

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,  
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

Д.Е. ПРАПОРЩИКОВ, Т.Г. НИКУЛИНА

**РАСЧЕТ ВНЕШНИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ  
ВЛИЯНИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ СВЯЗИ**

Методические указания по выполнению практической работы по  
дисциплине «Направляющие системы связи»

Самара  
2021

УДК 621.395.73  
ББК 32.889  
П69

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,  
протокол № 54 от 11.05.2021 г.

**Прапорщиков, Д.Е.**

**П69 Расчет внешних электромагнитных влияний на электрический кабель связи:** Методические указания по выполнению практической работы по дисциплине «Направляющие системы связи» / Д.Е. Прапорщиков, Т.Г. Никулина – Самара: ПГУТИ, 2021. – 44 с.

В учебно-методической разработке приводятся основы теории внешних электромагнитных влияний на электрический кабель связи. В результате выполнения практической работы студенты рассчитывают влияние линии электропередачи на проложенный вблизи кабель связи, а также оценивают грозостойкость этого кабеля. По результатам расчета даются рекомендации по защите кабеля связи от вышеперечисленных влияний.

Практическая работа предназначена для студентов заочного отделения, обучающихся с применением дистанционных образовательных технологий, по направлению подготовки 11.03.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи, уровень бакалавриата.

©, Прапорщиков Д.Е., 2021  
©, Никулина Т.Г., 2021

## **Цель работы**

Закрепление и углубление знаний, полученных студентами при изучении направляющих систем электросвязи; исследование влияния линии электропередачи (ЛЭП) и молнии на электрический кабель связи (ЭКС), а также мер защиты ЭКС от перечисленных внешних влияний.

## **Литература**

1. Андреев, В.А. Направляющие системы электросвязи [Электронный ресурс]: учебник для вузов, Т. 1. Теория передачи и влияния / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский; под ред. В.А. Андреева; ПГУТИ – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 8,23 Мб). – Самара: ПГУТИ, 2017 ([http://elib.psuti.local/Andreev\\_Portnov\\_Kochanovskiy\\_Napravlyayuywie\\_sistemy\\_elektrosvyazi\\_T1\\_Teoriya\\_peredachi\\_i\\_vliyaniya.pdf](http://elib.psuti.local/Andreev_Portnov_Kochanovskiy_Napravlyayuywie_sistemy_elektrosvyazi_T1_Teoriya_peredachi_i_vliyaniya.pdf)).

2. Направляющие системы электросвязи [Электронный ресурс]: учебник для вузов, Т. 2. Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / В.А. Андреев [и др.]; под ред. В.А. Андреева; ПГУТИ – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 3,61 Мб). – Самара: ПГУТИ, 2017 ([http://elib.psuti.local/andreev\\_burdin\\_portnov\\_kochanovskiy\\_popov\\_napravlyayuywie\\_sistemy\\_elektrosvyazi\\_t2\\_proektirovanie\\_stroitelstvo\\_i\\_tekhnicheskaya\\_ekspluatatsiya.pdf](http://elib.psuti.local/andreev_burdin_portnov_kochanovskiy_popov_napravlyayuywie_sistemy_elektrosvyazi_t2_proektirovanie_stroitelstvo_i_tekhnicheskaya_ekspluatatsiya.pdf)).

3. Андреев, В.А. Направляющие системы электросвязи [Текст]: учебник для вузов: в 2 т. / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия - Телеком, 2009 – Т. 1: Теория передачи и влияния. – 424 с.

4. Направляющие системы электросвязи [Текст]: учебник для вузов: в 2 т. / А.В. Бурдин [и др.]; ред. В.А. Андреев. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия - Телеком, 2010 – Т. 2: Проектирование, строительство и техническая эксплуатация. – 424 с.

5. Нефедов, Е.И. Техническая электродинамика [Текст]: учебное пособие для вузов / Е.И. Нефедов. – М.: Академия, 2008. – 416 с.

6. Строительство кабельных сооружений связи: справочник [Текст] / Д. А. Барон [и др.]. – Москва: Радио и связь, 1988. – 768 с.

## **Содержание работы**

1. Изучение основ теории внешних влияний.
2. Прохождение входного тестирования для контроля остаточных знаний.

3. Выбор исходных данных для проведения исследования.
4. Исследование внешнего электромагнитного влияния ЛЭП на ЭКС.
5. Исследование внешнего электромагнитного влияния молнии на ЭКС.
6. Формулировка выводов по полученным результатам.
7. Подготовка письменного отчета.

## Порядок выполнения работы

### 1. Изучение основ теории внешних влияний

Пользуясь Приложением данной учебно-методической разработки, изучить основные аспекты теории внешних электромагнитных влияний:

- источники внешних электромагнитных влияний;
- отличие опасных влияний от мешающих;
- наиболее распространенные методы защиты от опасных и мешающих влияний на ЭКС.

### 2. Прохождение входного тестирования для контроля остаточных знаний

2.1. Скачать архив с программным обеспечением для выполнения практической работы и распаковать его в любом удобном месте.

2.2. Запустить файл приложения SETUP1 (рис. 1). Данное приложение устанавливает необходимые файлы динамических библиотек, которые, возможно, отсутствуют на рабочем месте. Если установка заканчивается ошибкой, то данный шаг следует пропустить.

ASYCFILT.DLL	15.12.1999 13:06	Расширение при...	145 КБ
COMCAT.DLL	31.05.1998 1:00	Расширение при...	22 КБ
comct232.ocx	24.06.1998 1:00	Элемент ActiveX	161 КБ
comctl32.ocx	22.05.2000 2:00	Элемент ActiveX	595 КБ
LB12.exe	25.06.2001 12:14	Приложение	120 КБ
MSCOMCTL.OCX	22.05.2000 2:00	Элемент ActiveX	1 042 КБ
MSMASK32.OCX	22.05.2000 2:00	Элемент ActiveX	163 КБ
MSSTDFMT.DLL	14.03.2000 1:00	Расширение при...	116 КБ
MSVBVM60.DLL	27.05.2000 2:00	Расширение при...	1 356 КБ
OLEAUT32.DLL	15.12.1999 13:06	Расширение при...	585 КБ
OLEPRO32.DLL	15.12.1999 13:06	Расширение при...	161 КБ
SETUP1.EXE	20.06.1998 1:00	Приложение	280 КБ
ST6UNST.EXE	18.06.1998 1:00	Приложение	72 КБ
STDOLE2.TLB	15.12.1999 13:06	Файл "TLB"	18 КБ
TABCTL32.OCX	22.05.2000 2:00	Элемент ActiveX	205 КБ
VB6STKIT.DLL	26.03.1999 1:00	Расширение при...	100 КБ

Рисунок 1. Установка динамических библиотек

2.3. Запустить файл приложения LB12. В открывшемся окне нажать на кнопку «Вперед» (рис. 2).

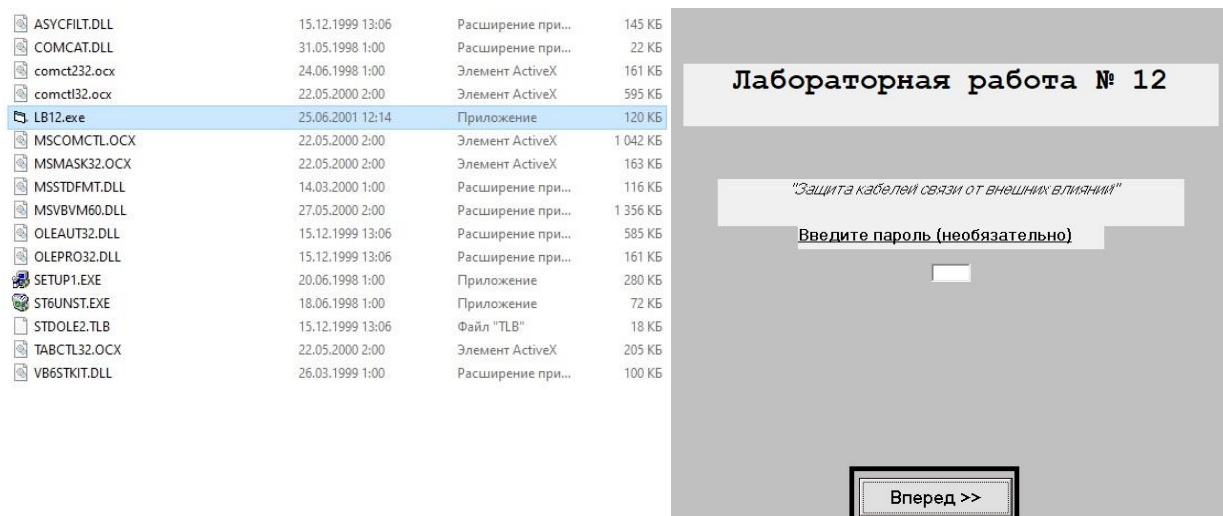


Рисунок 2. Запуск приложения практической работы

2.4. Пройти тест, состоящий из пяти вопросов (рис. 3). Прокликивание вопросов осуществляется с помощью кнопок со стрелками, находящихся в правой части окна. В каждом вопросе предполагается от одного до нескольких вариантов ответа. Тест считается пройденным при ста процентах правильных ответов. Количество попыток прохождения теста не ограничено.

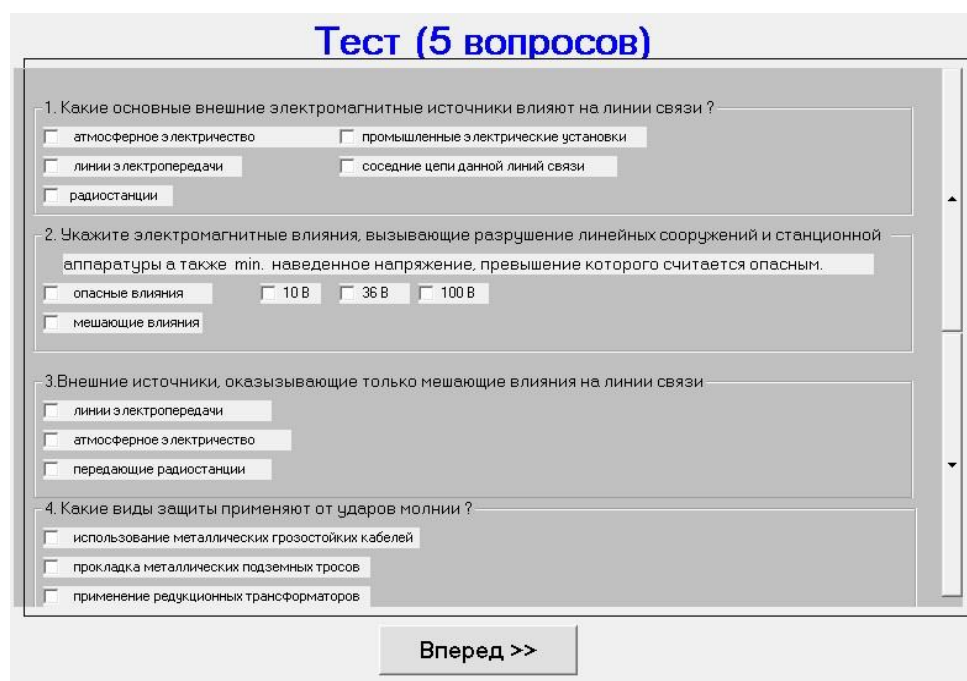


Рисунок 3. Входное тестирование

### 3. Выбор исходных данных для проведения исследования

Исходные данные определяются суммой двух последних цифр номера зачетной книжки студента согласно таблице 1, в которой задаются маркировки двух ЭКС, для которых требуется провести исследование внешних электромагнитных влияний ЛЭП и молнии, а также их конструктивные и электрические характеристики.

Таблица 1. Исходные данные для исследования

Сумма двух последних цифр номера зачетной книжки	Маркировка первого кабеля	Маркировка второго кабеля
0	МКСБ-1х4	МКСБ-4х4
1	МКСК-4х4	МКСК-7х4
2	МКТП-4	МКТПСБ-4
3	МКСАБп-4х4	МКСБ-7х4
4	МКСАШп-1х4	МКСАШ-7х4
5	МКСАШп-4х4	ВКПП-2,1/9,4
6	МКСАБпШп-4х4	МКСАБп-4х4
7	МКССШп-4х4	МКСАБ-4х4
8	МКСАБп-1х4	МКТП-4
9	МКТПСБ-4	МКСБ-1х4
10	МКСАШп-1х4	МКТП-4
11	ВКПП-2,1/9,4	МКСАБп-1х4
12	МКСБ-4х4	МКСК-7х4
13	МКСБ-7х4	МКСАШп-4х4
14	МКСАБпШп-4х4	МКСК-4х4
15	МКТП-4	МКСБ-1х4
16	МКСК-7х4	ВКПП-2,1/9,4
17	МКСБ-7х4	МКСБ-4х4
18	МКСАШп-4х4	МКСК-4х4

### 4. Исследование внешнего электромагнитного влияния ЛЭП на ЭКС

4.1. Нажать вкладку «Исследование опасного влияния ЛЭП на электрический кабель связи» в открывшемся после прохождения теста окне (шаг 1, рис.4), выбрать марку кабеля согласно варианту и записать его характеристики в письменный отчет (шаг 2, рис. 4). Далее нажать на кнопку «Вперед» (шаг 3, рис. 4).

