

**Министерство образования Российской Федерации**

**Ульяновский государственный технический университет**

# **ЛИНИИ СВЯЗИ**

**Ульяновск 2000**

**Министерство образования Российской Федерации**

**Ульяновский государственный технический университет**

# **ЛИНИИ СВЯЗИ**

**Методические указания по курсовой работе  
для студентов направления 550400 «Телекоммуникации»**

**Составитель Г.В. Дмитриенко**

**Ульяновск 2000**

УДК 654 (076)  
ББК 32.88я7

Л 59

Рецензент: канд. техн. наук, доцент А.В. Дормидонтов

Одобрено секцией методических пособий  
научно-методического совета университета

Л59 **Линии** связи. Методические указания по курсовой работе для студентов направления 550400 «Телекоммуникация».  
/Сост. Г.В. Дмитриенко. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. - 24 с.

Составлены в соответствии с учебными программами курса «Линии связи» для направления 550400 «Телекоммуникации». Изложены требования по выполнению типового расчета. Приведена методика расчета распространения радиоволн в атмосфере.

Методические указания подготовлены на кафедре «Радиотехника».

УДК 654 (076)  
ББК 32.88 я7

© Ульяновский государственный технический университет, 2000

# 1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ТИПОВОГО РАСЧЕТА И ТРЕБОВАНИЯ К ЕГО ВЫПОЛНЕНИЮ

Курс «Линии связи» является одним из базовых в программе подготовки студентов по направлению 550400 «Телекоммуникации». Курс посвящен изучению основных принципов построения различных проводных линий связи (магистральной, зонной и местной сетей связи); конструкции направляющих систем (симметричных, коаксиальных, оптических, и сверхпроводящих, волноводных и воздушных линий и т.д.); теории передачи энергии по направляющим системам, теории взаимных и внешних влияний и мерам защиты от них; проектирования, строительства и эксплуатации линейных сооружений связи.

Основной задачей курсовой работы является закрепление у студентов знаний, полученных в учебном процессе, приобретение практических навыков расчета параметров и электрических характеристик направляющих систем связи для различных линий связи.

Курсовая работа по дисциплине «Линии связи» имеет характер эскизного проектирования, т.е. в данном случае не требуется разработки и детального расчета элементов и устройств. При выполнении курсовой работы по линиям связи следует использовать упрощенную методику расчетов, определить наиболее общие параметры проектируемой линии связи.

В результате выполнения курсовой работы студенты должны:

- **знать** принципы и порядок эскизного проектирования направляющих систем связи;

- **уметь** определять основные характеристики и параметры направляющих систем связи по заданным техническим параметрам, определять структуру и разрабатывать функциональную схему прокладки линии связи, производить оценку электромагнитной совместимости, выбрать защиту от внешних влияний и коррозии;

- **иметь представление** о существующих типах линий связи, о принципах их построения, взаимных и внешних влияний и способах защиты от них, о принципах монтажа линий связи.

## 1.1. Содержание курсовой работы

В процессе выполнения курсовой работы студенты на основе анализа исходных данных и ознакомления с существующими аналогами проектируемых систем должны:

- произвести расчет основных технических характеристик и параметров направляющей системы связи. Характеристики (погонные): емкость и индуктивность, сопротивление и затухание. Параметры: рабочий диапазон частот, характеристическое сопротивление линии передачи в используемом диапазоне частот, предельная передаваемая мощность по каналу, скорость распро-

странения сигнала, фазовый коэффициент распространения, длина волны в линии передачи и т.п.;

- определить структуру направленной линии связи, определить трассу прохождения, определить, каким вредным и мешающим воздействиям подвергается линия связи, и разработать комплекс мер по предотвращению или уменьшению этих воздействий;

- сформулировать технические требования для возможной практической реализации.

При оформлении пояснительной записки и чертежей следует выполнять требования ЕСКД в соответствии с ГОСТ 2.105-95, ГОСТ 2.106-96.

## **1.2. Задание на курсовую работу и ее защита**

В задании предусматриваются:

- тема курсовой работы;
- исходные данные для расчета, в которых указывается проектируемая сеть, тип кабеля, количество каналов, возможные виды воздействия и т.д.;
- объем работы;
- сроки сдачи типового расчета.

Типовая форма задания приведена в приложении 1. Студент на основе анализа технических данных самостоятельно принимает решение по реализации проводной направляющей системе связи.

**К защите допускаются работы, выполненные в соответствии с указанными в настоящем пособии требованиями, после проверки преподавателем.**

Во время защиты студенту необходимо показать знания, касающиеся основных принципов и положений, используемых в курсовой работе, а также умение обоснованно выбирать нужные способы защиты систем связи от внешних воздействий, позволяющие наиболее эффективно выполнять требования технического задания по курсовой работе.

## **1.3. Тематика курсовых работ**

Ниже приводится примерная тематика типовых заданий. Приведенный перечень тем курсовых работ является неполным, и может быть дополнен преподавателем, выдающим задание.

1. Коаксиальная магистральная сеть.
2. Оптическая магистральная сеть.
3. Магистральная сеть на симметричном кабеле.
4. Магистральная сеть на малогабаритном коаксиальном кабеле.
5. Магистральная сеть на сверхпроводящем кабеле.
6. Коаксиальная зонавая сеть.
7. Оптическая зонавая сеть.

8. Зоновая сеть на симметричном кабеле.
9. Зоновая сеть на однокоаксиальном кабеле.
10. Зоновая сеть на сверхпроводящем кабеле.
11. Городская телефонная сеть на оптическом кабеле.
12. Городская телефонная сеть на коаксиальном кабеле.
13. Городская телефонная сеть на двухпроводном кабеле.
14. Сельская телефонная сеть на двухпроводном кабеле.
15. Сельская телефонная сеть на оптическом кабеле.
16. Сельская телефонная сеть на коаксиальном кабеле.
17. Подводная кабельная сеть.

