)$ .

Величины  $c_{12}$  и  $S_n(2\omega t)$  зависят от степени однородности сердечника кабеля и в зависимости от типа кабеля задаются в исходных данных. Напомним, что в формулах (5.11) и (5.12)  $\alpha$  в **Нп/км**.

Результирующее значение переходного затухания на ближнем конце можно определить по формуле:

$$A_0 = -10 \lg \left( 10^{-0,1A_{0p}} + 10^{-0,1A_{0H}} \right), \text{ дБ} \quad (5.13)$$

Отметим, что для электрически длинного участка ( $2\alpha l > 13$  дБ) и при высоких частотах ( $\beta \gg \alpha$ ) данные формулы существенно упрощаются [2].

*Расчёт защищённости на дальнем конце.*

При организации связи с применением ЦСП по двухкабельной системе определяющим является взаимное влияние на дальнем конце. При этом нужно иметь в виду тот факт, что составляющие взаимного влияния между цепями

разных четвѐрок и между цепями внутри четвѐрок по величине разные, поэтому необходимо рассматривать их отдельно. Различны и нормы на величину защищённости между указанными цепями.

*Взаимные влияния между цепями разных четвѐрок.*

Проведѐнными исследованиями /5/ установлено, что взаимные влияния на дальнем конце между цепями разных четвѐрок на частотах более 0,5...1 МГц обусловлены в основном непосредственным переходом энергии за счёт нерегулярной составляющей электромагнитной связи, описываемой функцией  $f(x)$ .

Величина защищённости на дальнем конце за счёт нерегулярной составляющей связи на длине элементарного кабельного участка, состоящего из  $n$  строительных длин, рассчитывается по формуле:

$$A_{zn} = -10 \lg \frac{\omega^2 l_{cd} l_0 D_f}{4} - 10 \lg n \quad , \quad \text{дБ} \quad (5.14)$$

где  $l_{cd}$  - протяжѐнность строительной длины кабеля, **км**;

$l_0$  - интервал корреляции случайной функции  $f(x)$ ;

$D_f$  - дисперсия случайной функции  $f(x)$ .

Так как между цепями разных четвѐрок электромагнитные связи носят случайный характер, то интервал корреляции, характеризующий взаимодействие связей в отдельных сечениях кабеля, обычно невелик, и для расчёта можно принять  $l_0 = 0,02$  км.

В процессе изготовления, прокладки и монтажа кабелей связи неизбежно возникают конструктивные неоднородности, заключающиеся в деформации жил, изоляции, оболочки и т.д. Конструктивные неоднородности, носящие случайный характер, нарушают симметрию цепей кабеля и создают условия для взаимного перехода энергии из одной цепи в другую. Поэтому величина  $D_f$  зависит от типа кабеля и задаѐтся в исходных данных.

Рассчитав защищённость по формуле (5.14), необходимо сравнить результаты расчёта с нормами.

*Взаимные влияния между цепями внутри четвѐрок.*

На частотах выше 0,5...1 МГц между цепями внутри звѐздных четвѐрок определяющим на дальнем конце является косвенное влияние через третьи цепи за счёт регулярной составляющей связи.

При монтаже муфт кабеля на длине ЭКУ проводят соединение жил в четвѐрке по оператору (х.), т.е. первую пару каждой четвѐрки скрещивают. В результате знак электромагнитной связи у каждой последующей строительной длины меняется на противоположный. Поэтому при чѐтном числе строительных

длин на ЭКУ происходит компенсация регулярной составляющей связи. Наилучшая компенсация наблюдается при чётном числе строительных длин на ЭКУ в случае, когда строительные длины кабеля имеют одинаковую протяжённость. При чётном числе строительных длин на длине ЭКУ значение защищённости за счёт влияния через третьи цепи можно определить по формуле:

$$A_{зтр} = -10 \lg \frac{\omega^2 l_{сд}^2 D_F}{2} - 10 \lg n, \text{ дБ} \quad (5.15)$$

где  $D_F$  - дисперсия электромагнитных связей влияния через третьи цепи, величина которой зависит от различия электромагнитных связей соединяемых строительных длин. Величина  $D_F$  задаётся в исходных данных.

При нечётном числе строительных длин одна строительная длина остаётся некомпенсированной, и влияние за счёт регулярной связи через третьи цепи может оказаться значительным.

При нечётном числе строительных длин на длине ЭКУ значение  $A_{зтр}$  можно определить по формуле:

$$A_{зтр} = 20 \lg \frac{\omega^2 l_{сд} F_{рмп}}{8}, \text{ дБ} \quad (5.16)$$

где  $F_{рмп}$  - регулярная составляющая влияния через третьи цепи в строительной длине, величина которой задаётся в исходных данных.

Результаты расчёта параметров взаимного влияния между симметричными цепями должны быть сведены в таблицу и представлены на графиках.

Рассчитав величину  $A_{зтр}$  по формуле (5.15) или (5.16), в зависимости от числа строительных длин на ЭКУ, необходимо результаты расчёта сравнить с нормами. Если норма не выполняется, то необходимо указать пути повышения защищённости между цепями.

Все исходные данные для расчёта параметров взаимных влияний реконструируемой линии представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Параметр	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_{12}, \text{ пФ}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$S_n(2\omega t_3)10^{-20}, \text{ с}^2/\text{км}^2$	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_f 10^{-17}, \text{ с}^2/\text{км}^2$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$D_F 10^{-19}, \text{ с}^2/\text{км}^2$	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$F_{ртр} 10^{-17}, \text{ с}/\text{км}$	9	1	7	3	8	5	6	2	3	4

При проведении реконструкции линии следует иметь в виду, что для обеспечения высокой помехозащищенности между цепями симметричного кабеля с АСП выполнялось симметрирование кабеля. Симметрирование высокочастотных кабелей осуществляется в основном методом скрещивания и включения контуров противосвязи.

Симметрирование скрещиванием основано на компенсации электромагнитных связей одного отрезка кабеля связями другого отрезка путем соединения жил четверок по различным операторам скрещивания.

Симметрирование включением контуров противосвязи (КПСВ) основано на компенсации электромагнитных связей за счет включения между жилами взаимовлияющих цепей контуров противосвязи, содержащих резисторы и конденсаторы. Следует отметить, что если для АСП включение КПСВ повышает помехозащищенность цепей, то для ЦСП, работающих на существенно более высоких частотах, КПСВ могут существенно снизить помехозащищенность.

Для обеспечения высокой помехозащищенности между цепями симметричных кабелей при работе по ним ЦСП на длине ЭКУ проводят следующие мероприятия:

1. При разбивке усилительного участка АСП на ЭКУ ЦСП стремятся на длине ЭКУ иметь четное число строительных длин кабеля, так как при этом обеспечивается наиболее полная компенсация регулярной составляющей электромагнитных связей из-за отсутствия неуравновешенных (нескомпенсированных) строительных длин.
2. Во всех муфтах на длине ЭКУ жилы четверок соединяются по оператору X· (первая пара четверки соединяется со скрещиванием, а вторая – напрямую).
3. Если указанные выше мероприятия не позволяют обеспечить норму на защищенность, то по технической документации (паспорт на усилительный участок АСП) определяют место включения КПСВ и демонтируют их. Это, как правило, обеспечивает повышение защищенности между цепями.

В случае отсутствия (потери) технической документации, место размещения КПСВ находят при помощи рефлектометров (импульсных приборов) по методу перехода энергии в месте включения КПСВ. При этом для повышения точности измерений рекомендуется проводить их с двух сторон линии и находить комбинации цепей с наибольшей амплитудой отраженного импульса, соответствующего наибольшему значению емкости конденсатора КПСВ. Величина помехозащищенности реконструируемой линии после проведенных мероприятий должна соответствовать установленным нормам.