4.2. Исследование влияния удельного сопротивления грунта на значение продольной ЭДС, наведенной в оболочке кабеля.

4.2.1. Ввести значение ширины участка сближения  $a=5$  км, значение длины участка сближения  $l=1$  км и значение тока короткого замыкания ЛЭП  $I_{кз}=2$  кА (шаг 1, рис. 5).

4.2.2. Для получения требуемой зависимости поочередно ввести значения удельного сопротивления грунта  $\rho$  из таблицы 2. При вводе следующего значения параметра предыдущее значение следует удалить (шаг 2, рис. 5).

4.2.3. Для каждого введенного значения  $\rho$  нажать на кнопку «Расчет» и записать расчетные значения продольной ЭДС  $E$ . В случае превышения допустимой ЭДС также записать характеристики применяемых тросов и наведенные ЭДС ( $E_1$  и  $E_2$ ), полученные при их использовании (шаг 3, рис. 5). Полученные данные занести в таблицу 2.

4.2.4. Повторить пункты 4.2.1 – 4.2.3 для второй марки кабеля согласно варианту.

Тип кабеля	Сопротивление металлических покровов, R, Ом/км	Максимально допустимое импульсное напряжение Uдоп_макс, В	КЗД (f=50 Гц) металлических покровов, Sob
МКСБ 1x4	5,23	3800	0,7
МКСАШп 1x4	0,806	3500	0,73
МКСАБп 1x4	0,722	3500	0,21
МКСБ 4x4	2,1	3800	0,44
МКСАШп 4x4	0,476	3500	0,56
МКСАБп 4x4	0,36	3500	0,11
МКСАБпШп 4x4	0,36	3500	0,15
МКСАБ 4x4	0,36	3500	0,13
МКССШп 4x4	2,6	3800	0,37
МКСК 4x4	1,9	3800	0,35
МКСБ 7x4	1,65	3800	0,37
МКСАШ 7x4	1,65	3500	0,6
МКСК 7x4	1,5	3800	0,3
ВКПП 2,1/3,4	1,8	3600	0,65
МКТП -- 4	1,47	3400	0,55
МКТПСБ -- 4	1,38	3400	0,53

Рисунок 4. Выбор маркировки кабеля для исследования влияния ЛЭП

Рисунок 5. Исследование влияние удельного сопротивления грунта на значение продольной ЭДС, наведенной в оболочке кабеля

Таблица 2. Зависимость наведенной ЭДС от удельного сопротивления грунта

Марка исследуемого кабеля						
Ширина участка сближения $a$ , км	5					
Длина участка сближения $l$ , км	1					
Ток короткого замыкания ЛЭП $I_{кз}$ , кА	2					
Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом*м	20	50	100	500	1000	3000
Наведенная продольная ЭДС $E$ , В						
Параметры первого троса						
Наведенная продольная ЭДС $E_1$ , В						
Параметры второго троса						
Наведенная продольная ЭДС $E_2$ , В						

4.2.5. Построить график зависимости наведенной ЭДС от удельного сопротивления грунта  $E(\rho)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике.

4.3. Исследование влияния ширины участка сближения линии связи с ЛЭП на значение продольной ЭДС, наведенной в оболочке кабеля.

4.3.1. Ввести значение удельного сопротивления грунта  $\rho=50$  Ом\*м, значение длины участка сближения  $l=1$  км и значение тока короткого замыкания ЛЭП  $I_{кз}=2$  кА (шаг 1, рис. 6).

4.3.2. Для получения требуемой зависимости поочередно ввести значения ширины участка сближения  $a$  из таблицы 3. При вводе следующего значения параметра предыдущее значение следует удалить (шаг 2, рис. 6).

4.3.3. Для каждого введенного значения  $a$  нажать на кнопку «Расчет» и записать расчетные значения продольной ЭДС  $E$ . В случае превышения допустимой ЭДС также записать характеристики применяемых тросов и наведенные ЭДС ( $E_1$  и  $E_2$ ), полученные при их использовании (шаг 3, рис. 6). Полученные данные занести в таблицу 3.



Исследование опасного влияния ЛЭП на электрический кабель связи

Исследование грозостойкости электрического кабеля связи

2. Введите свои данные

Расчет производится для частоты  $f=50$  Гц

1. Введите значение удельного сопротивления грунта в Ом\*м (от 10 до 10000 Ом\*м)

50

2. Введите эквивалентную ширину участка сближения в км (в пределах 0.01-5 км)

1

3. Введите длину участка сближения L в км (в пределах 0.5 - 5 км)

1

4. Введите I<sub>кз</sub> - ток короткого замыкания ЛЭП в кА (в пределах 1 - 10 кА)

2

При заданных параметрах значение продольной ЭДС, наведенной в жилах составляет 2067 В, что соответствует норме для данного типа кабеля U<sub>доп</sub> = 3800 В

3

Расчет опасного влияния ЛЭП выполнен

<< Назад

Расчет >>

Рисунок 6. Исследование влияние ширины участка сближения линии связи с ЛЭП на значение продольной ЭДС, наведенной в оболочке кабеля

Таблица 3. Зависимость наведенной ЭДС от ширины участка сближения линии связи с ЛЭП

Марка исследуемого кабеля					
Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом*м	50				
Длина участка сближения $l$ , км	1				
Ток короткого замыкания ЛЭП $I_{кз}$ , кА	2				
Ширина участка сближения $a$ , км	1	2	3	4	5
Наведенная продольная ЭДС $E$ , В					
Параметры первого троса					
Наведенная продольная ЭДС $E_1$ , В					
Параметры второго троса					
Наведенная продольная ЭДС $E_2$ , В					

4.3.4. Повторить пункты 4.3.1 – 4.3.3 для второй марки кабеля согласно варианту.

4.3.5. Построить график зависимости наведенной ЭДС от ширины участка сближения линии связи с ЛЭП  $E(a)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике.

4.4. Исследование влияния длины участка сближения линии связи с ЛЭП на значение продольной ЭДС, наведенной в оболочке кабеля.

4.4.1. Ввести значение удельного сопротивления грунта  $\rho=50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , значение ширины участка сближения  $a=1 \text{ км}$  и значение тока короткого замыкания ЛЭП  $I_{\text{кз}}=2 \text{ кА}$  (шаг 1, рис. 7).

4.4.2. Для получения требуемой зависимости поочередно ввести значения длины участка сближения  $l$  из таблицы 4. При вводе следующего значения параметра предыдущее значение следует удалить (шаг 2, рис. 7).

4.4.3. Для каждого введенного значения  $l$  нажать на кнопку «Расчет» и записать расчетные значения продольной ЭДС  $E$ . В случае превышения допустимой ЭДС также записать характеристики применяемых тросов и наведенные ЭДС ( $E_1$  и  $E_2$ ), полученные при их использовании (шаг 3, рис. 7). Полученные данные занести в таблицу 4.

Рисунок 7. Исследование влияние длины участка сближения линии связи с ЛЭП на значение продольной ЭДС, наведенной в оболочке кабеля

4.4.4. Повторить пункты 4.4.1 – 4.4.3 для второй марки кабеля согласно варианту.

4.4.5. Построить график зависимости наведенной ЭДС от длины участка сближения линии связи с ЛЭП  $E(l)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике.

Таблица 4. Зависимость наведенной ЭДС от длины участка сближения линии связи с ЛЭП

Марка исследуемого кабеля					
Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом*м	50				
Ширина участка сближения $a$ , км	1				
Ток короткого замыкания ЛЭП $I_{кз}$ , кА	2				
Длина участка сближения $l$ , км	1	2	3	4	5
Наведенная продольная ЭДС $E$ , В					
Параметры первого троса					
Наведенная продольная ЭДС $E_1$ , В					
Параметры второго троса					
Наведенная продольная ЭДС $E_2$ , В					

4.5. Исследование влияния тока короткого замыкания ЛЭП на значение продольной ЭДС, наведенной в оболочке кабеля.

4.5.1. Ввести значение удельного сопротивления грунта  $\rho=50$  Ом\*м, значение ширины участка сближения  $a=1$  км и значение длины участка сближения  $l=1$  км (шаг 1, рис. 8).

4.5.2. Для получения требуемой зависимости поочередно ввести значения тока короткого замыкания ЛЭП  $I_{кз}$  из таблицы 5. При вводе следующего значения параметра предыдущее значение следует удалить (шаг 2, рис. 8).

4.5.3. Для каждого введенного значения  $I_{кз}$  нажать на кнопку «Расчет» и записать расчетные значения продольной ЭДС  $E$ . В случае превышения допустимой ЭДС также записать характеристики применяемых тросов и наведенные ЭДС ( $E_1$  и  $E_2$ ), полученные при их использовании (шаг 3, рис. 8). Полученные данные занести в таблицу 5.

Исследование опасного влияния ЛЭП на электрический кабель связи

Исследование гроустойкости электрического кабеля связи

2. Введите свои данные

Рассчет производится для частоты  $f=50$  Гц

1. Введите значение удельного сопротивления грунта в Ом\*м (от 10 до 10000 Ом\*м)

50

2. Введите эквивалентную ширину участка сближения в км (в пределах 0.01 - 5 км)

1

1

3. Введите длину участка сближения L в км (в пределах 0.5 - 5 км)

1

4. Введите I кз - ток короткого замыкания ЛЭП в кА (в пределах 1 - 10 кА)

4

2

При заданных параметрах значение продольной ЭДС, наведенной в жилах составляет 4134, В.

Условие  $U_{доп} > E$  не выполняется, необходимо рассчитать меры защиты кабеля.

В качестве устройства защиты применим стальные тросы, подвешенные на опорах ЛЭП.

Используются тросы сечением: 1) 120 кв. мм (Стр=0.85); 2) 70 кв.мм (Стр=0.9)

При использовании 1- го троса значение наведенной ЭДС составляет  $E = 3514$ , В.

При использовании 2- го троса значение наведенной ЭДС составляет  $E = 3720.82$ , В.

Вывод: используем стальной трос сечением 70 кв.мм

Исследование опасного влияния ЛЭП на электрический кабель связи выполнено

<< Назад

Расчет >>

Рисунок 8. Исследование влияние тока короткого замыкания ЛЭП на значение продольной ЭДС, наведенной в оболочке кабеля

Таблица 5. Зависимость наведенной ЭДС от тока короткого замыкания ЛЭП

Марка исследуемого кабеля					
Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом*м	50				
Ширина участка сближения $a$ , км	1				
Длина участка сближения $l$ , км	1				
Ток короткого замыкания ЛЭП $I_{кз}$ , кА	2	4	6	8	10
Наведенная продольная ЭДС $E$ , В					
Параметры первого троса					
Наведенная продольная ЭДС $E_1$ , В					
Параметры второго троса					
Наведенная продольная ЭДС $E_2$ , В					

4.5.4. Повторить пункты 4.5.1 – 4.5.3 для второй марки кабеля согласно варианту.

4.5.5. Построить график зависимости наведенной ЭДС от тока короткого замыкания ЛЭП  $E(I_{\text{кз}})$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике.

## 5. Исследование внешнего электромагнитного влияния молнии на ЭКС

5.1. Нажать вкладку «Исследование грозостойкости электрического кабеля связи» (шаг 1, рис. 9), выбрать марку кабеля согласно варианту и записать его характеристики в письменный отчет (шаг 2, рис. 9). Далее нажать на кнопку «Вперед» (шаг 3, рис. 9).

Исследование опасного влияния ЛЭП на электрический кабель связи
Исследование грозостойкости электрического кабеля связи

1. Выберите тип кабеля
1

Тип кабеля	Сопротивление металлических покровов, $R$ , Ом/км	Максимально допустимое импульсное напряжение $U_{\text{доп\_макс}}$ , В	Внешний диаметр кабеля по металлическим покровам, мм
<input checked="" type="radio"/> МКСБ 1х4	5,23	3800	23,7
<input type="radio"/> МКСАШп 1х4	0,806	3500	32,7
<input type="radio"/> МКСАБп 1х4	0,722	3500	40
<input type="radio"/> МКСБ 4х4	2,1	3800	28,3
<input type="radio"/> МКСАШп 4х4	0,476	3500	19,5
<input type="radio"/> МКСАБп 4х4	0,36	3500	21,2
<input type="radio"/> МКСАБпШп 4х4	0,36	3500	21,6
<input type="radio"/> МКСАБ 4х4	0,36	3500	24,7
<input type="radio"/> МКСШп 4х4	2,6	3800	20,3
<input type="radio"/> МКСК 4х4	1,9	3800	35,6
<input type="radio"/> МКСБ 7х4	1,65	3800	19,2
<input type="radio"/> МКСАШ 7х4	1,65	3500	11
<input type="radio"/> МКСК 7х4	1,5	3800	12,6
<input type="radio"/> ВКПП 2,1/9,4	1,8	3600	16,2
<input type="radio"/> МКТП -- 4	1,47	3400	24
<input type="radio"/> МКТПСБ -- 4	1,38	3400	26,8

<< Назад
Вперед >>
3

Рисунок 9. Выбор маркировки кабеля для исследования грозостойкости

5.2. Исследование влияния удельного сопротивления грунта на грозостойкость кабеля.