#### 1.4. Составление пояснительной записки

Курсовая работа состоит из графической части (структурная схема направляющей системы связи и диаграммы или другой иллюстрационный материал) и пояснительной записки объемом около 20-30 страниц.

Пояснительная записка составляется следующим образом:

- титульный лист;
- бланк задания (технические условия) на работу;
- содержание с указанием страниц разделов;
- текстовая часть;
- список используемых литературных источников.

Материал пояснительной записки (текстовая часть) обычно разбивается на разделы. В каждом разделе должен содержаться выбор или расчет того или иного параметра линии связи, фактора воздействия и защита от него.

В курсовой работе приводится обобщенный расчет основных технических и эксплуатационных характеристик и параметров проектируемой линии связи и выбранного типа и марки кабеля на основе технического задания, его технические характеристики и параметры.

Особое внимание следует уделить вопросам **электромагнитной совместимости и защиты** проектируемой системы связи **от внешних воздействий и коррозии**. Ознакомившись с существующими способами, обоснованно выбрать тот или иной вариант защиты. Привести краткие сведения о принципах действия этих устройств, оценку эффективности их применения.

В **заключение** пояснительной записки следует подвести итог проделанной работы, отметить главные результаты проектирования, дать оценку эффективности принятых технических решений по обеспечению требований задания.

Список использованных **литературных источников** необходимо составлять в соответствии с ГОСТом 7.1-86 «Библиографическое описание документа».

Оформление графической части курсовой работы должно быть выполнено в соответствии с требованиями, изложенными в [13].

## 2. МЕТОДИКА ВЫБОРА И РАСЧЕТА

### 2.1. Системы передачи, тип линии связи, марка кабеля

Выбор системы передачи, типа линии связи и марки кабеля осуществляется на основании анализа требуемого числа каналов и мощности магистрали. Число каналов определяется потребностью междугородной связи конечных и промежуточных населенных пунктов, расположенных по трассе магистрали, созданием резервных каналов для повышения гибкости, устойчивости и надежности работы магистральной и зонавой сетей в целом.

Выбор емкости и типа кабеля и системы передачи линии связи производится с учетом проектируемой мощности линии связи, определяемой числом каналов в первичной и вторичной сети. По выбранному типу кабеля определить его параметры: погонные емкость, индуктивность, сопротивление; коэффициенты затухания, фазы, скорость распространения.

Вторичные параметры кабельных линий:  $\alpha$  – коэффициент затухания,  $\beta$  – коэффициент фазы,  $Z_B$  – волновое сопротивление,  $v$  – скорость распространения энергии по цепям связи можно рассчитать по сокращенным формулам.

1) *при постоянном токе:*

$$\alpha = \sqrt{RG}, \quad \beta = 0, \quad Z_B = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{G}} \quad (2.1)$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC} (\sqrt{LG/RC} + \sqrt{RC/LG})/2} \quad (2.2)$$

2) *в диапазоне низких частот ( $f \leq 800$  Гц):*  
при соотношении параметров  $R/\omega L > 5$

$$\alpha = \sqrt{\frac{\omega C}{2}} (\omega L), \quad \beta = \sqrt{\frac{\omega C}{2}} (R + \omega L) \quad (2.3)$$

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + \omega L}{2\omega C}} - j\sqrt{\frac{R - \omega L}{2\omega C}} \quad (2.4)$$

при соотношении параметров  $R/\omega L > 50$

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}}, \quad Z_B = \sqrt{\frac{R}{2\omega C}} e^{-j45} \quad (2.5)$$

3) в области высоких частот ( $f \geq 40$  кГц):  
при соотношении параметров  $\omega L/R > 5$  и  $\omega C/G > 5$

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad \beta = \omega \sqrt{LC}, \quad (2.6)$$

$$Z_B = \sqrt{L/C}, \quad v = \omega/\beta = 1/\sqrt{LC} \quad (2.7)$$

### 2.1.1. Первичные и вторичные параметры коаксиальных кабелей

Сопротивление коаксиальной пары  $R$ , Ом/км, и индуктивность  $L$ , Гн/км, рассчитываются по формулам:

$$R = \frac{\sqrt{2}k}{4\pi\sigma} \left( \frac{1}{d/2} + \frac{1}{D/2} \right), \quad (2.8)$$

$$L = \left[ \frac{\sqrt{2}\mu_a}{4\pi k} \left( \frac{1}{d/2} + \frac{1}{D/2} \right) + 2 \ln \frac{D}{d} 10^{-4} \right], \quad (2.9)$$

– где  $d$  и  $D$  – диаметр внутреннего проводника и внутренний диаметр внешнего проводника. Значения  $k$  берутся из таблицы 2.1.

Таблица 2.1  
Значения коэффициента  $k$

Материал проводника	$k$
Медь	$0,021 \sqrt{f}$
Алюминий	$0,0164 \sqrt{f}$
Сталь	$0,075 \sqrt{f}$

Емкость  $C$ , Ф/м, и проводимость  $G$ , См/м, коаксиального кабеля рассчитываются по  $\epsilon_r$  и  $tg\delta$ .



$$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r / \ln(D/d) = \epsilon_r \cdot 10^{-6} / 18 \ln(D/d), \quad (2.10)$$

$$G = 2\pi\sigma / \ln(D/d) = \omega C \operatorname{tg} \delta, \quad (2.11)$$

– где  $\epsilon_r$  и  $\operatorname{tg} \delta$  – диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь изоляции. Эффективные значения  $\epsilon_r$  и  $\operatorname{tg} \delta$  приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Эффективные значения  $\epsilon_r$  и  $\operatorname{tg} \delta$