## 6. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ ОТ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

### 6.1. Основные положения

С развитием ВСС предъявляются всё более высокие требования к надёжности линейных трактов и качеству передаваемой информации, которые в значительной степени зависят от влияния внешних электромагнитных полей на ЭКС. Быстрые темпы строительства линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения (ЛЭП), электрифицированных железных дорог (ЭЖД) резко обострили проблему их электромагнитной совместимости с сетью связи страны. В настоящее время практически нет кабельных магистралей, не имеющих сближения с ЛЭП или ЭЖД, создающих электромагнитные поля большой интенсивности. Поэтому важной задачей является обеспечение надёжной защиты ЭКС от внешних электромагнитных влияний.

Все необходимые исходные данные для расчета параметров внешних электромагнитных влияний и надёжности кабельной магистрали представлены в таблице 6.1:

Таблица 6.1

Исходные данные для расчёта параметров внешних влияний

Параметр	Предпоследняя цифра номера студенческого билета									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$I_1$ , кА	3,5	3,3	3,4	3,6	3,2	3,1	2,9	3,0	2,6	2,8
$a_1$ , м	80	65	110	100	90	60	50	70	120	100
$a_2$ , м	90	70	100	130	120	70	60	80	90	80
$a_3$ , м	120	130	110	90	80	120	110	120	110	110
$a_4$ , м	90	110	120	110	100	100	90	100	70	90
$l_1$ , %	40	10	70	60	50	10	20	30	50	25
$l_2$ , %	30	40	15	20	25	50	20	30	15	30
$l_3$ , %	30	50	15	20	25	40	50	40	35	45
$U_{исп}$ , кВ	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4
$T$ , ч	50	45	40	36	30	25	20	35	32	28
$\rho_{гр}$ , кОм·м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,2	0,3	0,4	0,1
$L_1$ , км	60	62	64	66	68	70	72	74	65	67
$L_2$ , км	30	25	20	15	10	9	8	7	10	21
$L_3$ , км	10	13	16	19	22	21	20	19	25	12

## 6.2. Расчёт опасных магнитных влияний

Одним из основных факторов, определяющих степень влияния ЛВН на линии связи, является характер сближения. Под сближением понимается взаимное расположение линии связи и ЛВН, при котором в линии связи могут возникнуть опасные и мешающие напряжения и токи. Сближение может быть параллельным, косым и сложным. Участок сближения считается параллельным, если кратчайшее расстояние между линиями (ширина сближения)  $a$  изменяется по длине сближения не более чем на 10% от среднего значения. Если это условие не выполняется, то участок сближения будет косым. Такое сближение заменяется ступенчатым параллельным, при этом выбирают длину параллельных эквивалентных участков так, чтобы отношение максимального значения ширины сближения к минимальному на концах участка было не более трёх. Тогда эквивалентная ширина сближения  $a_{э\text{кв}}$  определяется соотношением  $a_{э\text{кв}} = \sqrt{a_i a_{i+1}}$ .

Опасное магнитное влияние может возникнуть при обрыве и заземлении фазового провода ЛЭП или контактного провода ЭЖД. Большая величина тока короткого замыкания создаёт интенсивное магнитное поле. В результате чего в жилах кабеля индуцируется ЭДС которая может превышать допустимые значения. Эта ЭДС называется продольной так как индуцированное электрическое поле направлено вдоль провода связи.

*Продольная ЭДС* - это разность потенциалов между началом и концом провода связи на длине гальванически неразделённого участка. Гальванически неразделённым участком считается участок линии связи не содержащий усилителей трансформаторов фильтров. На кабельных магистралях за длину гальванически неразделённого участка принимается длина усилительного (регенерационного) участка.

Абсолютное значение продольной ЭДС наведённой в жилах кабеля связи от магнитного влияния ЛВН на сложном участке сближения (рис. 6.1) рассчитывается на частоте 50 Гц по формуле:

$$E = \omega I_1 \sum_{i=1}^n m_{12i} l_i S_i, \quad B \quad (6.1)$$

где  $n$  - число участков;

$I_1$  - влияющий ток, **A**;

$m_{12i}$  - коэффициент взаимной индукции между однопроводными цепями ЛВН и линии связи на  $i$ -ом участке сближения, **Гн/км**;

$l_i$  - длина  $i$ -го участка сближения, **км**;

$S_i$  - результирующий коэффициент экранирования между ЛВН и линией связи на  $i$ -ом участке.

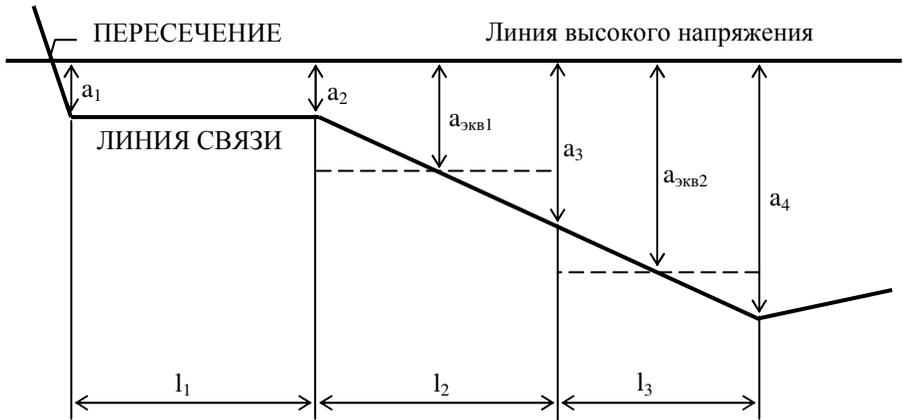


Рис. 6.1. Схема сближения линии связи с ЛВН

Коэффициент взаимной индукции точно определить теоретически достаточно сложно, так как он зависит от проводимости земли на участке сближения, а проводимость земли из-за неоднородности структуры строения меняется в широких пределах. На практике коэффициент взаимной индукции в зависимости от ширины сближения и проводимости земли определяется по номограммам (рис. 6.2). Можно определить коэффициент взаимной индукции и по приближённой формуле, которая справедлива в диапазоне тональных частот:

$$m_{12} = \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a^2 \sigma_3 f} \right| \cdot 10^{-4}, \quad \text{Гн/км} \quad (6.2)$$

где  $a$  - ширина сближения, м;

$f$  - частота влияющего тока, Гц;

$\sigma_3$  - проводимость земли, См/м.