5.2.1. Если конструкция исследуемого кабеля предполагает наличие внешнего полиэтиленового шланга (буквы Шп в маркировке), выбрать пункт «Кабель в шланге» (шаг 1, рис. 10). При этом на экране ввода данных появятся два дополнительных параметра: среднее сопротивление заземления и среднее расстояние между заземлениями. Если в конструкции исследуемого кабеля внешний полиэтиленовый шланг отсутствует, то данный пункт следует пропустить и перейти к пункту 5.2.3.

5.2.2. Ввести среднее сопротивление заземления 10 Ом и среднее расстояние между заземлениями 0,01 км (шаг 2, рис. 10).

5.2.3. Ввести максимально допустимое импульсное напряжение на изоляции кабеля, радиус кабеля по внешней поверхности металлических

покровов и сопротивление металлических покровов кабеля на постоянном токе, записанные в пункте 5.1. При определении радиуса кабеля взять половину его диаметра и округлить полученное значение до целого числа (шаг 3, рис. 10).

5.2.4. Ввести среднее число грозочасов в год  $n = 25$  (шаг 4, рис. 10).

5.2.5. Для получения требуемой зависимости поочередно ввести значения удельного сопротивления грунта  $\rho$  из таблицы 6. При вводе следующего значения параметра предыдущее значение следует удалить (шаг 5, рис. 10).

5.2.6. Для каждого введенного значения  $\rho$  нажать на кнопку «Расчет» и записать расчетные значения количества повреждений линии связи на 100 км трассы в год  $N$ . В качестве молниезащиты в данной работе предлагается использовать один или два троса ПС-70. Поэтому также требуется записать количество повреждений линии связи на 100 км трассы в год с применением одного и двух защитных тросов ( $N_1$  и  $N_2$ ) (шаг 6, рис. 10). Расчетные значения следует округлить до трех значащих цифр. Обратите внимание, что результат расчета содержит множитель Е. Например, запись вида Е-02 означает, что полученное число надо умножить на  $10^{-2}$ . Полученные данные занести в таблицу 6.

5.2.7. Повторить пункты 5.2.1 – 5.2.6 для второй марки кабеля согласно варианту.

5.2.8. Построить график зависимости количества повреждений от удельного сопротивления грунта  $N(\rho)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике.

Исследование опасного влияния ЛЭП на электрический кабель связи

Исследование грозостойкости электрического кабеля связи

☒ Кабель в шланге 1

1. Максимально допустимое импульсное напряжение на изоляции кабеля, В 3800

2. Радиус кабеля по внешней поверхности металлических покровов, мм 12 3

3. Сопротивление металлических покровов кабеля на постоянном токе, Ом/км 5.23

4. Удельное сопротивление грунта в Ом\*м (от 10 до 10000 Ом\*м) 50 5

5. Среднее число грозочасов в год 25 4

6. Среднее сопротивление заземления, Ом 10

7. Среднее расстояние между заземлениями, км 0.01 2

Ожидается N= 3.79940575657895E-02 повреждений линий связи на 100 км. трассы в год

При использовании 1-го троса ПС-70 ожидается N= 1.80418337894803E-02 повреждений линий связи на 100 км. трассы в год

При использовании 2-х тросов ПС-70 ожидается N= 1.67789054242167E-02 повреждений линий связи на 100 км. трассы в год 6

<< Назад Расчет >>

Рисунок 10. Исследование влияние удельного сопротивления грунта на грозостойкость кабеля

Таблица 6. Зависимость количества повреждений кабеля от удельного сопротивления грунта

Марка исследуемого кабеля						
Максимально допустимое импульсное напряжение на изоляции кабеля, В						
Радиус кабеля по внешней поверхности металлических покровов, мм						
Сопротивление металлических покровов кабеля на постоянном токе, Ом/км						
Среднее число грозочасов в год $n$	25					
Среднее сопротивление заземления, Ом	10					
Среднее расстояние между заземлениями, км	0,01					
Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом*м	20	50	100	500	1000	3000
Количество повреждений линии связи на 100 км трассы в год $N$						
Использование одного троса ПС-70						
Количество повреждений линии связи на 100 км трассы в год $N_1$						
Использование двух тросов ПС-70						
Количество повреждений линии связи на 100 км трассы в год $N_2$						

5.3. Исследование влияния грозовой активности на грозостойкость кабеля.

5.3.1. Выполнить пункты 5.2.2 – 5.2.3

5.3.2. Ввести значение удельного сопротивления грунта  $\rho=50$  Ом\*м (шаг 1, рис. 11).

5.3.3. Для получения требуемой зависимости поочередно ввести значения среднего числа грозочасов  $n$  из таблицы 7. При вводе следующего значения параметра предыдущее значение следует удалить (шаг 2, рис. 11).

Таблица 7. Зависимость количества повреждений кабеля от среднего числа грозочасов

Марка исследуемого кабеля					
Максимально допустимое импульсное напряжение на изоляции кабеля, В					
Радиус кабеля по внешней поверхности металлических покровов, мм					
Сопротивление металлических покровов кабеля на постоянном токе, Ом/км					
Удельное сопротивление грунта $\rho$ , Ом*м	50				
Среднее сопротивление заземления, Ом	10				
Среднее расстояние между заземлениями, км	0,01				
Среднее число грозочасов в год $n$	10	20	30	40	50
Количество повреждений линии связи на 100 км трассы в год $N$					
Использование одного троса ПС-70					
Количество повреждений линии связи на 100 км трассы в год $N_1$					
Использование двух тросов ПС-70					
Количество повреждений линии связи на 100 км трассы в год $N_2$					

5.3.4. Для каждого введенного значения  $n$  нажать на кнопку «Расчет» и записать расчетные значения количества повреждений линии связи на 100 км трассы в год  $N$ . В качестве молниезащиты в данной работе предлагается использовать один или два троса ПС-70. Поэтому также требуется записать количество повреждений линии связи на 100 км трассы в год с применением одного и двух защитных тросов ( $N_1$  и  $N_2$ ) (шаг 3, рис. 11). Расчетные значения следует округлить до трех значащих цифр. Обратите внимание, что результат расчета содержит множитель Е. Например, запись вида Е-02 означает, что полученное число надо умножить на  $10^{-2}$ . Полученные данные занести в таблицу 7.



5.3.5. Повторить пункты 5.3.1 – 5.3.4 для второй марки кабеля согласно варианту.

5.3.6. Построить график зависимости количества повреждений от среднего числа грозочасов  $N(n)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике.

Исследование грозостойкости электрического кабеля связи

☐ Кабель в шланге

1. Максимально допустимое импульсное напряжение на изоляции кабеля, В

2. Радиус кабеля по внешней поверхности металлических покровов, мм

3. Сопротивление металлических покровов кабеля на постоянном токе, Ом/км

4. Удельное сопротивление грунта в Ом\*м (от 10 до 10000 Ом\*м)  **1**

5. Среднее число грозочасов в год  **2**

Ожидается N= **5.65866502192982E-02** повреждений линий связи на 100 км. трассы в год **3**

При использовании 1-го троса ПС-70 ожидается N= **3.16049513465695E-02** повреждений линий связи на 100 км. трассы в год

При использовании 2-х тросов ПС-70 ожидается N= **2.93926047523096E-02** повреждений линий связи на 100 км. трассы в год

[<< Назад](#) [Расчет >>](#)

Рисунок 11. Исследование влияние числа грозочасов на грозостойкость кабеля

## 6. Формулировка выводов по полученным результатам

По результатам исследования, проведенного в одинаковых условиях для двух кабелей, сделать выводы о степени влияния ЛЭП и молнии на рассматриваемые ЭКС. Поясните причины, почему кабели подвержены влиянию в разной степени. Сформулировать так же выводы по всем графикам, построенным по результатам исследования.

## 7. Подготовка письменного отчета

Письменный отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы.
2. Эскизы поперечного сечения исследуемых кабелей с указанием всех конструктивных элементов и применяемых материалов.
3. Результаты исследования внешнего электромагнитного влияния ЛЭП на ЭКС:
  - таблицу 2 с исходными данными для исследования внешнего электромагнитного влияния;

– таблицу 3 и построенные по данным таблицы 3 графики зависимости наведенной ЭДС от удельного сопротивления грунта  $E(\rho)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике. Выводы по графикам о влиянии удельного сопротивления грунта  $\rho$  на значение наведенной ЭДС.

– таблицу 4 и построенные по данным таблицы 4 графики зависимости наведенной ЭДС от ширины участка сближения линии связи с ЛЭП  $E(a)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике. Выводы по графикам о влиянии ширины участка сближения линии связи с ЛЭП  $a$  на значение наведенной ЭДС;

– таблицу 5 и построенные по данным таблицы 5 графики зависимости наведенной ЭДС от длины участка сближения линии связи с ЛЭП  $E(l)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике. Выводы по графикам о влиянии длины участка сближения линии связи с ЛЭП  $l$  на значение наведенной ЭДС.

– таблицу 6 и построенные по данным таблицы 6 графики зависимости наведенной ЭДС от тока короткого замыкания ЛЭП  $E(I_{кз})$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике. Выводы по графикам о влиянии короткого замыкания ЛЭП  $I_{кз}$  на значение наведенной ЭДС.

– выводы по результатам сравнительного анализа стойкости двух исследуемых кабелей к наведенной ЭДС ЛЭП.

4. Результаты исследования внешнего электромагнитного влияния молнии на ЭКС:

– полностью заполненную таблицу 7 с исходными данными для исследования внешнего электромагнитного влияния молнии на ЭКС и результатами расчета параметра добротности кабелей  $Q$ .

– таблицу 8 и построенные по данным таблицы 8 графики зависимости количества повреждений от удельного сопротивления грунта  $N(\rho)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике. Выводы по графикам о влиянии удельного сопротивления грунта  $\rho$  на количество повреждений кабеля от ударов молнии.

– таблицу 9 и построенные по данным таблицы 9 графики зависимости количества повреждений от среднего числа грозочасов  $N(n)$  для двух исследуемых кабелей. Обе зависимости отобразить на одном графике. Выводы по графикам о влиянии среднего числа грозочасов  $n$  на количество повреждений кабеля от ударов молнии.

– выводы по результатам сравнительного анализа стойкости двух исследуемых кабелей к внешнему электромагнитному влиянию молнии на ЭКС.

## Приложение

### 1. Физическая сущность и источники электромагнитного влияния на цепи связи

Направляющие системы чрезвычайно многообразны и в разных случаях классифицируются по-разному: по используемому диапазону шкалы электромагнитных волн, по назначению, по конструкции и т. д. Уровень электромагнитных влияний, воспринимаемый направляющей системой связи, зависит от большого числа факторов: физической длины линии, наличия скрутки, частотного диапазона передаваемых сигналов, конструкции экрана, взаимного расположения элементов направляющих систем. Поэтому любая их классификация с точки зрения электромагнитной совместимости имеет определенную долю условности.

Электромагнитная совместимость любой системы — это совокупность качественных показателей, включающих, с одной стороны, способность нормально функционировать при наличии внешних естественных и допустимых промышленных электромагнитных полей; с другой стороны, рассматриваемая система сама не должна создавать электромагнитное поле выше оговоренного нормативно-технической документацией уровня.

Электромагнитная помеха — нежелательное воздействие электрического и магнитного полей, а также тока и напряжения любого источника, которое может ухудшить качество функционирования связи за счет искажения информативных параметров полезного сигнала. Естественные электромагнитные поля образуются электромагнитными процессами и явлениями, объективно происходящими в различных точках Земли и космосе, которые непосредственно не связаны с деятельностью человека. Электрические направляющие системы электросвязи (НСЭ) занимают частотный диапазон от 0 до  $10^{12}$  Гц, поэтому источники мощных электромагнитных влияний оказывают значительное влияние на все виды электрических НСЭ.

Для внешних электромагнитных влияний высоковольтных линий (ВВЛ) на электрические НСЭ характерны следующие особенности:

- во-первых, практическое отсутствие влияния за счет поперечной асимметрии в расположении проводников, свойственной процессу взаимных влияний;
- во-вторых, определяющая роль влияний за счет продольной асимметрии цепей проводник-земля (оболочка);
- в-третьих, возможность пренебречь активными составляющими электромагнитных связей ( $g$  и  $r$ ).

Кроме того, для внешних источников влияния характерно следующее:

- разные длины влияющих, подверженных влиянию и третьих цепей;
- пренебрежимо малое затухание высоковольтных линий по сравнению с линиями связи, подверженными влиянию;
- необходимость учета искажения электромагнитного поля за счет других электропроводящих предметов, таких как грозозащитные тросы, железнодорожные рельсы, рядом расположенные провода и кабели, деревья и др.

Различают следующие виды внешних влияний:

- электрические, обусловленные действием электрического поля;
- магнитные, возникающие за счет действия магнитного поля;
- гальванические, появляющиеся вследствие наличия в земле блуждающих токов, создаваемых ВВЛ и использующих землю в качестве обратного проводника.

Под действием блуждающих токов на оболочках кабелей связи появляется напряжение и в цепях связи возникает влияние. Особенно велико гальваническое влияние при аварийных режимах ВВЛ и в местах расположения электростанций.