Тип изоляции	$\epsilon_r$	Отношение $v_D/v_B$	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-4}$ при частоте, МГц			
			1	5	10	60
Полиэтиленовая шайба	1,13	8,8	0,5	0,5	0,7	0,8
Полиэтиленовая спираль	1,1	6	0,4	0,4	0,5	0,6
Баллонно-полиэтиленовая	1,22	9	1,2	1,3	1,5	-
Пористо-полиэтиленовая	1,5	50	2	3	3	-
Кордельно-стирофлексная	1,19	12	0,7	0,8	1,0	1,2

Коэффициент затухания  $\alpha$ , дБ/км, коэффициент фазы  $\beta$  рад/км, волновое сопротивление  $Z_B$ , Ом, скорость распространения  $v$ , км/с, рассчитываются следующим образом.

$$\alpha = 8,69 \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right), \quad \beta = \omega \sqrt{LC}, \quad (2.12)$$

$$Z_B = \sqrt{L/C}, \quad v = 1/\sqrt{LC}. \quad (2.13)$$

### 2.1.2. Первичные и вторичные параметры симметричных кабелей

Волновое сопротивление  $Z_B$ , Ом, симметричных кабелей

$$Z_B = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{j\omega\mu_a}{\sigma + j\omega\epsilon_a}} \ln \frac{a-r}{r}, \quad (2.14)$$

где  $a$  – расстояние между проводниками;  $r$  – радиус проводника.

Активное сопротивление  $R$ , Ом/км, индуктивность  $L$ , Гн/км, проводимость  $G$ , См/м, и емкость  $C$ , Ф/м, имеют следующие выражения:

$$R=0 \quad L = \frac{\mu_a}{\pi} \ln \frac{a-r}{r}, \quad (2.15)$$

$$G = \frac{\pi\sigma}{\ln[(a-r)r]}, \quad C = \frac{\pi\epsilon_a}{\ln[(a-r)r]} \quad (2.16)$$

Коэффициент затухания  $\alpha$ , коэффициент фазы  $\beta$ , скорость распространения  $v$  рассчитываются по формулам для коаксиального кабеля, делая подстановку  $R, G, C, L$  для симметричной линии.

### 2.1.3. Параметры оптических кабелей

Критическая длина волны волоконного световода:

$$\lambda_0 = \frac{d}{n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (2.17)$$

– где  $n_1$  и  $n_2$  – показатель преломления сердцевины и оболочки;  $d$  – диаметр сердцевины.

Режим световода характеризуется обобщенным параметром  $V$ , этот параметр называется *нормированной частотой* и определяется по формуле (2.18):

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (2.18)$$

– где  $a$  – радиус сердцевины,  $\lambda$  – длина волны.

Число мод в световоде определяется:

$$N = V^2 = \left( \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right)^2 - \text{для ступенчатого профиля}; \quad (2.19)$$

$$N = \frac{V^2}{2} = \frac{1}{2} \left( \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right)^2 - \text{для градиентного профиля}. \quad (2.20)$$

Расчет потерь в световоде на поглощение  $\alpha_{\text{п}}$ , дБ/км

$$\alpha_{\text{п}} = 8,69 \frac{\pi n}{\lambda} \operatorname{tg} \delta, \quad (2.21)$$

– где  $n = \sqrt{\mu\epsilon}$  – показатель преломления,  $\lambda$  – длина волны,  $\operatorname{tg} \delta$  – тангенс угла диэлектрических потерь в световоде.

Потери на расстояния  $\alpha_{\text{р}}$ , дБ/км,

$$\alpha_p = K_p / \lambda^4, \quad (2.22)$$

где  $K_p$  – коэффициент рассеяния, равный (1...1,15) (дБ/км) x мкм<sup>4</sup> для кварца. Общие потери  $\alpha = \alpha_D + \alpha_p$ .

Главной характеристикой оптических кабелей является дисперсия. *Дисперсия*  $\tau$  – это рассеяние во времени спектральных или модовых составляющих оптического сигнала, приводящего к уширению импульса на приеме, и рассчитывается по формулам:

$$\tau = \frac{\Delta n_1 l}{c} = \frac{(NA)^2 l}{2n_1 c} \text{ для ступенчатого световода}; \quad (2.23)$$

$$\tau = \frac{\Delta^2 n_1 l}{2c} = \frac{(NA)^4 l}{8n_1^3 c} \text{ для градиентного световода}, \quad (2.24)$$

– где  $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$  – числовая апертура;  $\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2 \approx (n_1 - n_2) / n_1$ ;  $n_1$  – показатель преломления сердцевины;  $n_2$  – показатель преломления оболочки;  $l$  – длина световода;  $c$  – скорость света.

## 2.2. Выбор марки кабеля

Выбор марок кабелей связи производится по результатам анализа технического задания (пропускная способность, передаваемая мощность, вид сети связи и т.д.), прокладка кабеля (рельефа местности, геологической структуры грунтов и их коррозионной активности, интенсивности грозových разрядов, наличия и параметров сближения с ЛЭП, с электрической железной дороги) и т.д., а также обеспечения электрических характеристик линейных трактов и защиты их от внешних и взаимных влияний и помех, и так же с защитой от воздействия внешней среды.

## 2.3. Выбор трассы строительства

Выбор трассы строительства кабельных линий и площадок под усиленные пункты определяется следующими минимальными значениями: протяженность трассы, число наземных и подземных препятствий на трассе строительства, затрат на защиту линии связи от опасных и мешающих влияний, от коррозии. Минимально допустимые расстояния трассы кабелей связи от других сооружений приведены в таблице 2.3. При построении линии связи необходимо учитывать создание резервных каналов связи для обеспечения бесперебойной работы и возможность в будущем производить увеличение числа каналов.