Результирующий коэффициент экранирования (на низких частотах его называют коэффициентом защитного действия) учитывает уменьшение наведённой ЭДС за счёт защитного действия металлических экранов, размещённых

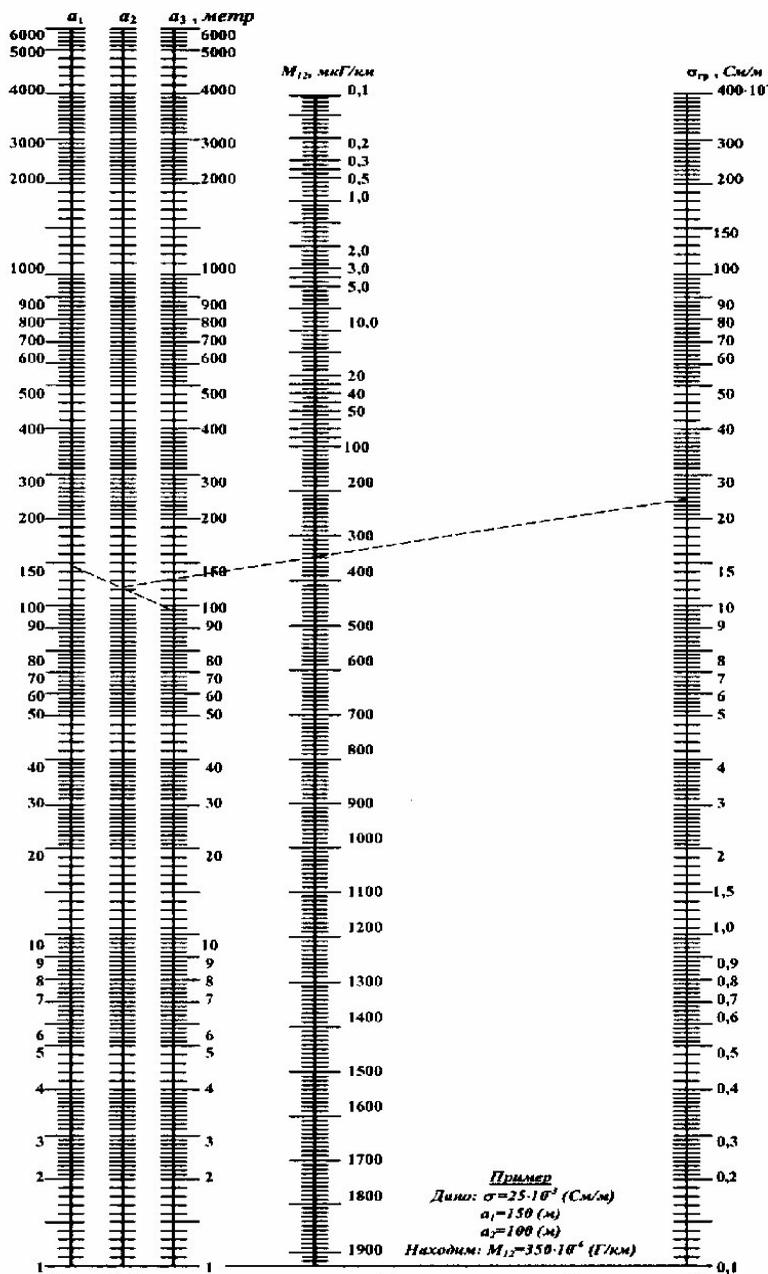


Рис. 6.2. Номограмма расчета коэффициента взаимной индукции  $M_{12}$

между ЛВН и линией связи. В общем виде коэффициент защитного действия можно определить:

$$S = S_{об} S_{мп} S_m S_p \quad (6.3)$$

где  $S_{об}$ ,  $S_{мп}$ ,  $S_p$ ,  $S_m$  - коэффициент защитного действия, соответственно металлических покровов кабеля связи; заземлённых тросов, подвешенных на опорах ЛЭП; рельсов железнодорожных путей, проложенных рядом с кабелем связи металлических сооружений (соседних кабелей связи, трубопроводов, газопроводов и т.д.).

При наличии на отдельных участках проектируемой кабельной линии связи заземлённых тросов или ж.д. путей их величину коэффициента экранирования можно определить по табл. 6.2 и 6.3:

Таблица 6.2

Коэффициенты экранирования тросов

Материал троса	Коэффициент экранирования $S_{тр}$ при сечении троса, мм <sup>2</sup>	
	50...100	101...200
Алюминий	0,65	0,55
Медь	0,60	0,50
Сталь	0,95	0,80

Таблица 6.3

Коэффициент экранирования рельсов при влиянии контактных сетей на линии связи

Проводимость земли, См/м	Коэффициент экранирования $S_p$	
	при однопутной ж.д.	при двухпутной ж.д.
$10^{-3} \div 10 \cdot 10^{-3}$	0,50	0,45
$10 \cdot 10^{-3} \div 50 \cdot 10^{-3}$	0,55	0,50
$50 \cdot 10^{-3} \div 100 \cdot 10^{-3}$	0,60	0,55

Определив коэффициент взаимной индукции  $m_{12}$ , для каждого участка производят расчёт продольной ЭДС, полагая  $S_{об}=1$ :

$$E = \omega I_{кз} S_{mp} S_p (m_{121} l_1 + m_{122} l_2 + \dots + m_{12i} l_i)$$

Рассчитав величину суммарной продольной ЭДС на участке сближения длиной  $l$ , определяем продольную ЭДС на 1 км кабеля:

$$E_{км} = E/l, \text{ В/км} \quad (6.4)$$

Необходимость определения  $E_{км}$  вызвана тем, что величина КЗД защитных металлических покровов кабелей связи  $S_{об}$ , содержащих материалы из стали, зависит от величины  $E_{км}$ . Значение  $S_{об}$  зависит от типа и геометрических размеров защитных покровов.

Исходя из результата расчёта  $E_{км}$  по табл. 6.4÷6.7 в зависимости от типа защитных покровов кабеля связи определяем величину идеального коэффициента защитного действия металлических покровов кабелей  $S_{об}$ .

Таблица 6.4

Идеальный КЗД кабелей со свинцовой оболочкой и бронёй из двух стальных лент толщиной 0,5 мм при частоте 50 Гц

Кабель	Коэффициент экранирования при продольной ЭДС $E_{км}$ , В/км							
	10	20	40	60	80	100	200	300
1x4x1, 2	0,94	0,88	0,78	0,68	0,60	0,57	0,62	0,78
4x4x1, 2	0,70	0,67	0,53	0,44	0,39	0,34	0,33	0,41
7x4x1, 2	0,64	0,58	0,48	0,38	0,33	0,29	0,26	0,33

Таблица 6.5

Идеальный КЗД кабелей с алюминиевой оболочкой и бронёй из двух стальных лент толщиной 0,5 мм при частоте 50 Гц

Размеры оболочки кабеля, мм		Коэффициент экранирования при продольной ЭДС $E_{км}$ , в/км							
внутренний диаметр	толщина	10	20	40	60	80	100	200	300
11,0	0,9	0,23	0,17	0,12	0,10	0,09	0,085	0,09	0,21
21,0	1,1	0,17	0,14	0,11	0,09	0,075	0,070	0,07	0,14
35,5	1,3	0,13	0,11	0,08	0,06	0,058	0,050	0,06	0,10
53,5	1,85	0,07	0,06	0,05	0,04	0,032	0,030	0,03	0,04

Таблица 6.6

Идеальный КЗД симметричных кабелей с различными оболочками при частоте 50 Гц

E <sub>км</sub> , В/км	Марка кабеля					
	МКСБ- 4х4	МКСШп- 4х4	МКСАБп- 4х4	МКССтШп -4х4	МКССтШп -7х4	МКСАБп- 1х4
10	0,76	0,56	0,22	0,95	0,79	0,42
20	0,74		0,20	0,95	0,68	0,35
30	0,67		0,18	0,80	0,60	0,26
50	0,55		0,15	0,80	0,47	0,18
100	0,44		0,11	0,85	0,34	0,21
200	0,35		0,09	0,90	0,42	0,25
300	0,41		0,14	0,95	0,54	0,41

Таблица 6.7

Идеальный КЗД коаксиальных кабелей при частоте 50 Гц

E <sub>км</sub> , В/км	Марка кабеля	
	МКТСБ-4	МКТАБ-4
10	0,82	0,21
20	0,73	0,15
50	0,58	0,1
100	0,46	0,08
150	0,41	0,07
200	0,39	0,06
250	0,40	0,1
300	0,43	0,14

Окончательно величину наведенной продольной ЭДС в кабеле связи определяем по формуле:

$$E^{\wedge} = E \cdot S_{об} , \mathbf{B} \quad (6.5)$$

Если  $E^{\wedge}$  превышает  $E_{доп}$ , рассчитанную согласно табл. 6.8, то необходимо предусмотреть меры защиты. В качестве защиты можно рассмотреть применение экранирующих тросов согласно табл. 6.2 или рельсов согласно табл. 6.3.