Под действием внешних электромагнитных полей в сооружениях связи могут возникать напряжения и токи:

- опасные, при которых появляются большие напряжения и токи, угрожающие жизни обслуживающего персонала и абонентов или приводящие к повреждению аппаратуры и линейных сооружений.

**Опасными** считаются: напряжение  $U > 36$  В, ток  $I > 15$  мА;

- мешающие, при которых возникают помехи, шумы, искажения, приводящие к нарушению нормальной работы средств связи.

**Мешающими** считаются: напряжение  $U \approx 1...2$  мВ, ток  $I \approx 1$  мА.

Внешние влияния подразделяются также на длительные и кратковременные. Границей раздела между ними является время  $t = 1$  с.

Действие внешних источников бывает постоянным или случайным. Время действия колеблется в широких пределах: от долей секунды (молния) до непрерывной длительности. Спектр частот внешних источников, как правило, имеет широкую полосу. Амплитуда влияющих напряжений и токов, исходящих от внешних источников, зависит от мощности установки и места расположения ее по отношению к линии связи.

Источниками внешних электромагнитных влияний на электрические НСЭ являются:

- атмосферное электричество (гроза),
- высоковольтные линии (ВВЛ),
- электрифицированные железные дороги (ЭЖД),
- радиостанции (РС),

Причем атмосферное электричество и ВВЛ, особенно в аварийном режиме, оказывают опасное влияние, а ЭЖД, ВВЛ, РС — мешающее влияние.

Влияние оказывают также индустриальные помехи (бытовые электроаппараты, городской электротранспорт), магнитные бури и др. Кроме того, металлические оболочки кабелей подвержены коррозии, т. е. разрушению под действием блуждающих токов и электрохимических процессов в грунте. Далее рассматриваются источники внешних влияний и меры защиты сооружений от них.

## 2. Влияние атмосферного электричества

Высокое напряжение на проводах линий связи (ЛС) при грозовых разрядах появляется или вследствие индукции от разряда облака на землю, или в результате непосредственного разряда через линию связи (прямой удар). Чаще молнией поражаются наиболее высокие наземные предметы. Однако, молния может ударить и в ровную поверхность земли, устремляясь в область большей электропроводности почвы (рисунок П.1). Чаще всего повреждения подземных кабелей наблюдаются в грунтах с большим удельным сопротивлением (каменистых, гранитных, песчаных и т.п.).



Рисунок П.1. Внешний вид газона после удара молнии

Молния — это электрический разряд через изолятор — воздух. Путь, образованный разрядом атмосферного электричества, называется каналом молнии. Канал молнии характеризуется примерно следующими параметрами, представленными в таблице П.1.

При ударе молнии ток распространяется от места удара по земле во все стороны. При наличии поблизости от этого места подземного кабеля большая часть тока молнии может пройти в оболочку кабеля. Между местом удара и кабелем ток молнии создает электрическую дугу, длина которой в некоторых случаях достигает 30-50 м. Образование дуги вызывает чаще всего механические повреждения кабеля (образуются вмятины на

оболочке, прогибы кабеля, разрывы ленточной брони и т.п.).

Таблица П.1

Параметр	Значение
Напряжение, млн. В	1-10
Ток молнии, кА	20-30
Длительность удара молнии, С	0,3-0,5
Количество разрядов за один удар	3-10
Время одного разряда, мкс	100-200
Температура в канале молнии, С°	20000

Рассмотрим влияние грозового разряда на симметричный кабель с металлической оболочкой (рисунок П.2).

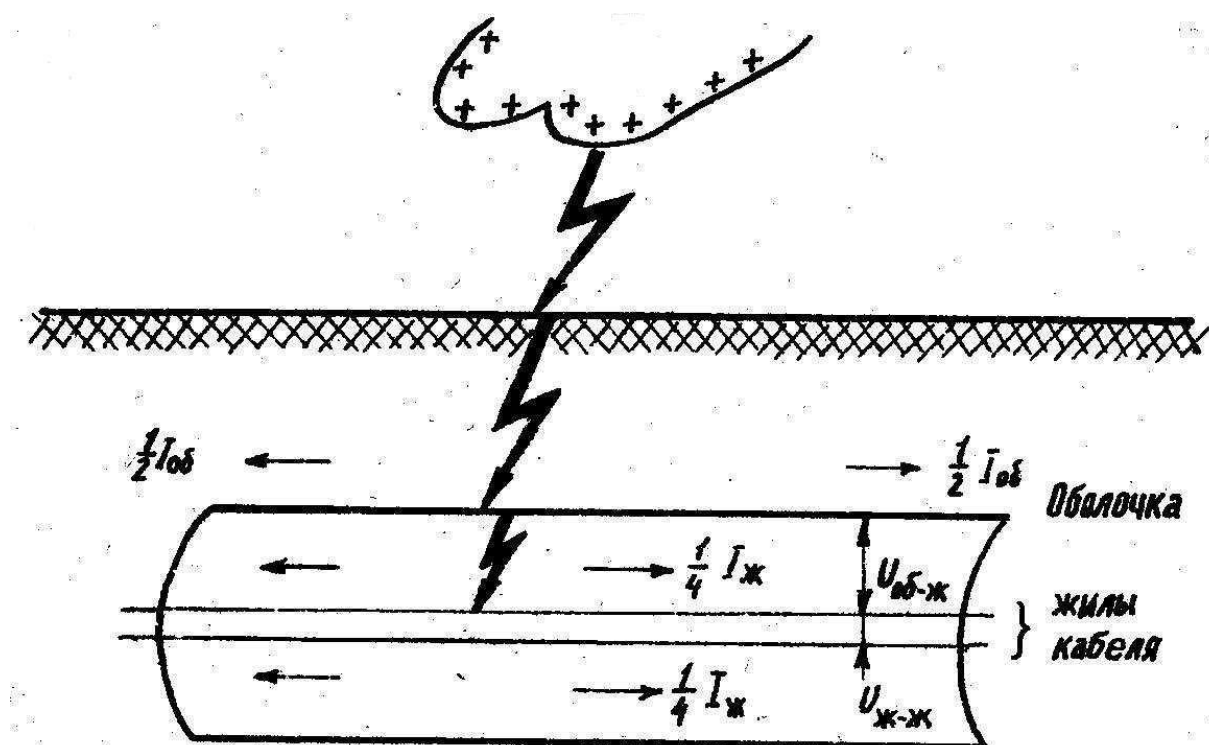


Рисунок П.2. Попадание тока молнии в симметричный кабель

Ток  $I_{об}$  вошедший в оболочку кабеля, распространяется по ней в обе стороны. По мере удаления от места удара он уменьшается по величине вследствие ответвления части тока из оболочки в землю. Под действием тока  $I_{об}$  в жилах кабеля индуктируются напряжение  $U_{об-ж}$ ,  $U_{ж-ж}$  и токи  $I_{ж}$ , где:

$U_{об-ж}$  – индуктированное напряжение между оболочкой и жилой;

$U_{ж-ж}$  – индуктированное напряжение между жилами.

Эти напряжения и токи при известных условиях могут быть опасными для изоляции жил кабеля и для включенной аппаратуры. Если напряжения  $U_{об-ж}$  или  $U_{ж-ж}$  превысят электрическую прочность изоляции жил, произойдет пробой изоляции. При пробое или прожоге изоляции между оболочкой и жилой кабеля часть тока молнии попадет и в жилы кабеля. Повреждения кабеля от токов молнии весьма разнообразны: от сильного нагрева расплавляется металлическая оболочка, сгорает джутовая оплетка, обгорает изоляция, расплавляются жилы кабеля.

Опасному воздействию атмосферного электричества подвержены как электрические, так и оптические НСЭ. На территории Российской Федерации (РФ) грозы наблюдаются повсеместно, однако число грозовых дней в различных районах РФ различно. Так, в районах Москвы, Санкт-Петербурга и Калининграда среднее число грозовых дней в году составляет 20-25. В районах средней полосы России и на Кавказе число грозовых дней в среднем достигает 40-60, а в некоторых местах – 80 и более. Вероятное число повреждений кабелей от ударов молнии характеризуется плотностью повреждений  $n$ , под которой понимается общее число отказов в связи, отнесенных к 100 км трассы кабельной линии в год. Ее можно определить по формуле:

$$n = \left( \frac{N}{K \cdot L} \right) \cdot 100,$$

где  $N$  – общее число повреждений, равное числу опасных ударов молнии, на всей кабельной линии в течение рассматриваемого промежутка времени;  $K$  – промежуток времени, за который произошло  $N$  повреждений, лет;  $L$  – длина линии, км.

Установлено, что в течение грозового периода в районах с грозодеятельностью 20-25 дней в году на каждые 100 км трассы приходится восемь-десять случаев прямого удара молнии в НСЭ. Опасность повреждений кабельной линии существенно зависит от состояния грунта и проводимости кабельной оболочки. На рисунке П.3 приведен график вероятности числа повреждений НСЭ на 100 км в год в зависимости от удельного сопротивления грунта ( $\rho_s$ ) и сопротивления металлической оболочки ( $R_{об}$ ).

Из графика видно, что в грунтах с большим сопротивлением (песке, скале, глине, граните и др.) и при больших сопротивлениях металлопокрывов опасность повреждения кабеля возрастает. Грозоповреждаемость кабелей в алюминиевой оболочке, имеющей малое сопротивление, существенно меньше, чем в свинцовой и стальных оболочках.

Интенсивность грозовой деятельности для конкретно рассматриваемой местности определяется по удельной плотности ударов молнии в землю (ожидаемое число ударов молнии в 1 км<sup>2</sup> поверхности земли за год, исходя из среднегодовой продолжительности гроз в часах).

На участках кабельной линии связи, где вероятная плотность повреждений от ударов молнии больше допустимой проводят следующие мероприятия: применяют более грозостойкие кабели связи, т. е. кабели с повышенной проводимостью оболочки и других металлопокровов, повышенной прочностью изоляции, прокладывают грозозащитные тросы над кабелем на половине глубины его заделки в грунт.

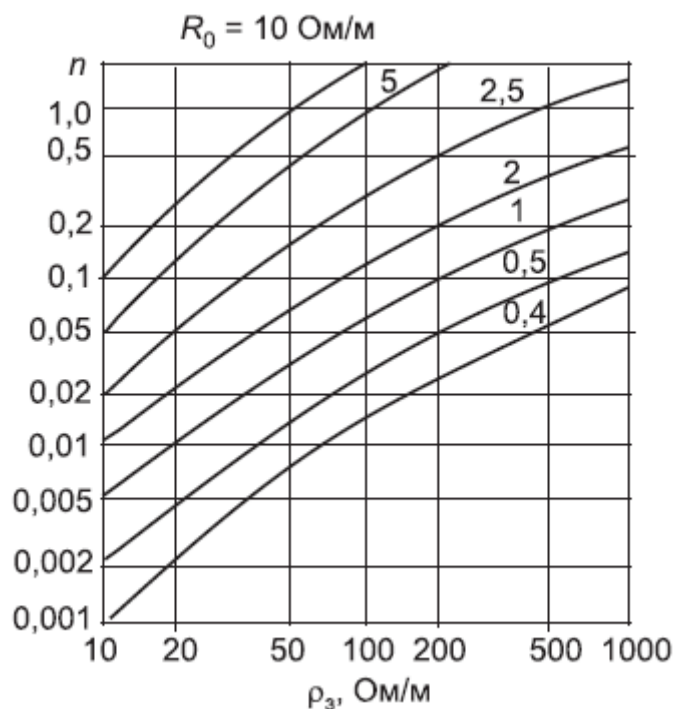


Рисунок П.3. Вероятность повреждения электрических кабелей связи при различных сопротивлениях оболочки и грунта

### 3. Влияние линий электропередачи

Электродвижущая энергия может передаваться по высоковольтным линиям передачи (ВВЛ) переменного и постоянного тока (рисунок П.4).

На ВВЛ переменного тока используют, как правило, трехфазный ток. Напряжения ВВЛ переменного тока: 3,3; 6,6; 11; 35; 220; 500 и 750 кВ. Напряжения ВВЛ постоянного тока: 400; 500; 600; 800; 1500 кВ.

Режимы работы ВВЛ представлены на рисунке П.5:

- 1) симметричный с изолированной нейтралью (рисунок П.5, а) или с заземленной нейтралью (рисунок П.5, б);
- 2) несимметричный по схеме «два провода – земля» (рисунок П.5, в).

Линии с изолированной нейтралью применяются при напряжениях не выше 35 кВ.



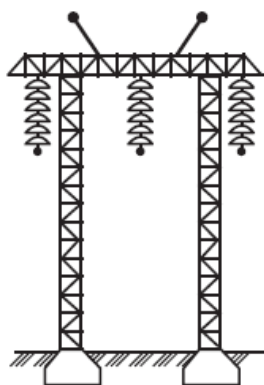


Рисунок П.4. Высоковольтные линии передачи (ВВЛ)

При больших напряжениях, исходя из техники безопасности, нейтрали обязательно заземляются.