Таблица 2.3

Минимально допустимые расстояния трассы кабелей  
связи от других сооружений

1. При производстве работ	м
От края насыпи автомобильных и железных дорог	5
От нефтепроводов за городом	10
От городских газопроводов и теплопроводов	1
От края линии домов в городах	1,5
2. При защите от коррозии и ударов молнии от опор ЛЭП и сетей электрифицированной железной дороги и их заземлений при удельном сопротивлении грунта, $\rho$	
от 100 Ом/м	$0,83 \sqrt{\rho}$
от 500 Ом/м	10
свыше 1000 Ом/м	$0,35 \sqrt{\rho}$
от заземлений молниеотводов воздушных линий связи	25
от силовых кабелей	0,5

#### 2.4. Прокладка и подвеска кабелей связи

При прокладке кабелей связи необходимо учитывать максимальные тяговые усилия, допустимые радиусы изгибов и прогибов для выбранного типа кабеля, выбор длины пролетов, допустимых при прокладке воздушных кабельных линий связи. Необходимо задать геометрические параметры сближения кабеля связи с другими сооружениями. Описать требования к кабельным площадкам и машинам для транспортировки кабеля и его укладки. Описать какие необходимо провести испытания кабелей перед укладкой и их документальное подтверждение. Предусмотреть меры и виды защиты для прокладки подземных кабелей и кабелей через водные преграды. Рассмотреть возможность ввода кабелей в здания, прокладка его по стенам, в каналах скрытой проводки, подвеска кабелей по опорам и по стоечным подвесам на крышах зданий.

#### 2.5. Монтаж кабелей связи

Привести описание методов сращивания жил, выбранного типа кабеля с последующим описанием применяемого оборудования для этих целей. Привести методы и способы защиты сростков и фиксации их местоположения для практической реализации. Привести перечень проведения необходимых мероприятий по восстановлению экранирующих покровов и изолирующих оболочек. Привести описание выбранного способа подвода кабеля в усиленные (обслуживаемые и необслуживаемые) пункты.

## 2.6. Электрические измерения и измерительные приборы

Привести требования, предъявляемые к электрическим измерениям и к измерительной аппаратуре для проведения измерений на постоянном и переменном токе. Произвести анализ существующих методов и способов измерений и аппаратуры для проверки электрических параметров кабеля и оборудования до применения их в процессе строительства; проведения контроля состояния электрических параметров кабеля в процессе строительства; составления электрических паспортов кабельных линий по усилительным участкам; определения характера и места повреждения. По результатам анализа студент составляет перечень параметров кабеля, необходимых для проверки и контроля; список измерительного оборудования; список методов и способов проведения измерений и контроля.

## 2.7. Защита сооружений связи от внешних воздействий

В процессе проектирования линии связи студент производит анализ возможных внешних воздействий на разрабатываемую систему связи. Производит их классификацию и перечень мер по их устранению. В пояснительной записке производит обоснование выбранных методов и средств защиты от внешних воздействий. Производит расчет опасного электрического и магнитного и мешающего влияний, по результатам расчета делает выводы. Делает выбор экранирующих устройств; выбирает вид экрана и обосновывает сделанный выбор с помощью расчета. Учитывает защиту кабельных сооружений от грозových разрядов и молний, оборудование заземлений.

### 2.7.1. Электромагнитная совместимость

Источники сторонних полей условно делят на две группы: внешние – энергетически и конструктивно не связанные с линией связи, и внутренние – соседние физически и искусственные цепи данной линии связи.

*Внешние* источники помех делятся следующим образом:

естественные – грозových разряды, солнечная радиация, космическое излучение, магнитные бури;

созданные человеком – высоковольтные линии передач, радиостанции различного назначения, линии электрифицированных железных дорог, метро и трамвая, электрические сети промышленных предприятий и отдельных энергоёмких устройств.

Мероприятия, проводимые по устранению внешних влияний, приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Мероприятия, проводимые по устранению внешних влияний

Источник внешних влияний	Характер влияния	Мероприятия, проводимые на линиях	
		влияющих	связи
ЛЭП	Опасные и мешающие поля $E$ и $H$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Автоматика</li> <li>2. Сглаживающие фильтры</li> <li>3. Экранирующие тросы</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Относ трассы</li> <li>2. Калибрование</li> <li>3. Скрещивание и симметрирование</li> <li>4. Экранирование</li> <li>5. Разрядники и предохранители</li> <li>6. Заземление</li> <li>7. Нейтрализующие и редуцирующие трансформаторы</li> </ol>
Электрифицированная железная дорога.	Опасное и мешающее поле $H$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сглаживающие фильтры</li> <li>2. Отсасывающие трансформаторы</li> <li>3. Увеличение проводимости и изоляции рельсов</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Относ трассы</li> <li>2. Калибрование</li> <li>3. Скрещивание и симметрирование</li> <li>4. Экранирование</li> <li>5. Разрядники и предохранители</li> <li>6. Заземление</li> </ol>
Гроза	Опасные поле $E$	-----	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Калибрование</li> <li>2. Молниеотводы на воздушных ЛС</li> <li>3. Тросы на кабельных ЛС</li> <li>4. Каскадная защита</li> <li>5. Разрядники и предохранители</li> <li>6. Заземление</li> </ol>
Радиостанции	Мешающие поля $E$ и $H$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выбор несущей частоты</li> <li>2. Относ радиостанции</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Относ трассы</li> <li>2. Калибрование</li> <li>3. Скрещивание и симметрирование</li> <li>4. Фильтры и запирающие катушки</li> </ol>

### 2.7.2. Принцип экранирования

Для уменьшения электрического и магнитного влияния на внешнее пространство активно применяются экраны. В технике связи и радиотехнике экраны оцениваются через экранное затухание  $A_{\text{Э}}$ , характеризующее величину затухания, вносимого экраном. Для магнитного поля затухание экранирования определяется по формуле (2.25) (при  $n=1$ ):

$$A_{\text{Э}}^H = 20 \lg |ch \kappa_M \Delta| + 20 \lg \left| 1 + \frac{1}{2} \frac{Z_0}{Z_M} j \pi \kappa_D r_{\text{Э}} J_1(\kappa_D r_{\text{Э}}) H_1(\kappa_D r_{\text{Э}}) th \kappa_M \Delta \right| \quad (2.25)$$