### 6.3. Нормы опасного магнитного влияния

Величины опасных напряжений и токов в цепях кабелей связи, обусловленные влиянием ЛВН, устанавливаются исходя из обеспечения безопасности обслуживающего персонала, работающего на стационарных и линейных сооружениях, а также из условия предохранения этих сооружений от повреждения (пробой изоляции жил кабеля, повреждение аппаратуры и др.)

Допустимые величины опасных напряжений и токов принимают такие значения, при которых не требуется специальных мер защиты. При этом принимается во внимание время и условие их воздействия на людей и сооружения связи. Кратковременные опасные напряжения и токи могут возникать в цепях связи на участках сближения с ЛЭП и ЭЖД при их коротком замыкании на землю. Время действия этих напряжений и токов составляет 0,15...1,2 с (время срабатывания отключающих устройств), поэтому для такого аварийного режима работы допускаются относительно высокие напряжения. При нормальном и вынужденном режимах работы линий высокого напряжения опасные напряжения и токи действуют длительно, поэтому нормы для этих режимов работы существенно ниже.

При кратковременном опасном влиянии ЛЭП и ЭЖД на длине гальванически неразделённого участка кабельной линии связи максимально допустимые значения продольных ЭДС можно определить по данным табл. 6.8.

Таблица 6.8

Допустимые значения продольной ЭДС при кратковременном влиянии

Схема дистанционного питания (ДП)	Допустимые ЭДС, В, при влиянии	
	ЛЭП	ЭЖД
Без ДП	$U_{исп}$	$0,6U_{исп}$
“Провод-земля” постоянным током	$U_{исп} - U_{дп}/\sqrt{2}$	$0,6U_{исп} - U_{дп}/\sqrt{2}$
“Провод-провод” постоянным током	$U_{исп} - U_{дп}/(2\sqrt{2})$	$0,6U_{исп} - U_{дп}/(2\sqrt{2})$

Величина испытательного напряжения  $U_{исп}$  зависит от типа кабеля, а величина напряжения дистанционного питания линейных регенераторов  $U_{дп}$  - от типа системы передачи. Эти данные приводятся в справочной литературе, например, в [2,3].

#### 6.4. Расчёт и защита кабелей связи от ударов молнии

Согласно действующему руководству по защите кабелей связи от ударов молнии вероятная плотность повреждений кабелей с металлическими покровами без изолирующего шланга, проложенных на открытой местности на участке трассы длиной в 100 км, определяется выражением:

$$n_1 = n \frac{3000}{U_{np}} \cdot \frac{T}{36} \quad (6.6)$$

где  $T$  - продолжительность гроз в году в часах;

$U_{np}$  - электрическая прочность изоляции жил кабелей, В;

$n$  - вероятное число повреждений кабеля при  $T=36$  час и

$U_{np} = 3000$  В.

Величина  $n$  в зависимости от удельного сопротивления грунта  $\rho_{sp}$  и сопротивления защитных металлических покровов постоянному току  $R$  определяется по графикам рис. 6.3. При прокладке в одной траншее нескольких кабелей учитывается общее сопротивление их покровов, определяемое по закону параллельного соединения сопротивлений. При одинаковых кабелях  $R=R_k/m$ , Ом/км, где  $R_k$  - сопротивление металлических покровов одного кабеля, Ом/км;  $m$  - число кабелей.

Для бронированных кабелей:

$$R_k = \frac{R_{об} \cdot R_{бр}}{R_{об} + R_{бр}}, \text{ Ом/км} \quad (6.7)$$

где  $R_{об}$  - сопротивление оболочки постоянному току, Ом/км;

$R_{бр}$  - сопротивление брони постоянному току, Ом/км.

$$R_{об} = \frac{1000\rho}{\pi(d_1 + t)}, \text{ Ом/км} \quad (6.8)$$

где  $\rho$  - удельное электрическое сопротивление металлической оболочки, Ом·мм<sup>2</sup>/м;

$d_1$  и  $t$  - внутренний диаметр и толщина оболочки кабеля, мм, соответственно.

Если оболочки состоят из нескольких слоёв разного материала, то определяют их общее сопротивление.

Сопротивление ленточной брони из двух стальных лент определяется по формуле:

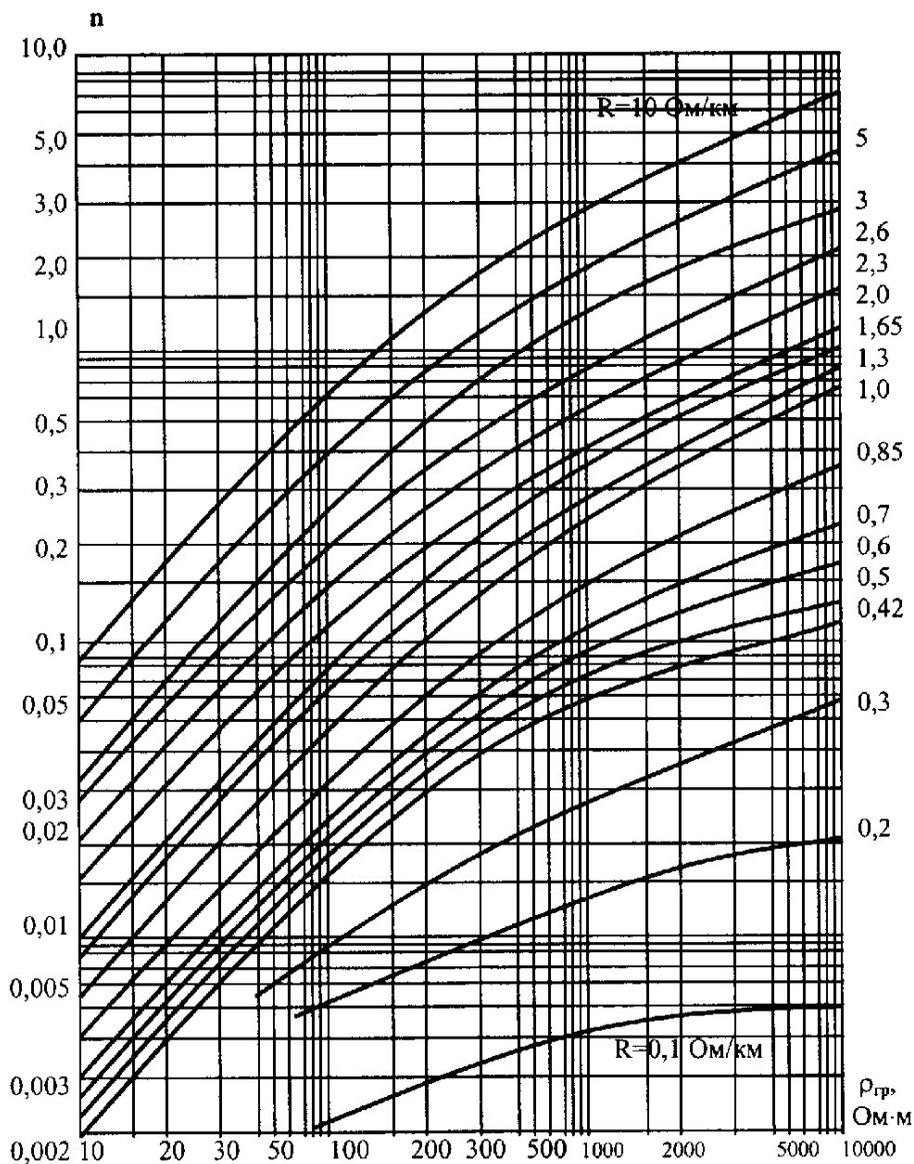


Рис. 6.3 Графики вероятного числа повреждений  $n$  кабеля связи от ударов молнии

$$R_{\delta p} = \frac{4\pi D_{\delta p}}{a^2 \epsilon}, \text{ Ом/км} \quad (6.9)$$

где  $D_{\delta p}$  - средний диаметр кабеля по броне, **мм**;

$a$  и  $\epsilon$  - ширина и толщина одной ленты, **мм**, соответственно.