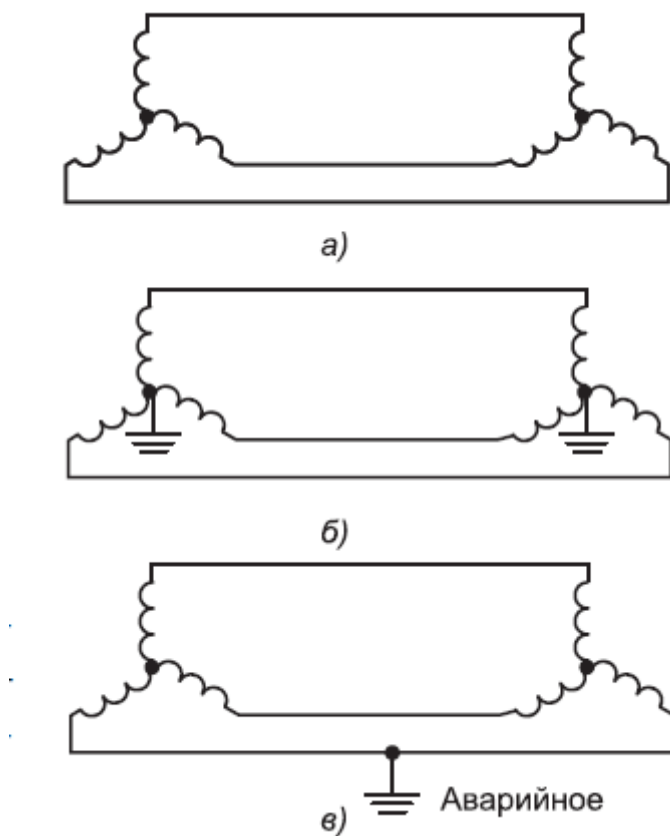


Рисунок П.5. Режимы работы ВВЛ

Влияния, оказываемые ВВЛ на НСЭ, могут быть электрическими и магнитными. В зависимости от режима работы ВВЛ преобладает то или иное влияние. Симметричные системы обладают высоким потенциалом и создают большие электрические воздействия ( $U(E)$ ).

Несимметричные системы (с заземленной фазой) в аварийном режиме имеют большой уравнительный ток и являются источником сильных магнитных воздействий ( $I(H)$ ). Заземленные ВВЛ оказывают гальваническое влияние.

Отметим, что НСЭ находятся под влиянием ВВЛ как переменного тока, так и постоянного. Первые влияют в основном на частоте 50 Гц и на высших гармониках (главным образом в тональном диапазоне частот). Влияние вторых обусловлено наличием пульсирующих составляющих при выпрямлении тока преимущественно ртутными выпрямителями. Влияние гармонических составляющих распространяется на диапазон примерно 30 кГц и ухудшает качество работы систем передачи. Сравнивая агрессивное воздействие ВВЛ переменного и постоянного токов на НСЭ, можно отметить, что первые действуют гораздо сильнее, чем вторые, и требуют отхода линий связи на значительное расстояние. По диапазону частот наиболее вредное воздействие оказывают ЛВН постоянного тока. Это хорошо видно из таблицы П.2, в которой представлены показатели воздействия ЛВН переменного и постоянного тока на НСЭ.

Таблица П.2

Показатель	Ток	
	переменный	постоянный
Частота, кГц	0,05...350	0...30
Сила влияния, усл. ед.	50	1
Относ трассы, км	5	0,1
Характер влияния	Опасное	Опасное, мешающее

При рассмотрении влияний на цепи связи различают нормальный, вынужденный и аварийный режимы работы ВВЛ.

Под *нормальным* понимается такой режим, при котором ВВЛ работает постоянно.

*Вынужденный* режим – это тот, при котором ВВЛ вынуждена работать определенный промежуток времени в режиме, отличающемся от нормального.

*Аварийный* режим возникает при нарушении нормальной работы ВВЛ, например при обрыве и заземлении провода одной из фаз трехфазной линии с заземленной нейтралью. При заземлении одной из фаз линии с изолированной нейтралью возникает неуравновешенное напряжение, равное 1,73 линейного напряжения.

#### 4. Влияние электрифицированных железных дорог

Контактные сети магистральных и пригородных электрифицированных железных дорог, трамвая, троллейбуса (рисунок П.6) также оказывают влияние на НСЭ. Напряжения в контактных сетях постоянного тока: трамваи и троллейбусы – 0,6 кВ, пригородная ЭЖД – 3,3 кВ.



Рисунок П.6. Электрифицированная железная дорога

Напряжения в сетях переменного тока магистральных ЭЖД – 25 кВ.

Электрифицированный транспорт представляет собой однопроводную несимметричную систему с использованием земли (рельсов) в качестве обратного провода, в которой протекает сильный неуравновешенный ток и возникает сильное магнитное влияние. Ток в контактных сетях ЭЖД может достигать нескольких сотен ампер. Электрифицированный транспорт является источником и опасного, и мешающего влияний на НСЭ. Наряду с магнитным существует гальваническое влияние.

Электрифицированные железные дороги переменного тока влияют в основном на частоте 50 Гц и в диапазоне тональных частот.

ЭЖД постоянного тока за счет высших гармонических составляющих при выпрямлении тока действуют как в тональном, так и в высокочастотном диапазоне (до 30 кГц).

Сравнивая агрессивное воздействие на НСЭ линии электропередачи и ЭЖД, можно установить (таблица П.3), что ЭЖД как однопроводная система оказывает существенно более сильное и длительное влияние, чем ВВЛ. Однако протяженность ВВЛ по стране значительно больше, и, кроме того, при новом строительстве часто неизвестно, где пройдет трасса этих линий, поэтому существенно сложнее обеспечить должную защиту от них.

Таблица П.3

Показатель	ВВЛ	ЭЖД
Трасса	неизвестна	известна
Длительность действия	кратковременное	длительное
Схема влияния	симметричная	несимметричная
Сила влияния (условная единица)	1	10...20

В таблице П.4 приведены допустимые критические расстояния в метрах (средние значения) с ВВЛ и ЭЖД электрического кабеля связи с ленточной броней и свинцовой оболочкой. В числителе указано значение для ЭЖД, в знаменателе для ВВЛ.

Таблица П.4. Критические расстояния в метрах с ВВЛ и ЭЖД кабеля связи

Параметр	Грунт					
	Черно-зем	Глина	Суглинок	Известняк	Песок	Гранит
Удельная проводимость, См/м	0,2	0,1	0	0,025	0,01	0,001
Критические расстояния, м	200/300	260/370	350/560	480/830	600/1200	1470/3800

Из таблицы видно, что чем хуже грунт, т. е. меньше его удельная проводимость, тем дальше надо относить трассу кабеля от ВВЛ и ЭЖД.

## 5. Особенности влияния на воздушные и кабельные направляющие системы электросвязи

Природа внешних электромагнитных влияний на воздушные и кабельные НСЭ различна (рисунок П.7).

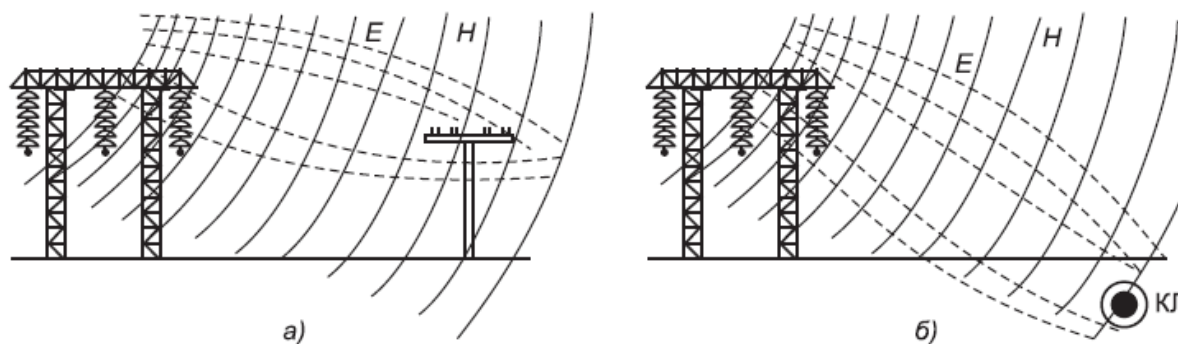


Рисунок П.7. Электрифицированная железная дорога: а) воздушные; б) кабельные

На воздушные НСЭ действуют одновременно как электрическое поле, так и магнитное. На кабельные линии оказывает влияние только магнитное поле. Силовые линии электрического поля замыкаются на металлическую оболочку кабеля и землю и не проходят в сердечник кабеля. Магнитное влияние на кабельные линии снижается за счет экранирующего действия кабельной оболочки. Кабельные линии, находящиеся в земле, и

воздушные линии, работающие по системе «провод – земля», испытывают также гальваническое влияние.

## **6. Нормы опасных и мешающих влияний на электрические кабели связи**

Для безопасности обслуживающего персонала и лиц, пользующихся средствами связи, предохранения от повреждений аппаратуры и НСЭ, а также обеспечения необходимого качества связи установлены нормы допустимых опасных и мешающих напряжений и токов. При этом принимаются во внимание, как время, так и условия воздействия опасных напряжений и токов на людей и аппаратуру. Влияния при аварийных режимах бывают кратковременными, так как они исчезают при срабатывании защиты и отключении поврежденной линии. Кроме того, аварии на линиях высокого напряжения сравнительно редки.

В случае длительного влияния, которое имеет место при вынужденном режиме работы симметричных и несимметричных линий, а также при нормальном режиме работы несимметричных линий существует большая вероятность опасных воздействий. Вследствие этого приняты более низкие допустимые напряжения, наводимые в проводах связи.

Допустимые продольные ЭДС в проводах цепей связи различных НСЭ при опасном влиянии ВВЛ на длине гальванически неразделенного участка линии связи приведены в таблице П.5.

*Продольной ЭДС ( $E$ )* называют разность потенциалов между точками в начале и конце участка сближения на проводнике связи, возникающую в результате влияния ВВЛ.

*Гальванически неразделенным* называется участок цепи НСЭ, не содержащий трансформаторов, усилителей, фильтров.

Под испытательным напряжением  $U_{исп}$  понимается напряжение, принятое для данного типа кабеля при испытании изоляции жил по отношению к экрану или металлической оболочке.

*Допустимая продольная ЭДС* на проводах кабельной линии связи на длине гальванически неразделенного участка при влиянии симметричных ВВЛ должна быть не более 36 В в условиях нормального режима и 70 В в условиях вынужденного режима менее 2 ч. При передаче по кабельным цепям напряжения дистанционного питания  $U_{дп}$  допустимое наведенное напряжение снижается, что учитывается нормами таблицы П.5.

Опасность поражения человека электрическим током зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются: ток, протекающий через тело человека, продолжительность действия тока, пути прохождения тока по телу человека, индивидуальные свойства организма.

Таблица П.5. Допустимые продольные ЭДС

Тип НСЭ	Допустимые продольные ЭДС, В, действующие при времени отключения поврежденного участка ВВЛ, с			
	1,2	0,6	0,3	0,15
Воздушная с деревянными опорами, в том числе с железобетонными приставками	750	1000	1500	2000
Воздушная с железобетонными или металлическими опорами	120	160	240	320
Кабельная без ДП усилителей или ДП по системе «провод–провод»	$U_{\text{исп}}$			
Кабельная с ДП усилителями по системе «провод–земля»	$U_{\text{исп}} - U_{\text{дп}} / \sqrt{2}$			
Городские кабельные без ДП	$U_{\text{исп}}$			

При установлении допустимых норм обычно исходят из тока, при которой человек может самостоятельно освободиться от захвата токоне-сущего провода.

Согласно правилу защиты устройств связи от опасного влияния ли-ний электропередачи разрядный ток, проходящий через тело человека, ко-торый коснулся провода линий связи, подверженного влиянию линии с изолированной нейтралью, при замыкании фазового провода на землю не должен превышать 10 мА. При этом напряжение провода ЛС по отноше-нию к земле допускается не более 200 В.

Нормой допустимого мешающего напряжения на цепи связи являют-ся:

- для ВЧ каналов 1,1 мВ на один усилительный участок в точке с от-носительным уровнем полезного сигнала на входе усилителя –7 дБ;
- для телефонных каналов ТЧ 2,1 мВ на длину канала связи, имеющего сближение с высоковольтной линией 400 км при относительном уровне полезного сигнала на зажимах оконечной станции или стан-ции переприема –7 дБ.

При одновременном влиянии на НСЭ со стороны ВВЛ и ЭЖД общая норма помех  $U_{\text{ш}}$  подсчитывается по квадратичному закону. При этом нор-му напряжения шума для ВВЛ принимают равной  $0,6U_{\text{ш}}$ , а для ЭЖД

0,8U<sub>ш</sub>. Допустимое напряжение шума на один усилительный участок определится по формуле:

$$U'_{ш} = U_{ш} / \sqrt{N},$$

где  $N$  – число усилительных участков на длине сближения с влияющей линией;

Указанные нормы напряжения шума относятся к линейным зажимам цепей с волновым сопротивлением 600 Ом, согласованно нагруженным. Если входное сопротивление  $Z_{вх}$  отличается: от 600 Ом, то допустимое напряжение шума должно быть пересчитано по формуле:

$$U''_{ш} = U_{ш} Z_{вх} / 600.$$

Допустимое напряжение помехи от влияния радиостанций принято для кабельных линий равным 0,5 мВ и для воздушных 1 мВ в точке с относительным уровнем  $-7$  дБ.