Для электрического поля (2.26) (при  $n=1$ ):

$$A_{\text{Э}}^E = 20 \lg |ch \kappa_M \Delta| + 20 \lg \left| 1 + \frac{1}{2} \frac{Z_0}{Z_M} j \pi \kappa_D r_{\text{Э}} J_1'(\kappa_D r_{\text{Э}}) H_1'(\kappa_D r_{\text{Э}}) th \kappa_M \Delta \right|, \quad (2.26)$$

где  $\kappa_M = \sqrt{j\omega\mu\sigma}$  – коэффициент распространения в металле (коэффициент вихревых токов);  $\kappa_D = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$  – коэффициент распространения в диэлектрике;  $\Delta$  – толщина экрана;  $r_{\text{Э}}$  – радиус экрана;  $J_1$  и  $H_1$  – цилиндрические функции первого (Бесселя) и третьего (Хенкеля) родов;  $J_1'$  и  $H_1'$  – производные этих функций;  $Z_0 = \sqrt{\mu/\varepsilon}$  – волновое сопротивление диэлектрика плоской волны;  $Z_M = \sqrt{j\omega\mu/\sigma}$  – волновое сопротивление металла.

Экраны работают в трех режимах:

низкочастотная область – электромагнитостатический режим;

высокочастотная область – электромагнитный режим;

сверхвысокочастотная область – волновой режим.

Электростатическое и магнитостатическое экранирование имеют принципиальное различие. *Электромагнитное экранирование* состоит в замыкании электрического поля на поверхности металлической массы экрана и передачи электрических зарядов на землю или корпус прибора. *Магнитостатическое экранирование* основано на замыкании магнитного поля в толще экрана, происходящее вследствие его повышенной магнитопроводности.

В таблице 2.5 приведены результаты экранирующего действия оболочек из меди, стали, алюминия и свинца для различных типов волн.

Таблица 2.5

Экранирующее действие оболочек для различных типов волн

f, Гц	Медь						
	$A_{\Pi}$	$A_O^H$	$A_O^E$	$A_O^{EH}$	$A_{\mathcal{Z}}^H$	$A_{\mathcal{Z}}^E$	$A_{\mathcal{Z}}^{EH}$
$10^3$	0	1,56	255,4	119,9	1,56	255,4	119,9
$10^4$	0	7,9	234,6	119,9	7,9	234,6	119,9
$10^5$	0,17	26,7	213,6	119,9	26,9	213,8	120,1
$10^6$	6,5	41,2	187,6	114,7	47,7	194,1	121,2
$10^7$	35,2	50,4	156,4	104,2	85,6	191,6	139,4
$10^8$	125	59,9	127,7	93,8	184,9	252,7	218,8
$10^9$	404	71,2	106	83,4	475,2	510	487,4
f, Гц	Сталь ( $\mu=100$ )						
	$A_{\Pi}$	$A_O^H$	$A_O^E$	$A_O^{EH}$	$A_{\mathcal{Z}}^H$	$A_{\mathcal{Z}}^E$	$A_{\mathcal{Z}}^{EH}$
$10^3$	0	0	236,4	111,8	0	236,4	111,8
$10^4$	0,26	0	215,4	111,8	0,26	215,7	112,1
$10^5$	8,6	6,7	189,4	95,6	15,3	198	104,2
$10^6$	40,5	13,2	178	85,1	53,7	218,5	125,6
$10^7$	141,6	22	128,6	74,7	163,6	270,2	216,3
$10^8$	469	31,7	98,1	65,1	500,7	567,1	534,1
$10^9$	1459	42,6	68,6	54,7	1501,6	1527,5	1513,7
f, Гц	Алюминий						
	$A_{\Pi}$	$A_O^H$	$A_O^E$	$A_O^{EH}$	$A_{\mathcal{Z}}^H$	$A_{\mathcal{Z}}^E$	$A_{\mathcal{Z}}^{EH}$
$10^3$	0	0,9	249,2	115,5	0,9	249,2	115,5
$10^4$	0	4,4	229,4	115,5	4,4	229,4	115,5
$10^5$	0	24	208,4	115,5	24	208,4	115,5
$10^6$	3,5	41,8	189,4	114,7	45,3	192,8	118,0
$10^7$	26	47,2	153,8	100,8	73,1	179,8	126,8
$10^8$	94,7	58,2	175,1	91,2	152,9	219,8	185,9
$10^9$	312	68,6	95,6	81,6	380,6	407,6	393,6
f, Гц	Свинец						
	$A_{\Pi}$	$A_O^H$	$A_O^E$	$A_O^{EH}$	$A_{\mathcal{Z}}^H$	$A_{\mathcal{Z}}^E$	$A_{\mathcal{Z}}^{EH}$
$10^3$	0	1	232,8	99	0	232,8	99
$10^4$	0	1,7	212	98,1	1,7	212	98,1
$10^5$	0	6,1	192	98,1	6,1	192	98,1
$10^6$	0	25	172	98,1	25	172	98,1
$10^7$	5,0	40,5	147,7	93,8	45,5	152,7	98,8
$10^8$	30,9	50,4	116,4	83,4	147,3	114,3	114,3
$10^9$	109,8	59,9	86,5	73,0	169,7	196,3	182,8

Здесь  $A_{\Pi}$  – экранное затухание поглощения;  $A_O$  – экранное затухание отражения.

Значения волновых сопротивлений различных металлов приведены в таблице 2.6, а диэлектрика определяется по формулам (2.27) и (2.28).