Для кабелей со стальной гофрированной оболочкой сопротивление металлических покровов постоянному току определяется по формуле:

$$R_{o\delta} = \frac{R_l \cdot R_{\text{гоф}}}{R_l + R_{\text{гоф}}}, \text{ Ом/км} \quad (6.10)$$

где  $R_l$  - сопротивление постоянному току экрана, расположенного под гофрированной стальной оболочкой, **Ом/км**;

$R_{\text{гоф}}$  - сопротивление гофрированной оболочки постоянному току, **Ом/км**. При этом  $R_{\text{гоф}}$  определяется по формуле:

$$R_{\text{гоф}} = \frac{\kappa_z \cdot \rho \cdot 10^3}{\pi \cdot D_{cp} t_{o\delta}}, \text{ Ом/км}$$

где  $\kappa_z$  - коэффициент гофрирования;

$D_{cp}$  - средний диаметр гофрированной оболочки, **мм**;

$$D_{cp} = D_{вн} + \frac{h}{2} + \frac{t_{o\delta}}{2}, \text{ мм};$$

где  $D_{вн}$  - внутренний диаметр гофрированной оболочки, **мм**;

$h$  - высота гофра, **мм**;

$t_{o\delta}$  - толщина гофрированной оболочки (0,4...0,5), **мм**.

$$\kappa_z = 1 + 3,4 \left( \frac{hQ}{4h^2 + Q^2} \right)^2$$

где  $Q$  - расстояние между ближайшими выступами или впадинами гофрированной оболочки (шаг синусоидального гофра), **мм**;

$$h = 0,5D \left( 1 - \frac{1}{\eta} \right) \quad \eta = \frac{D_2}{D_{\text{вн}} + 2t_{\text{об}}}$$

где  $D_2$  - наружный диаметр гофрированной оболочки, мм.

В табл. 6.9 приведены значения сопротивления металлических покрытий и электрическая прочность изоляции основных типов междугородных кабелей.

Таблица 6.9

Электрические характеристики кабелей связи

Марка кабеля	$R_k$ , Ом/км	$U_{\text{пр}}$ , В	Марка кабеля	$R_k$ , Ом/км	$U_{\text{пр}}$ , В
МКСБ-4х4	1,65	3800	МКТП-4	1,47	3400
МКСАШп-7х4	0,28	3500	МКТСБ-4	1,38	3400
МКСК-7х4	1,5	3800	КМБ-4	1,25	3600
МКСБ-4х4	2,1	3800	КМК-4	1,0	3600
МКСАШп-4х4	0,476	3500	КМБ-6/4	0,885	3600
МКСАБп-4х4	0,36	3500	КМБ-8/6	0,578	3600
МКССШп-4х4	2,6	3800	КМКБ-4	0,74	3600
МКСК-4х4	1,9	3800	ВКПАП	1,8	3600
МКСАШп-1х4	0,806	3500			

Для выбора мер защиты рассчитанная плотность повреждений кабеля сравнивается с нормой. На вновь проектируемых кабельных линиях защитные мероприятия следует предусматривать на тех участках, где плотность повреждений превышает допустимую, указанную в табл. 6.10.

Эффективность защиты кабелей за счёт применения подземных тросов, прокладываемых над кабелями, характеризуется коэффициентом тока  $\eta$ , который определяется:

при одном тросе -

$$\eta = \frac{\ln \frac{2r_{km}}{d_m}}{\ln \frac{2r_{km}}{d_m} + \ln \frac{2r_{km}}{d_k}} \quad (6.11)$$

при двух тросах -

$$\eta = \frac{\ln \frac{2r_{km}}{d_m} + \ln \frac{r_{km}}{r_{mm}}}{\ln \frac{2r_{km}}{d_m} + \ln \frac{2r_{km}}{d_k} + \ln \frac{r_{km}}{r_{mm}}} \quad (6.12)$$

где  $r_{km}$  - расстояние от троса до кабеля, **мм**;

$d_k$  - внешний диаметр оболочки кабеля, **мм**;

$r_{mm}$  - расстояние между тросами, **мм**.

При наличии защитных тросов количество повреждений кабеля от ударов молнии определяется по рис. 6.3, при этом вместо сопротивления покровов кабеля  $R$  берётся величина  $R' = \eta R$ .

Таблица 6.10

Допустимые значения вероятной плотности повреждения кабелей молнией

Тип кабеля	Допустимое расчётное число опасных ударов молнии на 100 км трассы в год	
	в горных районах и районах со скальным грунтом при удельном сопротивлении свыше 500 Ом·м и в районах вечной мерзлоты	в остальных районах
Симметричные одночёрочные, однокоаксиальные	0,2	0,3
Симметричные четырёх- и семичёрочные	0,1	0,2
Многопарные коаксиальные	0,1	0,2

## 6.5. Расчёт надёжности проектируемой кабельной магистрали

В курсовом проекте необходимо дать расчёт надёжности проектируемой кабельной магистрали по исходным данным табл. 2.1 в зависимости от номера варианта.

В зависимости от номера варианта в табл. 6.1 даны длины кабеля, проложенного вне населённых пунктов -  $L_1$ , в населённых пунктах -  $L_2$ , в телефонной канализации -  $L_3$  для общей длины 100 км кабельной магистрали, а в табл.

6.11 даны среднестатистические значения интенсивности отказов на 1 км трассы  $\lambda_{cp} 10^{-7}$  и среднего времени восстановления связи  $t_{\sigma}$  в часах для различных типов кабелей.

Таблица 6.11

Среднестатистические значения интенсивности отказов и среднее время восстановления связи  $t_{\sigma}$  в различных районах России

Тип кабеля	Европейская часть		Сибирь	
	$\lambda_{cp} \times 10^{-7}$	$t_{\sigma}, \text{ ч}$	$\lambda_{cp} \times 10^{-7}$	$t_{\sigma}, \text{ ч}$
Симметричный бронированный: в поле в населённых пунктах	1,74	4,73	2,09	6,60
	9,93	4,20	11,91	5,85
Коаксиальный бронированный: в поле в населённых пунктах	1,85	4,85	2,22	6,77
	10,55	4,30	12,65	5,99
Симметричный и коаксиальный небронированный в канализации	7,40	4,15	8,44	5,12

Для заданной длины кабельной магистрали интенсивность потока отказов:

$$\lambda = \lambda_{cp1} L_1 + \lambda_{cp2} L_2 + \lambda_{cp3} L_3, \quad \mathbf{1/\text{ч}} \quad (6.13)$$

Среднее время между отказами (наработка на отказ):

$$T_{\sigma} = 1/\lambda, \quad \mathbf{\text{ч}} \quad (6.14)$$

Среднее время восстановления связи:

$$t_{\sigma} = \frac{\lambda_{cp1} L_1 \cdot t_{\sigma1} + \lambda_{cp2} L_2 t_{\sigma2} + \lambda_{cp3} L_3 t_{\sigma3}}{\lambda}, \quad \mathbf{\text{ч}} \quad (6.15)$$

Коэффициент готовности:

$$K_g = \frac{T\sigma}{T\sigma + t_g} \quad (6.16)$$

Вероятность безотказной работы магистрали за время  $t$ :

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (6.17)$$

Надежность магистрали за время  $t$ :

$$H(t) = K_g \cdot P(t) \quad (6.18)$$

Определяют  $H(t)$  за  $t = 8760$  ч (за год). Если величина  $H(t) < 0,9$ , то необходимо дать рекомендации по увеличению надежности магистрали.