## 7. Расчет опасного электрического влияния на направляющие системы электросвязи

Влияние высоковольтных линий (ВВЛ, ЭЖД) на НСЭ может быть определено по аналогии с взаимным влиянием между цепями связи через параметры электрической и магнитной связей:

$$K_{12} = I_2 / U_1 = g + i\omega k; M_{12} = -E_2 / I_1 = r + i\omega m,$$

где:  $I_2$  и  $E_2$  – ток и ЭДС, наводимые в цепи связи;  $I_1$  и  $U_1$  – ток и напряжение во влияющей цепи (ВВЛ, ЭЖД).

Активные составляющие ( $g$  и  $r$ ) применительно к рассматриваемым процессам можно не учитывать. Опасные электрические напряжения могут возникать в воздушных НСЭ из-за влияния ВВЛ с изолированной нейтралью при заземлении одной из фаз, а также в других случаях появления неуравновешенных напряжений на ВВЛ. При внешнем влиянии ВВЛ на ЛС необходимо определить потенциал проводника НСЭ относительно земли.

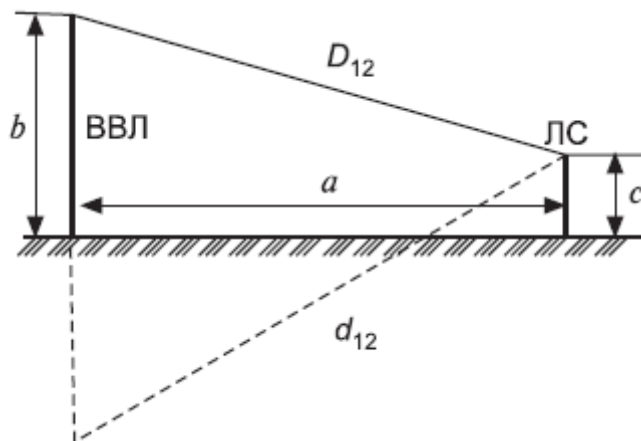


Рисунок П.8. К расчету электростатического влияния

Электростатическое поле земли может быть представлено в виде зеркального отображения влияющего провода (рисунок П.8). Результирующий потенциал проводника ЛС относительно земли определяется в виде суммы потенциалов влияющего провода ВВЛ и зеркального отражения:

$$U = \frac{q}{\varepsilon} \ln\left(\frac{d_{12}}{D_{12}}\right),$$

где  $q$  – заряд влияющего провода; при  $D_{12} = d_{12}$ , т. е. когда проводник связи находится на земле, его потенциал равен нулю:  $U = 0$ .

Решая данную задачу через потенциальные коэффициенты для трехфазной ВВЛ и двухпроводной НСЭ, получаем формулу расчета электрического влияния. Потенциал проводника НСЭ относительно земли за счет электрического влияния, В,

$$U_2 = 0,25U_1 S_{\pi} \frac{bc}{a^2 + b^2 + c^2},$$

где  $U_1$  – напряжение ВВЛ нормальном режиме работы (в случае аварийного режима при заземлении одной из фаз величина  $U_1$  возрастает в  $\sqrt{3} = 1,73$  раза);  $S_{\pi}$  – экранирующее действие соседних проводов связи, среднее значение которого принимается равным 0,7; значения  $a, b, c$  приведены на рисунке П.8.

Анализируя эту формулу, видим, что электрическое влияние возрастает с увеличением габаритов линии (высоты подвески проводов  $b$  и  $c$ ) и уменьшается при разnose линий ( $a$ ).

Данная формула справедлива, если ВВЛ и НСЭ проходят параллельно. В реальных условиях часто имеют место сложная трасса сближения и косое взаимное расположение трасс ВВЛ и НСЭ (рисунок П.9).

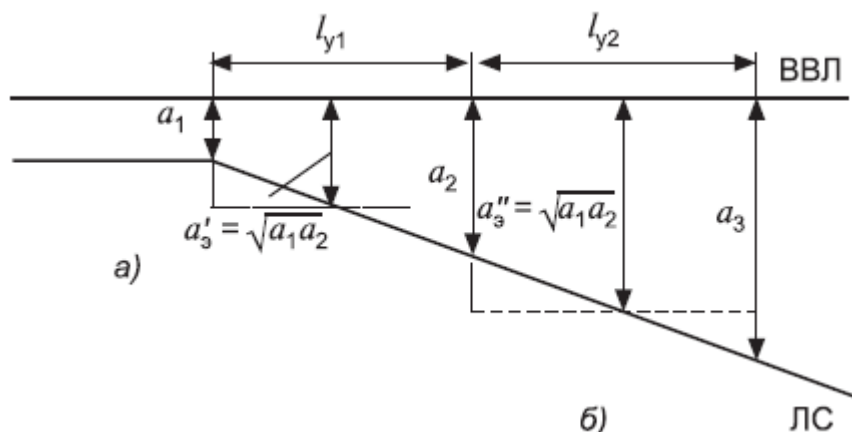


Рисунок П.9. Параллельное (а) и косое (б) сближение ВВЛ с НСЭ



В этом случае участок сближения разбивают на несколько эквивалентных параллельных участков, определяют влияние на каждом участке по эквивалентным расстояниям и затем суммируют все эти влияния.

Длина эквивалентного участка выбирается таким образом, чтобы отношение максимальной ширины сближения к минимальной по концам участка не превышало трех, т. е.  $a_1/a_2 < 3$ ,  $a_3/a_2 < 3$  и т.д. Эквивалентная ширина сближения определяется как средняя геометрическая величина:

$$a'_3 = \sqrt{a_1 a_2}.$$

При сложной трассе сближения расчет электрического влияния можно производить по формуле

$$U_2 = 0,25 \cdot U_1 \cdot \sum_{n=1}^n \frac{bc}{a^2 + b^2 + c^2} \cdot S_n \frac{l_y^n}{l}$$

где  $l_y^n$  – длина расчетного участка;  $l$  – общая длина сближения.

## 8. Расчет опасного магнитного влияния на направляющие системы электросвязи

Опасные магнитные влияния создают несимметричные системы (ВВЛ, ЭЖД) как в нормальном, так и аварийном режиме их работы, а также симметричные системы в аварийном режиме. Магнитным воздействиям подвержены и кабельные, и воздушные линии связи.

Продольная ЭДС в линиях связи за счет магнитного поля (рисунок П.10) может быть определена по формуле:

$$E_2 = \omega m I_1 l S_K S_T$$

где  $I_1$  – влияющий ток;  $l$  – длина участка сближения;  $S_K$  – коэффициент экранирования кабельной линии;  $S_T$  – коэффициент экранирования троса, рельсов (0,4...0,6);  $m$  – магнитная связь между ВВЛ и НСЭ, Гн/км,

$$m = [\ln(2/1,75ka) + 1] \cdot 10^{-4},$$

где  $k = \sqrt{\omega \mu_3 \sigma_3}$ ;  $\mu_3, \sigma_3$  – магнитная проницаемость и проводимость земли;  $a$  – расстояние между ВВЛ и НСЭ.

В случае сложной трассы сближения продольная ЭДС рассчитывается по эквивалентным участкам сближения и затем производится суммирование:

$$E_2 = \omega I_1 \sum_{i=1}^n m_i l_i S_{Ki} S_{Ti}.$$

Из приведенных формул видно, что влияние растет с увеличением длины линии, силы и частоты влияющего тока. Расчет опасного влияния обычно производится на частоте 50 Гц, а мешающего – на частоте 800 Гц.

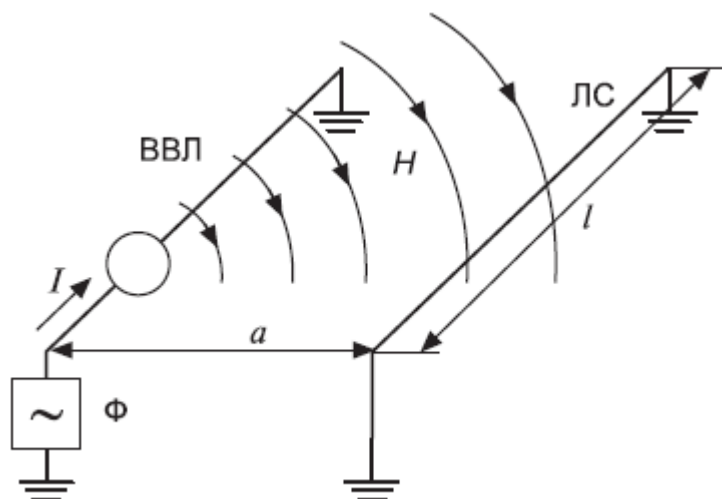


Рисунок П.10. К расчету магнитного влияния

Для облегчения расчетов на практике обычно пользуются номограммами, позволяющими по известным значениям полосы сближения и удельной проводимости земли определить  $m$  на частоте 50 Гц.

В зависимости от режима работы НСЭ наводимая продольная ЭДС будет иметь различные значения по длине. На рисунке П.11 показан характер изменения ЭДС вдоль НСЭ при изолированных и заземленных ее концах. Наибольшую опасность для обслуживающего персонала и аппаратуры связи представляет случай, показанный на рисунке П.11, б, так как здесь на изолированном конце будет действовать полная индуцированная ЭДС. При определении влияний и выборе средств защиты необходимо суммировать все виды влияний; для кабельных линий – магнитное и гальваническое, для воздушных линий – электрическое и магнитное.

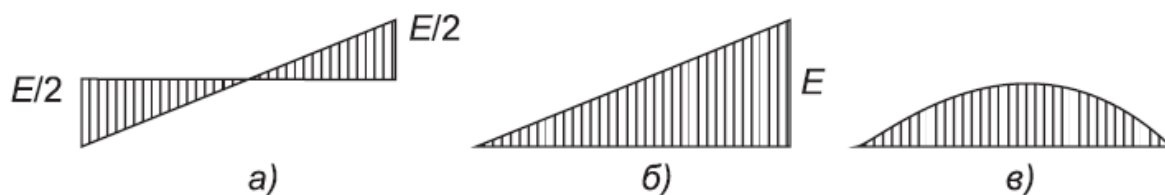


Рисунок П.11. Продольная ЭДС в НСЭ при различных режимах использования линии: а – полная изоляция от земли; б – заземление с одной стороны; в – заземление с обеих сторон

Номограммы и пример расчета удельной проводимости земли определить  $m$  по номограммам представлен на рисунке П.12.

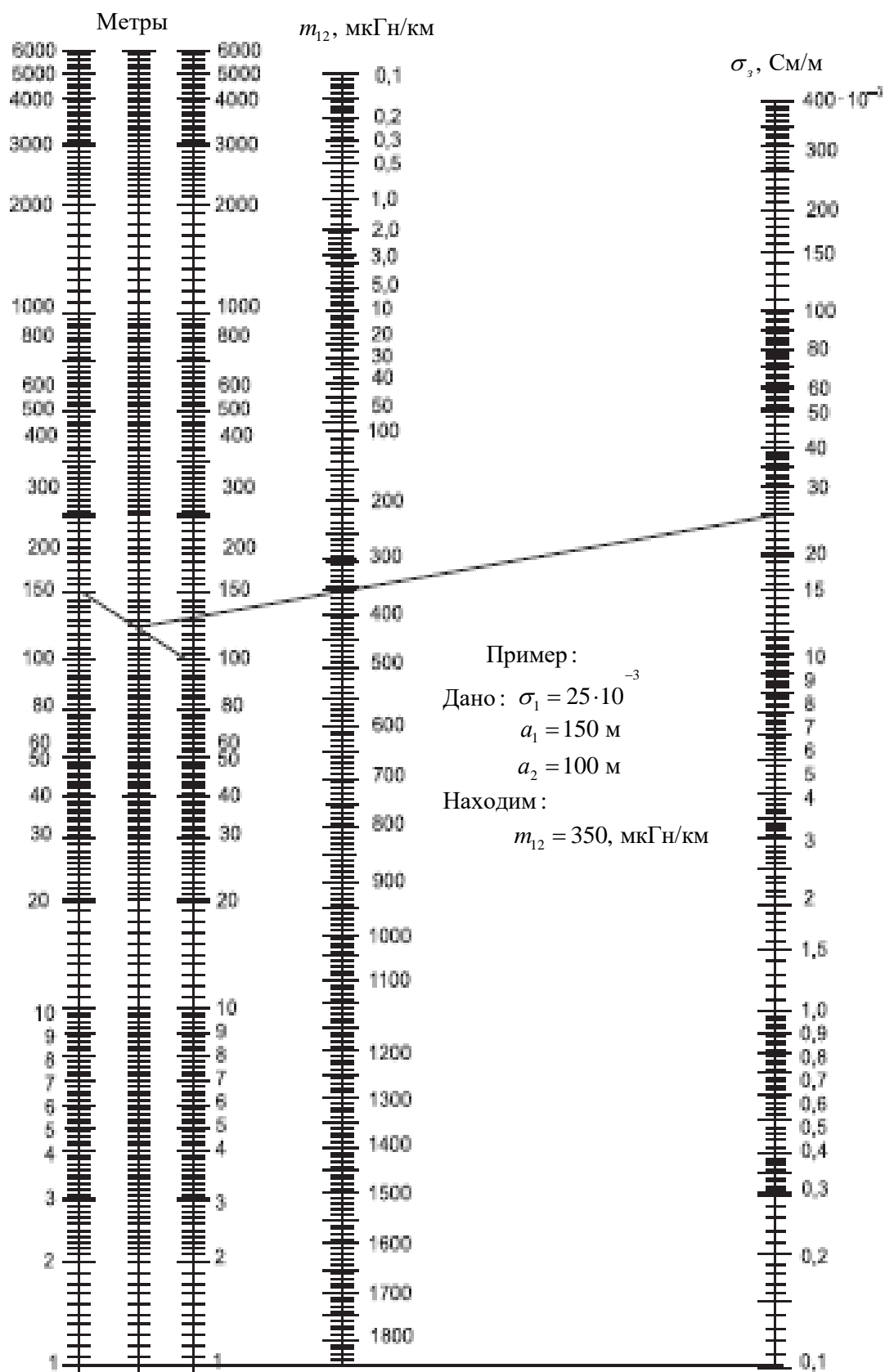


Рисунок П.12. Номограмма для определения коэффициента взаимной индуктивности на частоте 50 Гц

## 9. Расчет мешающих влияний на направляющие системы электросвязи

Рабочие напряжения и токи всех видов ВВЛ (как на переменном, так и на постоянном токе) содержат гармоники в диапазоне частот 0,1...150 кГц, причем наибольшие амплитуды имеют гармоники в диапазоне тональных частот. Шум в телефонных каналах тональной частоты рассчитывают на частоте 800 Гц, поэтому при определении мешающего влияния рабочее напряжение (ток) влияющей цепи со всеми составляющими гармониками пересчитывается на эквивалентное мешающее напряжение (ток) с частотой 800 Гц, которое по своему действию на телефонную цепь эквивалентно действию рабочего напряжения (тока) и всех его гармоник.