Таблица 2.6  
Волновые сопротивления металлов



f, Гц	Волновое сопротивление (по модулю), Ом			
	Медь	Сталь	Алюминий	Свинец
10 <sup>3</sup>	0,0118x10 <sup>-3</sup>	0,3303x10 <sup>-3</sup>	0,0153x10 <sup>-3</sup>	0,0418x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>4</sup>	0,0372x10 <sup>-3</sup>	1,044x10 <sup>-3</sup>	0,0483x10 <sup>-3</sup>	0,1322x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>5</sup>	0,118x10 <sup>-3</sup>	3,303x10 <sup>-3</sup>	0,153x10 <sup>-3</sup>	0,418x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>6</sup>	0,372x10 <sup>-3</sup>	10,44x10 <sup>-3</sup>	0,483x10 <sup>-3</sup>	1,322x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>7</sup>	1,18x10 <sup>-3</sup>	33,03x10 <sup>-3</sup>	1,53x10 <sup>-3</sup>	4,18x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>8</sup>	3,72x10 <sup>-3</sup>	104,43x10 <sup>-3</sup>	4,826x10 <sup>-3</sup>	13,22x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>9</sup>	11,8x10 <sup>-3</sup>	330,3x10 <sup>-3</sup>	15,3x10 <sup>-3</sup>	41,8x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>10</sup>	37,2x10 <sup>-3</sup>	1044,3x10 <sup>-3</sup>	48,26x10 <sup>-3</sup>	132,2x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>11</sup>	118x10 <sup>-3</sup>	3303x10 <sup>-3</sup>	153x10 <sup>-3</sup>	418x10 <sup>-3</sup>
10 <sup>12</sup>	372x10 <sup>-3</sup>	10443x10 <sup>-3</sup>	482,6x10 <sup>-3</sup>	1322x10 <sup>-3</sup>
Рас- чет- ная фор- мула	0,372x10 <sup>-6</sup> √f	10,44x10 <sup>-6</sup> √f	0,483x10 <sup>-6</sup> √f	1,32x10 <sup>-6</sup> √f

$$Z_D^H = Z_0 j \kappa_D r_\varepsilon = \sqrt{\mu/\varepsilon} j \omega \sqrt{\mu \varepsilon r_\varepsilon} = j \omega \mu r_\varepsilon, \quad (2.27)$$

$$Z_D^E = Z_0 \frac{1}{j \kappa_D r_\varepsilon} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \frac{1}{j \omega \sqrt{\mu \varepsilon r_\varepsilon}} = \frac{1}{j \omega \mu r_\varepsilon} \quad (2.28)$$

Эффективность экранов, предусмотренных для защиты от внешних источников помех и от взаимных влияний между цепями, расположенными в общем кабеле, имеет существенные различия. При защите от внешних помех большое значение играют цепи оболочка-земля. Здесь велика роль составляющих продольных токов, и необходимо учитывать действие как вихревых ( $A_\varepsilon$ ), так и продольных ( $A_{\text{ПР}}$ ) токов. Для цепей, расположенных в общем кабеле, преобладает эффект вихревых токов, и в первом приближении он определяет защитное действие экрана. Результирующее экранное затухание  $A_{\varepsilon, \text{РЕЗ}}$  определяется экранированием от вихревых ( $A_\varepsilon$ ) и продольных ( $A_{\text{ПР}}$ ) токов, протекающих в оболочке кабеля. Формулы для расчета  $A_\varepsilon$  (2.25) и (2.26). Величина  $A_{\text{ПР}}$  рассчитывается по формуле (2.29), дБ:

$$A_{\text{ПР}} = 20 \lg \left| 1 + \frac{j \omega L_{\text{ВШ}}}{Z_{\text{ОБ}}} \right|, \quad (2.29)$$

где  $L_{\text{ВШ}}$  – внешняя индуктивность цепи оболочка-земля, равная  $2 \times 10^{-6}$  Гн/м;  
 $Z_{\text{ОБ}} = \frac{Z_M}{2\pi r} \frac{1}{thk\Delta}$  – сопротивление оболочки, Ом/м, где  $Z_M = \sqrt{j \omega \mu / \sigma}$ ;  $r$  – радиус оболочки;  $k = \sqrt{j \omega \mu \sigma}$ ;  $\Delta$  – толщина оболочки.

Для низких частот сопротивление оболочки равно сопротивлению постоянного тока  $Z_{об} = R_o = 1/2\pi r \sigma \Delta$ . Эта формула справедлива для немагнитных экранов до 10 кГц, для магнитных – до 1 кГц.

## 2.8. Защита сооружений связи от коррозии

Произвести анализ факторов, вызывающих коррозию проектируемой системы связи. Сделать обоснованный выбор методов и средств защиты систем связи от коррозии, приведя соответствующие расчеты или примеры. Основные виды коррозии подразделяются по типам и видам.

**По типам** коррозия подразделяется следующим образом.

*Электрическая коррозия* – взаимодействие металла с коррозионной средой, при котором ионизация атомов металла и восстановление окислительной компоненты коррозионной среды протекает не в одном акте, и их скорости зависят от электродного потенциала.

*Химическая коррозия* – взаимодействие металла с коррозионной средой, при которой окисление металла и восстановление окислительного компонента коррозионной среды протекает в одном акте.

### **Виды коррозии.**

В зависимости от степени разрушения различают следующие виды: сплошная – охватывающая всю поверхность и протекающая с одинаковой скоростью по всей поверхности металла;

неравномерная – сплошная коррозия, протекающая с неодинаковой скоростью на различных участках поверхности металла;

местная коррозия, охватывающая отдельные участки поверхности металла.

*Газовая коррозия* по типу относится к химической коррозии и происходит при отсутствии конденсации влаги на поверхности. Этот вид встречается на кабельных линиях при повышенных температурах в окружающей среде.

*Атмосферная коррозия* – происходит в металлических конструкциях, эксплуатируемых в атмосфере. Этот вид коррозии относится к электрохимической.