## 7. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО - ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

В качестве вновь строящейся линии необходимо в соответствии с исходными данными таблицы 2.1 выполнить проектирование ВОЛП между вторым и третьим заданными населенными пунктами. На проектируемой ВОЛП необходимо предусмотреть увеличение в 3 раза количества задействованных каналов по сравнению с числом каналов реконструируемой линии из таблицы 3.1. Причем, если полученное количество каналов не превышает 1920, то следует выбрать синхронную ВОСП STM-1 с частичным заполнением.

Проект должен включать следующее:

- выбор и обоснование волоконно-оптической системы передачи (ВОСП), оптического волокна (ОВ), конструкции оптического кабеля (ОК), схемы организации связи;
- размещение ретрансляторов по трассе линии передачи;
- расчет бюджета мощности и дисперсии на элементарных кабельных участках (ЭКУ).

## 7.1. Выбор и обоснование ВОСП

Тип и характеристики ВОСП выбираются в зависимости от требуемого объема передачи информации, который задаётся числом основных цифровых каналов (ОЦК), расстоянием между оконечными пунктами и населенными пунктами по трассе магистрали согласно табл. 2.1 и 3.1.

Технические характеристики синхронных ВОСП представлены в табл 7.1

Таблица 7.1

ЭКУ	Укороченный		Стандартный	
Длина волны, мкм	1,3	1,55	1,3	1,55
<b>STM-1</b>				
Число ОЦК	1920			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	63			
Скорость оптического стыка, Мбит/с	155			
Энергетический потенциал	32	30	38	36
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	55000			
<b>STM-4</b>				
Число ОЦК	7680			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	252			
Скорость оптического стыка, Мбит/с	622			
Энергетический потенциал	30	28	34	34
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	15000			
<b>STM-16</b>				
Число ОЦК	30720			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	1008			
Скорость оптического стыка, Мбит/с	2500			
Энергетический потенциал	28	26	30	32
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	10500			
<b>STM-64</b>				
Число ОЦК	122880			
Число цифровых потоков (ЦП) E1	4032			
Скорость оптического стыка, Мбит/с	10000			
Энергетический потенциал	26	24	26	30
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	10500			

**Примечание.** При необходимости работы на удлинённых ЭКУ на выходе передатчика мультиплексора устанавливают оптический усилитель (бустер, “buster”), что позволяет увеличить энергетический потенциал на 7÷15 Дбм.

## 7.2. Выбор и обоснование типа оптического волокна

Типичные характеристики стандартных одномодовых ОВ приведены в табл. 7.2. Тип ОВ выбирается в зависимости от скорости передачи информации, расстояния между конечными пунктами и населёнными пунктами по трассе магистрали, а также принципами построения сети связи, задачи которой решает данная линия передачи. В подавляющем большинстве случаев применяются стандартные ступенчатые одномодовые оптические волокна. При высоких скоростях передачи информации, когда длина ЭКУ ограничена дисперсией, применяют волокна со смещённой дисперсией. Если же при этом используются устройства спектрального уплотнения (DWDM), то возможно применение волокон со сглаженной дисперсией.

Таблица 7.2

Тип волокна	Коэффициент затухания $\alpha$ , дБ/км, на длине волны		Длина волны нулевой дисперсии $\lambda_0$ , мкм	Коэффициент наклона дисперсионной кривой $S_0$ , пс/(нм <sup>2</sup> .км)	Коэффициент хроматической дисперсии $D(\lambda)$ , пс/(нм х км)
	1,3 мкм	1,55 мкм			
Ступенчатое	0,34	0,22	1,301	0,092	-
Со смещённой дисперсией	0,34	0,22	1,55	0,085	-
Со сглаженной дисперсией	0,34	0,22			$\leq 3,5$ для 1,525-1,575 мкм

Коэффициент хроматической дисперсии  $D(\lambda)$  для ступенчатых волокон и волокон со смещённой дисперсией рассчитывается по формуле

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left[ \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right], \text{ пс/(нм х км)} \quad (7.3)$$

где входящие в формулу параметры определены в таблице 7.2

### 7.3. Выбор и обоснование типа оптического кабеля

Выбор конструкции оптического кабеля определяется условиями и планируемым способом прокладки. Наиболее распространены кабели модульной конструкции, сердечник которых включает несколько оптических модулей с двумя, четырьмя или большим числом ОВ, скрученных вокруг центрального силового элемента, в качестве которого используется стеклопруток (рис.7.1). Однако в последнее время все более широко используются кабели, сердечник которых представляет из себя один модуль с толстостенной полимерной трубкой (рис. 7.2). Тип наружных покровов, как правило, выбирается в соответствии с таблицей 4. Допустимое раздавливающее усилие для всех типов ОК составляет 1000 Н/см. Минимально допустимый радиус изгиба не должен превышать  $20d$ , где  $d$  - диаметр кабеля. Строительная длина оптических кабелей связи составляет в среднем 4..6 км, но не менее 1 км.

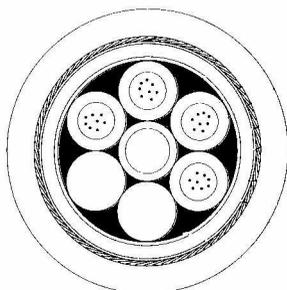


Рис. 7.1. Сердечник оптического кабеля повивной модульной конструкции

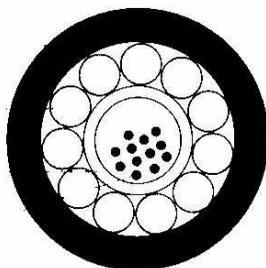
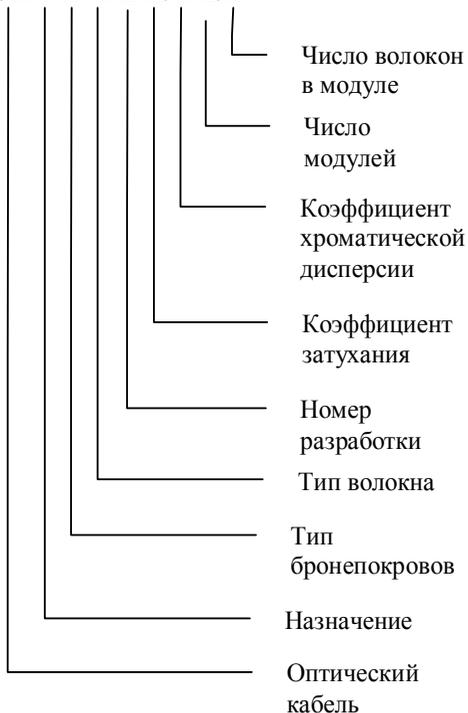


Рис.7.2 Сердечник оптического кабеля модульной конструкции

Один из типичных способов маркировки оптических кабелей представлен ниже на рис. 7.3.

**ОК-У-У-Х-Х-Х/Х-Х/Х**



Здесь У- буквенные обозначения;  
Х- цифровой код.