Эквивалентное мешающее напряжение

$$U_{\text{э}} = k_{\text{п}} F_U U_1$$

и, соответственно, эквивалентный мешающий ток

$$I_{\text{э}} = k_{\text{п}} F_I I_1$$

где  $F_U = U_{\text{псф}} / U_1$ ;  $F_I = I_{\text{псф}} / I_1$  — телефонные форм-факторы соответственно напряжения и тока;  $k_{\text{п}}$  — поправочный коэффициент, зависящий от типа ВВЛ, ширины сближения и проводимости земли.

При расчете мешающего влияния целесообразно рассматривать отдельно влияние токов прямой и нулевой последовательностей и соответственно фазовых напряжений и остаточных напряжений относительно земли. Следует также учитывать, что помехи в двухпроводной цепи возникают как в результате непосредственного влияния ВВЛ на цепь НСЭ вследствие асимметричного расположения проводов последней по отношению к проводам ВВЛ, так и в результате влияния через третьи цепи типа «два провода — земля» вследствие наличия асимметрии (продольной и поперечной) цепи НСЭ относительно земли. Принимая во внимание раздельное определение составляющих магнитного и электрического полей, при расчете помех от ВВЛ в общем случае необходимо учитывать восемь составляющих:  $U_{\text{м.ф.1}}$ ,  $U_{\text{э.ф.1}}$  — составляющие соответственно магнитного и электрического влияний, обусловленные фазовым напряжением (током прямой последовательности) и асимметрией проводов НСЭ по отношению к проводам ВВЛ;  $U_{\text{м.о.1}}$ ,  $U_{\text{э.о.1}}$  — то же, только обусловленные остаточным напряжением ВВЛ по отношению к земле (током нулевой последовательности);  $U_{\text{м.ф.2}}$ ,  $U_{\text{э.ф.2}}$  — составляющие соответственно магнитного и электрического влияний, обусловленные фазовым напряжением (током прямой последовательности) и асимметрией проводов ЛС относительно земли;  $U_{\text{м.о.2}}$ ,  $U_{\text{э.о.2}}$  — то же, только обусловленные остаточным напряжением ВВЛ по отношению к земле (током нулевой последовательности).

Результирующее напряжение помех в телефонной цепи определяется по формуле:  $U_{\text{ш}} = \sqrt{U_{\text{м.ф.1}}^2 + U_{\text{э.ф.1}}^2 + U_{\text{м.о.1}}^2 + U_{\text{э.о.1}}^2 + U_{\text{м.ф.2}}^2 + U_{\text{э.ф.2}}^2 + U_{\text{м.о.2}}^2 + U_{\text{э.о.2}}^2}$ .

Удельный вес отдельных составляющих выражения неодинаков и зависит от типа влияющей цепи и цепи, подверженной влиянию, а также характера их сближения. Так, при влиянии трехфазной ВВЛ с заземленной нейтралью в нормальном режиме работы на воздушную НСЭ достаточно учитывать от трех до одной составляющей:

$$U_{\text{ш}} = \begin{cases} \sqrt{U_{\text{м.ф.2}}^2 + U_{\text{э.ф.2}}^2 + U_{\text{м.о.2}}^2}, & a < 50\text{м} \\ \sqrt{U_{\text{м.ф.2}}^2 + U_{\text{м.о.2}}^2}, & 50 < a < 200\text{м} \\ U_{\text{м.о.2}}^2, & a > 200\text{м} \end{cases}$$

т. е. при больших расстояниях между взаимовлияющими цепями определяющим является магнитное влияние тока нулевой последовательности через третью цепь.

Как уже отмечалось выше, кабели связи с металлической оболочкой практически не испытывают электрического влияния, т. е. отсутствуют все составляющие  $U_{\text{э}}$ . Кроме того, вследствие скрутки жил очень мала асимметрия жил в двухпроводной цепи по отношению к проводам ВВЛ, следовательно, отсутствуют составляющие  $U_{\text{м.о.1}}$  и  $U_{\text{м.ф.1}}$ . Таким образом, для кабелей с металлической оболочкой результирующее напряжение шума определяется только влиянием через третьи несимметричные цепи и подсчитывается по формуле:  $U_{\text{ш}} = \sqrt{U_{\text{м.ф.2}}^2 + U_{\text{м.о.2}}^2}$ .

Допустимые величины мешающих влияний приведены были ранее в п. 6.

## 10. Влияние радиостанций на направляющие системы электросвязи

Радиостанции (РС) оказывают мешающее влияние на высокочастотные каналы связи, если их рабочие частоты совпадают с диапазоном ВЧ систем.

На НСЭ оказывают непосредственное влияние радиостанции сверхдлинноволнового диапазона (частоты 3...30 кГц), длинноволнового (30...300 кГц) и средневолнового (300...3000 кГц). Больше всего подвержены влиянию радиостанций вертикальные провода (вводы цепей в станцию). Наиболее мощными радиостанциями являются вещательные и телеграфные станции, работающие на большие расстояния.

Степень мешающего влияния радиостанций на цепи связи зависит от многих причин: излучаемой мощности, расположения трассы линии связи по отношению к влияющей радиостанции, проводимости земли, коэффициента чувствительности цепи связи к помехам.

Природа влияния радиостанций на НСЭ состоит в следующем. Радиостанции создают вертикальную составляющую электромагнитного поля  $E_v$ , мВ/м, затухающую по закону

$$E_B = \frac{2,45\sqrt{P_{\text{из}}}}{r} F \cdot e^{-k_d \cdot r},$$

где  $P_{\text{из}}$  – мощность, излучаемая радиопередатчиком, Вт;  $k_d = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}$  – коэффициент распространения в воздухе;  $F$  – коэффициент ослабления поля за счет земли;  $r$  – расстояние от радиостанции до линии, м.

За счет конечной проводимости земли появляется горизонтальная составляющая поля, мВ/м,

$$E_r = \frac{E_B}{\sqrt{60\lambda\sigma_3}}$$

где  $\lambda$  – длина волны, м;  $\sigma_3$  – проводимость земли, Ом/м.

Эта горизонтальная составляющая поступает в линию и является источником помех (рисунок П.13). Чем выше частота и меньше проводимость грунта, тем больше  $E_r$  и мешающее влияние в кабеле. Наибольшее влияние оказывается при прохождении кабеля в грунтах с большим сопротивлением (песке, суглинке, скальных породах).

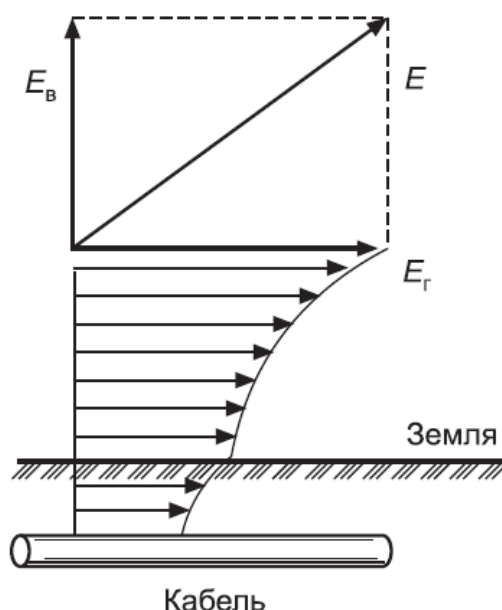


Рисунок П.13. Природа влияния РС на НСЭ

Существенно сказывается взаимное расположение ЛС и радиостанции. Этот фактор принципиально может быть оценен формулой  $E_{r\varphi} = E_r \cos\varphi$ , где  $\varphi$  — угол взаимного расположения РС и НСЭ. При перпендикулярном расположении НСЭ относительно РС влияние минимально. Максимальное влияние происходит при прохождении трассы кабеля в створе действия РС. В общем виде при любом расположении трассы кабеля относительно РС влияние может быть определено по формуле

$$E_{r\varphi} = \frac{2,45\sqrt{P_{\text{ИЗ}}}}{\sqrt{60\lambda\sigma_3}} \cdot \frac{r}{r^2 + a^2} \cdot F \cdot e^{-k_l(r^2/l)},$$

где  $a$  – кратчайшее расстояние от РС до НСЭ, м;  $r$  – длина кабеля, м.

На рисунке П.14 показано изменение влияния радиостанции  $E_{r\varphi}$  на линию связи в зависимости от ее длины. На графике видны две зоны влияния: зона I охватывает углы  $\varphi'$  от 90 до 50°, зона II – углы  $\varphi''$  от 40 до 0°. В первой зоне ( $r < a$ ), как видно из формулы, с увеличением  $r$  величина  $E_{r\varphi}$  и, соответственно, влияние растут.

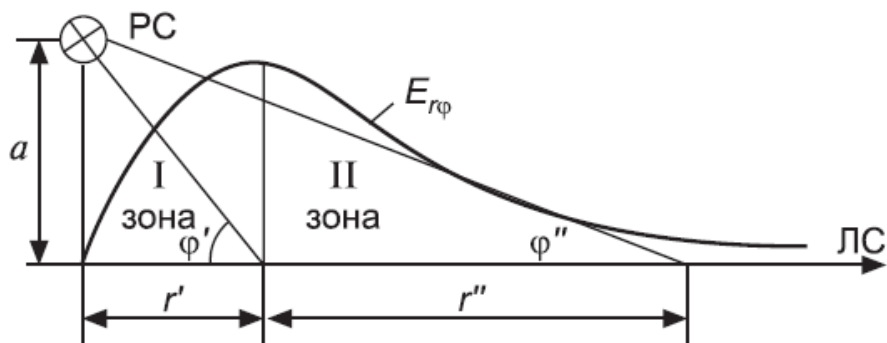


Рисунок П.14. Влияние РС на НСЭ при различных длинах линии

Физически это объясняется тем, что здесь линия близка к перпендикулярному расположению относительно РС. Во второй зоне ( $r > a$ ) с увеличением  $r$  величина  $E_{r\varphi}$  и влияние радиостанции уменьшаются. В этом случае линия близка к радиальному расположению относительно РС и, чем дальше от нее рассматриваемый участок линии, тем меньше влияние. Максимальное влияние имеет место на стыке двух зон при  $\varphi = 40...50^\circ$ .

Различные типы НСЭ в зависимости от конструкции и их экранирующих свойств в разной степени подвержены влияниям. Установлены примерно следующие зоны мешающего влияния РС на различные типы линий связи (таблица П.6).

Таблица П.6. Зоны мешающего влияния РС на различные типы линий связи

Тип кабеля	Зона влияния, км
Симметричный кабель с оболочкой:	
свинцовой	7,7
алюминиевой	1,4
стальной	3,3
Коаксиальный кабель, не более	1

## 11. Основные меры защиты сооружений связи от внешних влияний

Для предохранения сооружений связи от внешних электромагнитных влияний проводится комплекс защитных мер как на влияющих линиях (ВВЛ, ЭЖД, РС), так и на НСЭ, подверженных влиянию. Перечень основных мероприятий приведен в таблице П.7.

