

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

ЗАЩИТА ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ
ВЛИЯНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И
ГРОЗОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Учебное пособие
по дисциплине «Направляющие системы и пассивные
компоненты систем телекоммуникаций»
для студентов специальности
45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»
всех форм обучения

Минск 2003

УДК 621.395(075.8)
ББК 32.889 я 7
3 40

Рецензент:

зав. кафедрой систем и устройств телекоммуникаций БГУИР,
д-р техн.наук, проф. В.К. Конопелько

Авторы:

Я.В. Алишев, Д.Е. Бородин, В.И. Глушко, Э.П. Ковалев,
В.Н. Урядов, О.Е. Ямный

3 40 **Защита** линий связи от опасных и мешающих влияний линий электропередачи и грозových воздействий: Учеб. пособие по дисциплине «Направляющие системы и пассивные компоненты систем телекоммуникаций» для студентов специальности 45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций» всех форм обучения/ Я.В. Алишев, Д.Е. Бородин, В.И. Глушко и др. – Мн.: БГУИР, 2003. – 65 с.: ил.

ISBN 985-444-456-2

В учебном пособии приводятся положения теории взаимных влияний, даются нормативно-технические материалы по защите линий связи от опасных и мешающих влияний линий электропередачи и грозových воздействий, рекомендации для выбора защитных мероприятий и их конструктивного исполнения. Рассматриваются традиционные воздушные и волоконно-оптические линии связи, симметричные воздушные линии электропередачи с напряжением 6-35 кВ и 110-750 кВ.

УДК 621.395(075.8)
ББК 32.889 я 7

ISBN 985-444-456-2

© Коллектив авторов, 2003
© БГУИР, 2003

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ ВЛИЯНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ГРОЗОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	8
1.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	8
1.2. Параметры опасных и мешающих влияний.....	10
1.3. Параметры гальванического влияния.....	14
1.4. Параметр термического влияния.....	15
1.5. Параметры грозовых воздействий.....	15
1.6. Типы защитных мероприятий и их параметры.....	16
1.7. ПОРЯДОК ВЫБОРА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....	172
2. ЗАЩИТА ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ ВЛИЯНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ.....	18
2.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	18
2.2. Параметры опасных влияний и их расчет.....	19
2.3. Параметры мешающих влияний и их расчет.....	19
2.4. Расчет параметров опасных и мешающих влияний.....	22
2.5. Защита ЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ с помощью электромагнитного экранирования.....	26
2.6. Защита КЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ с помощью редукционных трансформаторов.....	31
2.7. Защита ЛС от опасных влияний ВЛ с помощью разрядников.....	36
3. ЗАЩИТА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ.....	37
3.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	37
3.2. ПАРАМЕТРЫ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ И ИХ РАСЧЕТ.....	37
3.3. Рекомендации и мероприятия по защите КЛС от гальванического влияния.....	38
4. ЗАЩИТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ВЛ.....	40

4.1.	ОСНОВНЫЕ
ПОЛОЖЕНИЯ.....	40
4.2. Определение времени действия тока ОКЗ на кабели ОКГТ.....	40
4.3. Определение величины тока ОКЗ в кабеле ОКГТ при защите его противовесами-заземлителями.....	41
4.4. Рекомендации по выполнению противовесов-заземлителей для защиты кабелей ОКГТ от термического повреждения.....	42
5. ЗАЩИТА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ГРОЗОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.....	44
5.1.	ОСНОВНЫЕ
ПОЛОЖЕНИЯ.....	44
5.2. Защита КЛС от ударов молнии при их прохождении по первой зоне местности.....	45
5.3. Защита КЛС от ударов молнии при их прохождении по второй и третьей зонах местности.....	56
ЛИТЕРАТУРА.....	63

Библиотека БГУИР

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ЛС – линия связи;

КЛС – кабельная линия связи;

ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи;

ВЛС – воздушная линия связи;

ВОК – волоконно-оптический кабель;

ОКГТ – волоконно-оптический кабель, встроенный в грозозащитный трос ВЛ;

ЛЭП – линия электропередачи;

ВЛ – воздушная линия электропередачи;

УП – усилительный пункт связи;

НУП – необслуживаемый усилительный пункт связи;

ОУП – обслуживаемый усилительный пункт связи;

ПС – подстанция или электрическая станция;

ЗУ – заземляющее устройство (ПС, УП, НУП, ОУП);

ОКЗ – однофазное короткое замыкание в высоковольтной сети;

ЭДС – электродвижущая сила при влиянии ВЛ на ЛС;

НТМ – нормативные технические материалы;

ДТМ – директивные технические материалы;

МТМ – методические технические материалы.