По назначению различают

- К- кабель для прокладки в канализации
- Л- магистральный кабель, а также кабель для прокладки в грунт
- З- внутризональный кабель

Тип бронерокровов обозначают

- Ст- стальная гофрированная оболочка
- К- боня из круглых проволок
- Б- броня из стальных лент
- О- оплетка
- С- броня из стеклоплетки
- Ж- из синтетических волокон с высоким модулем упругости

Тип волокна

- 50- многомодовое
- 10- одномодовое

Номер разработки – 01..02 и т.д.  
Коэффициент затухания в дБм/км и коэффициент хроматической дисперсии в пс/(нм.км) приводят для области длины волны нулевой дисперсии

Число модулей- 1, 2,4, 6, 8

Число волокон – от 4 до 96 и более.

Рис. 7.3. Маркировка оптических кабелей

Выбрав тип бронепокровов, определите марку оптического кабеля в соответствии с указаниями (табл. 7.3). Следует отметить, что как правило, способы маркировки ОК у разных фирм-производителей отличаются.

Таблица 7.3

№ №	Условия прокладки	Способ прокладки	Допустимое растягивающее усилие, кН	Бронепокровы
1.	Непосредственно в канал канализации	Затягивание с применением заготовки	2,0÷3,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• без брони</li> <li>• в стальной гофрированной оболочке</li> <li>• оплетка</li> </ul>
2.	В канализации во вспомогательном полимерном трубопроводе	Затягивание с применением заготовки	2,0÷3,5	То же, что по п.п. 1
3.	В канализации или в грунтах в трубах с силиконовым покрытием	Затягивание с применением заготовки или задувка с применением кабельджета	2,0÷3,5	То же, что по п.п. 1
7.	Непосредственно в грунтах III – IV категорий	Кабелеукладчиком или в траншею	7÷8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• из круглых проволок</li> <li>• из стальных лент</li> </ul>
8.	Переходы через судоходные реки, в болотах, скальных грунтах	В зависимости от условий	20÷96	в сплошных металлических оболочках с броней их круглых проволок
9.	Подвеска на опорах	Как самонесущий	15÷25 и более в зависимости от длины пролета, гололедности и ветровой нагрузки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• из стеклоплетки</li> <li>• синтетические нити с высоким модулем упругости</li> </ul>

## 7.4 Выбор и обоснование схемы организации связи

На внутризональных и магистральных волоконно-оптических линиях передачи, как правило, применяется однокабельная двухволоконная схема организации связи на одной оптической несущей. Вместе с тем, при необходимости передачи большого объема информации на большие расстояния, когда имеют место ограничения длины ЭКУ по дисперсии, применяют DWDM (устройства спектрального уплотнения). В этом случае используют двухволоконную схему организации связей на нескольких оптических несущих. При этом, по двум волокнам работают несколько систем передачи, каждая – на своей оптической несущей.

## 7.5. Размещение ретрансляторов по трассе магистрали

Значительная протяженность ЭКУ ВОЛП позволяет размещать ретрансляторы в населенных пунктах, где есть не менее двух независимых источника электропитания. Размещение ретрансляторов производится исходя из бюджета мощности и допустимой дисперсии на ЭКУ.

С учетом бюджета мощности расстояние между ретрансляторами ВОЛП должно лежать в пределах  $L_{MIN} \leq L_{ЭКУ} \leq L_{MAX}$ , где

$$L_{MAX} = \frac{\mathcal{E} - a_H - a_P \cdot n_P - a_3}{\alpha + a_H / L_{CD}}, \text{ км}, \quad (7.4)$$

$$L_{MIN} = \frac{\mathcal{E} - a_{APY} - a_H - a_P \cdot n_P - a_3}{\alpha + a_H / L_{CD}}, \text{ км}. \quad (7.5)$$

Здесь:

$\mathcal{E}$  - энергетический потенциал системы, дБм;

$a_3$  - эксплуатационный запас (обычно принимается равным 6 дБм), дБм;

$a_H$  - потери в неразъемном соединении ОВ, дБм;

$a_P$  - потери в разъемном соединении ОВ, дБм;

$n_p$  - число разъемных соединений на ЭКУ;

$a_{APY}$  - пределы регулировки АРУ, дБм;

$\alpha$  - коэффициент затухания оптических волокон, дБм/км;

$L_{CD}$  - строительная длина кабеля, км.

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

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

Пределы регулировки АРУ определяются конкретным типом аппаратуры. В настоящем проекте эту величину следует принять равной 20 дБм.

Если условия требуют размещения ретранслятора так, что условие  $L_{MIN} \leq L_{ЭКУ}$  не выполняется, необходимо включение аттенуаторов, затухание которых следует определить.

Наряду с указанными выше условиями длина ЭКУ должна удовлетворять требованиям по дисперсии

$$L_{ЭКУ} \leq \frac{0,25}{\sigma \cdot B}, \text{ км}, \quad (7.6)$$

где

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

$\sigma$  - среднеквадратическое значение дисперсии оптического волокна, с/км.

**Значение  $L_{MAX}$  выбирается как наибольшее из рассчитанных по формулам (7.4) и (7.6).**

Скорость передачи на оптическом стыке определяется из соотношения

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

где  $B_{\text{ЦСП}}$  - скорость передачи на электрическом стыке, **Бит/с**;  
 $m, n$  - параметры блочного линейного кода ВОСП  $mBnB$  .

Среднеквадратическое значение дисперсии одномодового волокна равно

$$\sigma = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot 10^{-12}, \text{ с/км}, \quad (7.7)$$

$\lambda$  - рабочая длина волны, **нм**;

$\Delta\lambda$  – диапазон длин волн излучения лазера, который можно принять равным 0,2..0,8 **нм**;

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

Разместив ретрансляторы по трассе с учетом казаных выше условий, необходимо определить длину каждого ЭКУ. Рассчитать запас мощности  $a_3$  и дисперсию  $\sigma_{\text{ЭКУ}}$  для каждого ЭКУ по формулам

$$a_3 = \mathcal{E} - a_H n_H - a_P \cdot n_P - \alpha \cdot L_{\text{MAX}}, \text{ дБ} \quad (7.8)$$

$$n_H = \text{Int} \left( \frac{L_{\text{MAX}}}{\alpha} \right) - 1 \quad (7.9)$$

$$\sigma_{\text{ЭКУ}} = \sigma \cdot L_{\text{ЭКУ}}, \text{ с} \quad (7.10)$$

Полученные результаты следует сравнить с допустимыми значениями (табл. 7.1, (7.4), (7.5)).

В результате расчета и уточнения длин ЭКУ составляется структурная схема ВОЛП, на которой указываются необслуживаемые ретрансляционные пункты (НРП), длины ЭКУ, тип кабеля и нумерация НРП.

## 7.6. Обеспечение доступа абонентов к цифровым каналам связи

Современные системы телекоммуникаций должны обеспечивать возможность предоставления абонентам каналов с широким спектром частот, даю-

щими выход в различные информационные сети, видеотелефонную связь, передачу данных с высокой скоростью, видеоконференции, связь между различными локальными сетями и т.д.

Выполнить эти требования возможно только при использовании современных проектных решений по созданию сети доступа, состоящей из физической среды передачи и соответствующей аппаратуры доступа, как со стороны абонентов, так и со стороны узла доступа, обеспечивающего выход на сеть связи общего пользования. Архитектура и оборудование сети доступа зависит от территории населенного пункта, числа жителей, потребности в каналах абонентского доступа. При курсовом проектировании необходимо предусмотреть обеспечение абонентского доступа к высокоскоростным цифровым каналам, составляющим 5% от общего числа стандартных телефонных каналов в третьем населенном пункте согласно табл. 3.1. В качестве среды распространения необходимо предусмотреть использование абонентской сети, состоящей из симметричных кабелей с различным диаметром жил. Технические характеристики оборудования цифровых абонентских линий представлены в таблице 7.4 /14/.