Таблица П.7. Основные мероприятия по защите сооружений связи от внешних влияний

Источник внешнего влияния	Характер влияния	Мероприятия, проводимые на линиях	
		влияющих	связи
ВВЛ	Опасные и мешающие поля $E$ и $H$	1. Автоматическое отключение ВВЛ. 2. Сглаживающие фильтры. 3. Экранирующие тросы. 4. Разземление нейтрали. 5. Токоограничивающие устройства	1. Относ трассы. 2. Каблирование. 3. Скрещивание и симметрирование. 4. Экранирование. 5. Разрядники и предохранители. 6. Заземление
ЭЖД	Опасное и мешающее поле $H$	1. Сглаживающие фильтры. 2. Отсасывающие трансформаторы. 3. Увеличение проводимости и изоляции рельсов. 4. Автоматическое отключение ЭЖД	1. Относ трассы. 2. Каблирование. 3. Скрещивание и симметрирование. 4. Экранирование. 5. Разрядники и предохранители. 6. Заземление
Атмосферное электричество	Опасное поле $E$		1. Молниеотводы на ВЛС. 2. Тросы на кабельных ЛС. 3. Каскадная защита. 4. Разрядники и предохранители
РС	Мешающие поля $E$ и $H$	1. Выбор несущей частоты	1. Относ трассы. 2. Каблирование. 3. Скрещивание и симметрирование

Далее рассматриваются основные мероприятия, проводимые в первую очередь на линиях и установках связи.

## 12. Защита от грозы кабельных линий

Необходимость грозозащиты подземного кабеля связи определяют расчетом по ожидаемому числу повреждений от ударов молнии на 100 км трассы. Ожидаемое число повреждений может быть определено в зависимости от числа грозовых дней в году для каждой местности.

Защитная способность кабелей связи от воздействия грозы, т. е. их грозостойкость, характеризуется параметром добротности,  $A \cdot \text{км}$ ,



$$Q = U / R,$$

где  $U$  – электрическая прочность кабеля, кВ;  $R$  – сопротивление оболочки постоянному току, Ом/км.

Чем больше  $U$  и меньше  $R$ , тем выше грозостойкость кабеля. Для различных типов кабелей грозостойкость характеризуется данными, представленными в таблице П.8.

Таблица П.8. Грозостойкость различных типов кабелей

Параметр	Тип кабеля						
	Симметричный					Коаксиальный	
	МКС	МКСА	МКСС	МКП	МКПА	МКТ	МКТА
$U$ , кВ	1,3	1,3	1,3	25	25	3,7	3,7
$R$ , Ом/м	2,1	0,4	2,5	2,1	0,4	1,5	0,3
$Q$ , А·км	0,62	3,24	0,52	12	16,5	12,4	22,3

Из приведенных данных следует, что наибольшей грозостойкостью обладают кабели со сплошной полиэтиленовой изоляцией в алюминиевой оболочке. Такие кабели имеют высокую электрическую прочность и малое сопротивление оболочки (высокое экранирующее действие).

Из представленных в таблице кабелей лучше других симметричный кабель МКПА ( $Q = 16,5$ ) и коаксиальный МКТА ( $Q = 22,3$ ). Принято считать кабели грозостойкими, если их добротность достигает 50. При более высокой добротности – примерно 80 и больше – кабель считается полностью защищенным от воздействия грозовых разрядов.

Если грозостойкость кабелей недостаточна, то их дополнительно защищают с помощью биметаллических или стальных тросов.

Если кабельная трасса проходит вблизи отдельных деревьев или вдоль леса при расстоянии между трассой и деревьями менее 15 м (удельное сопротивление грунта  $\rho \leq 300$  Ом·м) и менее 50 м ( $\rho \geq 300$  Ом·м), между кабелем и деревьями (лесом) прокладывают заземленные стальные тросы на всем протяжении участка. Для отдельных деревьев трос укладывают полудугой (рисунок П.15). Глубина прокладки троса около 80 см. При прокладке кабеля на опушке леса следует соблюдать оптимальное расстояние до деревьев.

В случае прокладки кабеля вдоль полотна ЭЖД или вдоль металлического трубопровода на расстоянии не более 8 м от них защиту от ударов молнии можно не применять независимо от грозовой активности и удельного сопротивления грунта. Защиту кабелей от ударов молнии осуществляют с помощью биметаллических или стальных тросов. Тросы прокладывают выше кабеля на глубине, равной половине его залегания, но не менее 0,4 м от поверхности грунта (рисунок П.16).

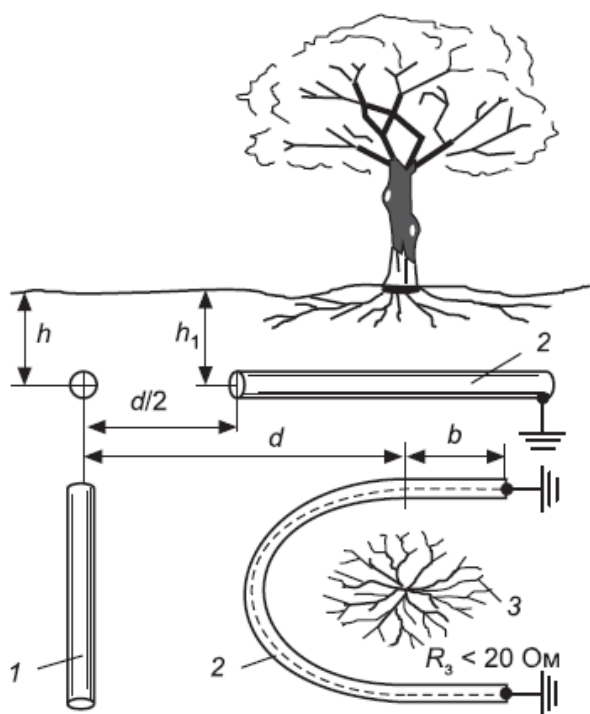


Рисунок П.15. Перехват токов молнии, попавших в дерево: 1 — кабель; 2 — защитный трос; 3 — дерево

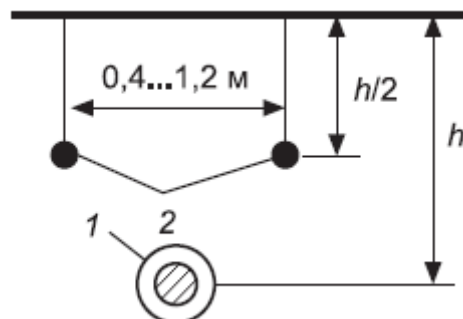


Рисунок П.16. Устройство грозо-защитных тросов: 1 — кабель; 2 — тросы

Расстояние между тросами 0,4...1,2 м. Тросы по всей длине через определенные интервалы должны иметь заземления. Число защитных проводов или тросов определяют расчетным путем. Хорошую грозозащиту дает также установка малогабаритных разрядников непосредственно в соединительных муфтах кабеля.

### 13. Экранирующие тросы

Радикальным средством защиты кабелей связи от воздействия ВВЛ, ЭЖД, грозы и радиостанций является применение экранирующих оболочек. Они полностью локализуют электростатическое влияние и существенно снижают магнитное влияние. Наряду с экранирующими оболочками защитное действие оказывают также тросы, подвешиваемые на линиях (влияющих и подверженных влиянию), и рельсовые пути ЭЖД. Принцип экранирующего действия троса и рельса виден из рисунка П.17.

При прохождении по ВВЛ тока в тросе и в линии связи индуцируются соответственно токи  $I_{13}$  и  $I_{12}$ . В свою очередь, ток  $I_{13}$  наводит в линии связи ток  $I_{32}$ , который находится в противофазе с током  $I_{12}$  и уменьшает его:  $I_{\text{рез}} = I_{12} - I_{32}$ .

Таким образом, влияние при наличии троса ( $I_{\text{рез}} = I_{12} - I_{32}$ ) меньше, чем без троса ( $I_{\text{рез}} = I_{12}$ ). Эффективность использования троса тем выше, чем меньше его сопротивление и лучше он заземлен.

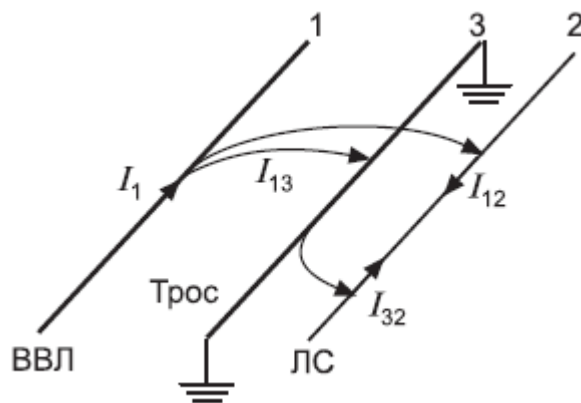


Рисунок П.17. Принцип экранирующего действия троса (рельса)

Экранирующее действие троса имеет порядок 0,5...0,6, а рельсов — 0,4...0,5. Суммарное экранирующее действие кабельной оболочки  $S_0$ , троса  $S_T$  и рельсов  $S_p$  определяется в виде  $S = S_0 S_T S_p$ .

## 14. Устройство заземлений

Заземление — это устройство, состоящее из заземлителей и проводников, соединяющих заземлители с электрическими установками. Заземлителем называют проводник или группу проводников, выполненных из проводящего материала и находящихся в непосредственном соприкосновении с грунтом. Заземлители, могут быть любой формы — в виде трубы, стержня, полосы, листа, проволоки и т. д.

В зависимости от выполняемых заземлениями функций различают рабочее, защитное и линейно-защитное заземления.

В технике связи рабочим заземлением называют устройство, предназначенное для соединения аппаратуры с землей, служащей одним из проводников электрической цепи. К защитным относятся заземления, предназначенные для соединения с землей приборов защиты (молниеотводов, разрядников), а также металлических частей силового оборудования. Линейно-защитными заземлениями называют устройства для заземления металлических оболочек и экранов кабелей.

Отношение потенциала заземлителя к стекающему с него току называется сопротивлением заземления:  $R_z = U_z / I_z$ . Сопротивление заземления зависит от удельного сопротивления грунта и площади соприкосновения заземлителей с землей. Нормы сопротивления заземлений для различных установок проводной связи приведены в ГОСТ.

По своей конструкции заземлители разделяются на вертикальные стержневые, горизонтальные протяженные, кольцевые, пластинчатые и глубинные. Чаще всего применяются вертикальные заземлители трубчатого типа.

Исходя из требуемых сопротивлений заземлителей, необходимости получения достаточной механической прочности и удобства обычно используют трубы диаметром 2,5...5 см и длиной 1,5...3 м (рисунок П.18, а).

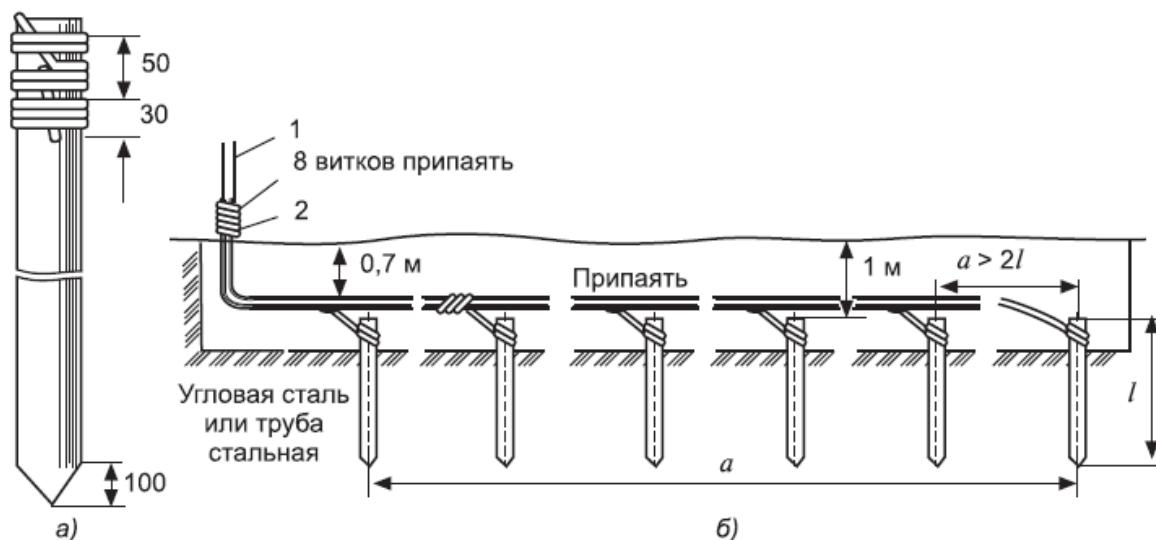


Рисунок П.18. Устройство трубчатых заземлений: а – одиночного; б – многоэлектродного: 1 – проволока стальная диаметром 4...5 мм, 2 – проволока перевязочная диаметром 2 мм

Если сопротивление одного заземлителя, например при одной трубе, велико, то заземлитель устраивают из нескольких труб, соединенных между собой. Такой заземлитель называют многоэлектродными (рисунок П.18, б).

Общее сопротивление многоэлектродного заземлителя уменьшается не совсем пропорционально числу единичных заземлителей, соединенных параллельно, поэтому при расчете вводится поправочный коэффициент  $\eta$ . В этом случае  $R_{\Sigma N} = R_{\Sigma} / (N\eta)$ , где  $N$  – число труб;  $\eta$  – поправочный коэффициент использования заземлителей, зависящий от расстояния между заземлителями и их взаимного расположения ( $\eta = 0,19...0,92$ ).