*Подземная коррозия* вызывается химическим или электрохимическим действием окружающей среды в почвах и грунтах. Эта коррозия **опаснейшая** для кабелей, имеющих свинцовую или алюминиевую оболочку и стальную броню, а также для фундаментов опор линий электропередач.

*Подводная коррозия* в морской воде определяется значительным содержанием в ней минеральных солей (0,2 - 3,5 %).

*Биокоррозия* происходит под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов, выделяющих вещества, которые ускоряют процесс коррозии. Она

встречается на поверхности кабелей, а также на фундаментах опор ВЛ, трасы которых проходят по болотам и грунтам, где затруднен доступ воздуха.

*Контактная коррозия* – разновидность электрохимической коррозии. Этот вид коррозии вызывается контактом металлов, имеющих разные стационарные потенциалы в данном электролите.

*Межкристаллическая коррозия* – распространяющаяся по границам кристаллов металла.

*Избирательная коррозия* – разрушающая одну структурную составляющую или один компонент сплава.

*Точечная коррозия* – местная коррозия в виде отдельных точечных поражений, иногда еле заметна на глаз, но проникает глубоко в металл.

*Коррозия блуждающим током* – электрохимическая коррозия металла, вызываемая воздействием на кабель блуждающих токов от некоторых внешних электрических установок. Источником блуждающих токов и коррозии является рельсовая сеть электрифицированного транспорта или распределительная сеть постоянного тока с частичным или полным возвратом рабочего тока через землю.

Определение скорости коррозии металлов (проникновение коррозии за год в глубину металла) рассчитывается по формуле (2.30) с учетом данных потери массы после удаления продуктов коррозии:

$$P = (K/\delta) \cdot 10^{-3}, \quad (2.30)$$

где  $K$  – потеря массы, г/(м<sup>2</sup>\*год);  $\delta$  – плотность металла, г/см<sup>3</sup>,  $P$  – скорость коррозии металлов, мм/год.

К оболочкам электрических кабелей предъявляются требования – их герметичность для защиты кабеля от воздействия внешней среды. Защитная оболочка кабеля сама подвергается внешним воздействиям, поэтому металл защитной оболочки должен быть пассивен в агрессивной среде.

### **2.8.1. Коррозионная характеристика грунтов**

Линии передач, находящиеся в различных грунтах, подвергаются различным видам коррозии. Степень агрессивности грунтов характеризуется индексом рН. В таблице 2.7 и 2.9 приведены данные коррозионной активности грунтов, грунтовых и других вод по отношению к свинцовой оболочке кабеля, в табл. 2.8 и табл. 2.10 - по отношению к алюминиевой оболочке кабеля (ГОСТ 9.015-74 “Единая система защиты от коррозии и старения. Подземные сооружения. Общие технические требования”).

Таблица 2.7

Коррозионная активность грунтов по отношению к свинцовой оболочке кабеля

Грунты	рН	Содержание компонента от массы воздушно-сухой пробы, %		Коррозионная активность
		органические вещества	нитрат-ион	
Песчаные, песчано-глинистые	6,5-7,5	До 0,01	До 0,0001	Низкая
Глинистые, солончаковые, известковые, слабочерноземные	5,0-6,4 7,6-9,0	0,01-0,02	0,0001-0,001	Средняя
Сильночерноземные, торфяные, грунты, засоренные посторонними веществами	До 5 Свыше 9	Свыше 0,02	Свыше 0,001	Высокая

Таблица 2.8

Коррозионная активность грунтов по отношению к алюминиевой оболочке кабеля

Грунты	рН	Содержание компонента от массы воздушно-сухой пробы, %		Коррозионная активность
		органические вещества	Нитрат-ион	
Все включая засоренные посторонними веществами	6,5-7,5	До 0,001	До 0,002	Низкая
	4,5-5,9	0,001-0,005	0,002-0,010	Средняя
	До 4,5 Свыше 9	Свыше 0,005	Свыше 0,010	Высокая

Таблица 2.9

Коррозионная активность грунтовых и других вод по отношению к свинцовой оболочке кабеля

Воды	рН	Общая жесткость мл-экв/л	Содержание компонента, мл/л		Коррозионная активность
			Органические вещества	нитрат-ион	
Речные, озерные	6,5-7,5	Свыше 5,3	До 20	До 10	Низкая
Грунтовые, речные	5,0-6,4 7,6-9,0	5,3-3	20-40	10-20	Средняя

Речные, болотные	До 5 Свыше 9	До 3	Свыше 40	Свыше 20	Высокая
------------------	-----------------	------	----------	----------	---------

Таблица 2.10

**Коррозионная активность грунтовых и других вод  
по отношению к алюминиевой оболочке кабеля**

Воды	рН	Содержание компонента, мл/л		Коррозионная активность
		хлор-ион	ион железе	
Грунтовых, речных, озерных и других водоемов	6,0-7,5	До 5	До 1	Низкая
	4,5-5,9	5-50	1-10	Средняя
	7,6-8,5 До 4,5 свыше 8,5	Свыше 50	Свыше 10	Высокая

### 2.8.2. Электрическая защита кабелей от коррозии

Электрическая коррозия – это электрохимическое разрушение металлов, уложенных в земле, вызванное одновременным воздействием блуждающих токов и окружающего грунта. При электрической коррозии повреждения концентрируются на небольшой части поверхности металла, носят ярко выраженный характер и имеют круглую или продолговатую форму с крутыми стенками. Значение электрокоррозии зависит от коэффициента несимметричности блуждающих токов:

$$\gamma = \frac{Q_+}{Q_+ + Q_-}, \quad (2.31)$$

где  $Q_+$  – количество электричества в анодных импульсах за время измерения;  $Q_-$  – количество электричества в катодных импульсах за время измерения.

Оценка степени опасности в знакопеременных зонах в зависимости от коэффициента несимметричности блуждающих токов в таблице 2.11.