Таблица 7.4

Тип аппаратуры	Скорость передачи, кБит/с	Диаметр жил симметричного кабеля, мм	Дальность передачи, км
ИКМ2	160 (2 x 64)	0,4	5
		0,5	7
		0,6	13
		0,9	22
		1,2	30
PGS – 4 Эрикссон	320 (4 x 64)	0,4	5,4
		0,6	11,5
		0,8	18
		0,9	23
PGS – 4 Эрикссон	576 (8 x 64)	0,4	4,5
		0,6	8,5
		0,8	14,0
		0,9	18,0
ИКМ – 30	2048 (30 x 64)	0,4	1,2
		0,5	1,5
		0,6	2
		1,2	4
ADSL	6144 (90 x 64)	0,4	2,7
		0,5	3,7

При необходимости предоставления абонентам большого числа высокоскоростных каналов возможно использование на сети доступа оптических кабелей связи. Технические характеристики оборудования ВОСП для сети доступа представлены в табл.7.5.

Таблица 7.5

Параметры ВОСП				
ЭКУ	Укороченный		Стандартный	
Длина волны, мкм	1,3	1,55	1,3	1,55
Скорость передачи информации 8,5Мбит/с				
Число ОЦК	120			
Число цифровых потоков (ЦП) Е1	4			
Код оптического стыка	1В2В			
Энергетический потенциал	26	24	42	38
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	0,35/В			
Скорость передачи информации 34,4 Мбит/с				
Число ОЦК	480			
Число цифровых потоков (ЦП) Е1	16			
Код оптического стыка	5В6В			
Энергетический потенциал	26	24	40	36
Максимально допустимая дисперсия на ЭКУ, пс/нм	0,35/В			

Исходя из заданного числа каналов, протяженности населенного пункта и технических характеристик аппаратуры абонентского доступа в курсовом проекте необходимо выбрать тип аппаратуры, количество задействованных пар, их диаметр, а также емкость и марку симметричного ЭКС. Затем необходимо представить разработанную структурную схему сети доступа данного населенного пункта.

## 8. ПЛАН ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И МОНТАЖУ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЛИНИИ

### 8.1. Общие положения

Инвестиционная политика предполагает повышение эффективности использования капитальных вложений и их экономического регулирования. В

немалой степени этому способствует не только высокое качество подготовленных проектных материалов и документов, но и организация строительно-монтажных работ на проектируемой кабельной линии при минимально возможных сроках строительства.

Началу строительства кабельных линий предшествует проведение ряда подготовительных мероприятий по изучению проектно-сметной документации, трассы линии, особенно на сложных участках и пересечениях. При этом составляется проект производства работ с указанием сроков и последовательности выполнения отдельных видов работ. В подготовительный период уточняются места расположения строительных подразделений, кабельных площадок, производится подготовка автотранспорта и механизмов, инструментов, измерительной аппаратуры и т.п.

Строительство кабельных линий связи осуществляют строительно-монтажные организации, подразделяемые на общестроительные и специализированные. Общестроительные выполняют работы по возведению и реконструкции зданий и сооружений. Работы по строительству и монтажу инженерных сетей и коммуникаций выполняются специализированными организациями отрасли связи, к которым относятся строительно-монтажные управления (СМУ), передвижные механизированные колонны (ПМК) и строительно-монтажные поезда (СМП). В их составе создаются производственные подразделения: строительно-монтажные участки, механизированные колонны и специализированные бригады по устройству переходов, строительству канализации, измерительные и т.д.

## **8.2. Организация строительно-монтажных работ**

При строительстве ЛКС кабельных линий связи выполняются следующие основные работы:

- разбивка и подготовка трассы;
- прокладка кабеля;
- монтаж кабеля;
- устройство переходов через реки и другие препятствия;
- сооружение телефонной канализации и прокладка кабеля в канализации;
- установка НРП и оборудование вводов в них;
- устройство вводов в оконечные и обслуживаемые усилительные пункты;
- устройство защиты кабельной линии от внешних электромагнитных полей и коррозии;
- проведение испытаний и электроизмерительных работ в процессе строительства и монтажа.

Строительство линейных сооружений связано с необходимостью выполнения больших объемов земляных работ, т.е. работ, связанных с разработкой

и перемещением грунтов. К ним относятся: рытьё траншей и котлованов, их засыпка, планировка поверхности земли, вскрытие и восстановление уличных покрытий. Трудоёмкость выполнения земляных работ зависит от группы грунта и возможности применения специальных машин и механизмов. На загородных участках прокладка кабеля осуществляется кабелеукладчиком, за исключением тех мест, где их применение невозможно.

Проведение работ осуществляется в соответствии с проектом организации строительства (ПОС), представляющим неотъемлемую часть технического проекта. В нём отражены краткие положения технической части проекта о системах связи, видах сооружений, типе кабелей, протяжённости трассы, количестве регенерационных пунктов и т.д. ПОС содержит метеорологические сведения по трассе, характеристику местности, грунтов, дорог, рек и водоёмов по участкам, данные об объёмах основных работ и способах их производства, глубине прокладки. В ПОС имеются ведомости потребного количества механизированных колонн, механизмов и транспортных средств, основных материалов и оборудования. При составлении ПОС необходимо учесть следующие обстоятельства:

- строительство должно осуществляться передовыми методами, обеспечивающими наивысшие производительность работ и их качество;
- сокращение сроков строительства;
- технологическую последовательность выполнения строительно-монтажных работ.

В проекте необходимо составить ведомость работ и расхода материалов на строительство ВОЛП согласно таблице 8.1.

Таблица 8.1

Наименование работ и материалов	Единица измерения	Количество на всю ВОЛП
Кабель	км	
Прокладка кабеля кабелеукладчиком	км	
Прокладка кабеля вручную (с учётом рытья и засыпки траншей)	км	
Строительство телефонной канализации	км	
Протягивание кабеля в канализации	км	
Устройство переходов через шоссе и железные дороги	единица	
Устройство переходов через реки шириной:	единица	
до 100 м	переход	
до 200 м	переход	
Монтаж, измерение и герметизация муфт	км	
Итого		

Пояснительная записка к курсовому проекту должна завершаться выводами по основным разделам проекта, оформленными в виде заключения.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Атлас автомобильных дорог России – М., 1998.
2. Верник С.М. и др. Линии связи, М., 1995.
3. Строительство кабельных сооружений связи. Справочник, М., 1990.
4. Правила технической эксплуатации первичных сетей ВСС РФ. Книга третья, М., 1998.
5. Андреев В.А. Теория электромагнитных влияний между цепями связи. М., 1999.
6. Гроднев И.И. и др. Коаксиальные кабели связи. М., 1983.
7. Михайлов М.И. и др. Защита сооружений связи от опасных и мешающих влияний, М., 1978.
8. Руководство по защите подземных кабелей связи от ударов молнии, М., ЦНИИС, 1996.
9. Руководство по проектированию и защите от коррозии подземных металлических сооружений связи, М., 1990.
10. Инструкция по проектированию линейно-кабельных сооружений связи. ВСН 116-93.
11. Строительство и техническая эксплуатация ВОЛС, М., 1995.
12. Руководство по прокладке, монтажу и сдаче в эксплуатацию ВОЛС магистральных сетей, М., 1995.
13. Руководство по защите оптических кабелей от ударов молнии. М., ЦНИИС, 1999.
14. Фокин В.Г. Аппаратура и сети доступа. - Новосибирск, 1999.