Таблица 2.11

**Оценка степени коррозионной опасности**

Коэффициента несимметричности блуждающих токов	Степень опасности электрокоррозии и рекомендации по защите
До 0,3	Безопасная зона
0,3-0,6	Сравнительно опасная зона. Катодная поляризация осу-

	ществуется во вторую очередь после защиты в устойчивых анодных зонах
Свыше 0,6	Опасная зона. Катодная поляризация осуществляется наравне с защитой в устойчивых анодных зонах

Все виды электрохимической коррозии имеют место при положительном (анодном) потенциале на сооружении. Поэтому принцип электрической защиты заключается в том, чтобы защитное сооружение на всем его протяжении имело по отношению к земле (к окружающей по электрической среде) отрицательный катодный потенциал. Катодная поляризация осуществляется с нормируемыми значениями (ГОСТ 9.015-74) минимальных и максимальных защитных потенциалов (табл. 2.12 и табл. 2.13). На практике методы электрической защиты (электрический дренаж, внешние источники тока или катодная защита, анодные гальванические электроды или протекторная защита) позволяют предохранять от блуждающих токов и одновременно от почвенной электрохимической коррозии (подробнее см. [6]).

Таблица 2.12

Минимальные значения защитных потенциалов

Металл сооружения	Значения минимальных защитных потенциалов по отношению к неполяризующим электродам, В		Среда
	водородному	медно-сульфатному	
Сталь	-0,55	-0,85	Любая
Свинец	-0,20	-0,50	Кислотная
Свинец	-0,42	-0,72	Щелочная
Алюминий	-0,55	-0,85	Любая

Таблица 2.13

Максимальные значения защитных потенциалов

Металл сооружения	Противокоррозионное покрытие	Значения минимальных защитных потенциалов по отношению к неполяризующим электродам, В		Среда
		водородному	медно-сульфатному	
Сталь	С противокоррозионным покрытием	-0,8	-1,10	Любая
	Без противокоррозионного покрытия	Не ограничивается	Не ограничивается	
Свинец	С противокоррозионным покрытием и без него	-0,8	-1,10	Кислотная
		-1,0	-1,30	Щелочная
Алюминий		-1,08	-1,38	Любая

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ Кафедра РАДИОТЕХНИКА

Задание на курсовую работу по дисциплине “Линии связи”

Студенту \_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_

Тема 001 Оптическая магистральная сеть.

Протяженность сети

$R_{\max} = 1250$  км

Параметры сети:

- тип кабеля – оптический
- число каналов – 200 шт.
- состояние грунта трассы – кислотный
- путь трассы – равнина, лес, река, равнина
- коррозия – блуждающие токи.

Помехозащищенность от ЛЭП, вещательных радиостанций, электрифицированного железнодорожного транспорта

#### ОСНОВНАЯ РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи. – М.: Радио и связь., 1988. – 544 с.
2. Ионов А.Д., Попов Б.В. Линии связи. – М.: Радио и связь., 1990. – 167 с.

#### Объем работы:

1. Обзор линий связи данного типа.
2. Выбор и расчет технических параметров кабеля: погонные проводимость, сопротивление, индуктивность, емкость, затухание, коэффициент распространения.
3. Расчет и учет взаимных влияний в линии связи и меры по их устранению.
4. Меры защиты и их расчет от внешних воздействий и коррозии.
5. Графическая часть: Схема трассы- 1 л., формат А4.  
Диаграммы или другой иллюстрационный материал – 1 л., формат А4.

Дата выдачи задания \_\_\_\_\_

Срок выполнения \_\_\_\_\_

Руководитель работы \_\_\_\_\_

(Фамилия И.О.)

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

(Фамилия И.О.)

Проект защищен с оценкой \_\_\_\_\_ дата \_\_\_\_\_

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 544 с.
2. Ионов А.Д., Попов Б.В. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1990. 167 с.
3. ГОСТ 2.105-95. Общие требования к текстовым документам. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 21 с.
4. ГОСТ 2.106-96. Текстовые документы. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 21 с.
5. Справочник строителя кабельных сооружений связи. – М.: Связь, 1977. – 672 с.
6. Анастишев П.И., Коляда А.В., Проектор Е.Г. Защита линий электропередачи от коррозии и загрязнения атмосферы. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 167 с.
7. Венс Э.Ф. Влияние электромагнитных полей на экранированные кабели. – М.: Радио и связь, 1982. – 182 с.
8. Гершман Б.Н., Стукалин Ю.А. Электроизмерения междугородних кабелей связи. – М.: Радио и связь, 1984. – 169 с.
9. Гроднев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот. – М.: Связь, 1972. – 111 с.
10. Защита кабельных и воздушных линий электропередачи от коррозии. /Проектор Е.Г. и др – М.: Энергия, 1974. - 159 с.
11. Укстин Э.Ф., Хузякова В.А. Измерение характеристик кабелей электросвязи. – М.: Энергия, 1967. – 248 с.
12. Шварцман В.О. Взаимные влияния в кабелях связи. – М.: Связь, 1966. - 431 с.
13. РД 40.РСФСР=050-87. Проекты (работы) дипломные и курсовые. Правила оформления. – М.: МВиССО РСФСР, 1988.
14. Гальперович Д.Я. и др. Радиочастотные кабели / Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
15. Гроднев И.И. Кабели связи. – М.: Энергия, 1976. 270 с.

### Линии связи

Методические указания по курсовой работе  
для студентов направления 550400 «Телекоммуникации»  
Составитель ДМИТРИЕНКО Герман Вячеславович

Редактор Н.А. Евдокимова

Подписано в печать 11.12.00. Формат 60x84 1/16. Бумага оберт. Печать трафаретная. Усл.печ.л. 1,40. Уч-изд.л. 1,20. Тираж 100 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет,  
432027, Ульяновск, Северный Венец, 32

Типография УлГТУ, 432027, Ульяновск, Северный Венец, 32