ВВЕДЕНИЕ

Линии связи, проходящие вблизи и вдоль линий электропередачи, подвергаются их электромагнитному влиянию. В результате этого часто создаются условия, которые характеризуются как опасные и мешающие влияния ЛЭП на линии связи.

Для кабельных линий связи энергетического назначения, заходящих на подстанции, опасные ситуации могут иметь место при выносе по их оболочкам повышенного потенциала в случае однофазного короткого замыкания на ПС или в сети ЛЭП вблизи ПС. Кроме того, ЛС всех назначений подвергаются опасному воздействию грозových влияний при прямом ударе в них молнии или при ударе молнии в близкое от них место.

Проблему защиты ЛС от мешающего влияния ЛЭП в значительной мере позволяет решить применение волоконно-оптических кабелей, однако для тех кабелей, которые в своей конструкции имеют протяженные металлические элементы (металлические покровы, медные жилы), проблема их защиты от опасного влияния ЛЭП и грозových воздействий еще не решена.

В последнее время на электроэнергетических объектах начали использоваться ЛС, основанные на применении встроенных в грозозащитные тросы воздушных линий волоконно-оптических кабелей типа ОКГТ, которые характеризуются допустимым уровнем теплового импульса. В режиме ОКЗ на ЛЭП вследствие нагревания грозозащитного троса могут создаваться опасная ситуация, ухудшение рабочих функций ЛС. В связи с этим важной нетрадиционной проблемой является защита ОКГТ от термического повреждения при ОКЗ на ЛЭП.

Действующие нормативно-технические материалы по защите ЛС от опасных и мешающих влияний линий электропередачи и грозových воздействий [1-5] и их методические основы [22-24] были разработаны в 60 – 70 годах и нашли отражение в директивных технических материалах [8-14, 17-19]. Однако за прошедшие годы в СНГ были выполнены новые разработки в рассматриваемой области, которые позволяют улучшить методические основы выбора защитных мероприятий.

В учебном пособии рассматриваются воздушные линии связи, КЛС и ВОЛС, которые могут содержать линии однопроводного телеграфирования, абонентские линии телефонных каналов тональной частоты, цепи проводного вещания и дистанционного питания, телеуправления и телесигнализации.

ВЛС и КЛС защищаются от опасных и мешающих влияний ЛЭП и грозовых воздействий. ВОЛС, прокладываемые в земле, защищаются от опасных влияний ЛЭП и грозовых воздействий. В пособии рассматриваются ВОЛС, кабели которых содержат протяженные металлические элементы (металлические покровы, медные жилы линий дистанционного питания, линий управления и информационных линий). Объясняется это тем, что только на такие ВОЛС оказывают опасное влияние ЛЭП и грозовые воздействия. ВОЛС со встроенным в грозозащитный трос кабелем ОКГТ защищаются от термического повреждения при ОКЗ на ЛЭП.

В дальнейшем в разделах защиты ЛС от опасных влияний ЛЭП и грозовых воздействий КЛС и прокладываемые в земле ВОЛС, если не будет сделана особая оговорка, обозначаются как КЛС. В учебном пособии рассматриваются опасные мешающие влияния на ЛС при работе ЛЭП, однако влияние на ЛС каналов высокочастотной связи по проводам ВЛ не рассматривается. Кроме того, не рассматриваются и специальные защитные мероприятия, к которым относится защита ЛС с помощью разделительных трансформаторов и дренажных катушек, а также мероприятия по защите КЛС, заходящих на территорию ПС, так как они достаточно полно изложены в [1].

Контроль за проведением защитных мероприятий на ЛС и их эксплуатацией возлагается на ведомства, эксплуатирующие ЛС. Выбор защитных мероприятий связан с необходимостью выполнения специальных расчетов по определению параметров электромагнитного влияния ЛЭП на линии связи и грозовых воздействий на линии связи. Такие расчеты могут быть выполнены по Программному комплексу [21], который включает:

- «Программу расчета опасных и мешающих влияний линий электропередачи на линии связи» (Программа ОРМ);
- «Программу расчета выноса потенциала по кабельным линиям связи» (Программа VNP);
- «Программу выбора мероприятий по защите кабельных линий связи от грозовых воздействий» (Программа GRV);
- «Базу данных по конструктивным и электрическим параметрам кабелей связи» (База данных РКС).

1. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ ВЛИЯНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ГРОЗОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

1.1. Основные положения

Мероприятия по защите ЛС от влияний ЛЭП и грозových воздействий выбираются с учетом физических процессов, которые происходят при этом в ЛС.

Исходя из особенностей воздействия на ЛС и подходов к выбору защитных мероприятий, рассматриваются следующие виды влияний ВЛ на ЛС и грозových воздействий на ЛС:

- электромагнитные опасные и мешающие влияния (опасные влияния, мешающие влияния);
- гальванические опасные влияния (гальванические влияния);
- термические опасные влияния (термические влияния);
- грозových опасные воздействия (грозových воздействия).

Опасные влияния вызываются появлением в цепях ЛС напряжений и токов, которые могут создавать опасность для здоровья и жизни обслуживающего персонала и абонентов, а также вызывать повреждения самих ЛС и подключенных к ним оборудования и приборов. Мешающие влияния вызываются появлением в каналах ЛС помех, которые нарушают нормальную работу каналов.

Опасные влияния на ЛС оказывают высоковольтные ЛЭП 110–750 кВ и ЛЭП 6–35 кВ при аварийном режиме работы, которым является:

- для ЛЭП 110–750 кВ – режим ОКЗ;
- для ЛЭП 6–35 кВ – режим замыкания на землю одной фазы.

ЛЭП 110–750 кВ оказывают опасные влияния на все виды ВЛС и КЛС, в том числе и на ВОЛС, имеющие в кабелях протяженные металлические элементы. ЛЭП 6–35 кВ оказывают опасные влияния только на ВЛС.

Мешающие влияния на ЛС оказывают ЛЭП 110–750 кВ и ЛЭП 6–35 кВ в нормальном режиме работы при рабочем токе и эквивалентном влияющем токе. **Под нормальным режимом работы ЛЭП при рабочем токе понимается режим работы ВЛ с максимальной нагрузкой. Под эквивалентным влияющим током понимается ток частотой 800 Гц, который, протекая по влияющей ЛЭП, индуцирует в телефонной линии те же помехи, что и действительный ток со всеми его гармониками.**

При расчете мешающего влияния ЛЭП на ЛС кроме напряжения и тока ВЛ используются специальные параметры: психофотометрический фазовый ток и психофотометрический ток нулевой последовательности, психофотометрическое фазовое напряжение, телефонный формфактор напряжения ЛЭП и телефонный формфактор тока ЛЭП, эквивалентный влияющий ток и коэффициент чувствительности телефонных цепей к помехам.

Псофометрический фазовый ток и псофометрический ток нулевой последовательности - токи, приведенные к частоте 800 Гц, с учетом коэффициентов статического воздействия всех составляющих гармоник, включая основную частоту.

Псофометрическое фазовое напряжение - напряжение, приведенное к частоте 800 Гц с учетом коэффициентов акустического воздействия всех составляющих гармоник, включая основную частоту.

Телефонный формфактор тока ЛЭП - отношение псофометрического значения фазового тока к его эффективному значению.

Телефонный формфактор напряжения ЛЭП - отношение псофометрического фазового напряжения к его эффективному значению.

Коэффициент чувствительности телефонных цепей к помехам - отношение помех на клеммах нагрузки двухпроводной телефонной цепи к напряжению в однопроводной цепи при определенной частоте влияющего тока в ЛЭП.

Термическое влияние ЛЭП на ЛС с ОКГТ происходит в результате нагрева троса при ОКЗ на ЛЭП до критической температуры, при которой оптоволокно начинает мутнеть и ухудшать свои рабочие характеристики. Термическое влияние на ЛС оказывают ЛЭП 110–750 кВ при аварийном режиме работы, которым является режим ОКЗ.

При грозовых воздействиях КЛС повреждаются в результате пробоя изоляции кабеля, который может происходить либо в момент ввода тока в кабель, либо при его протекании по оболочке кабеля, сопровождающемся появлением импульсного потенциала между жилами и оболочкой. Кроме того, могут повреждаться оборудование и аппаратура, установленные в узлах связи, необслуживаемых и обслуживаемых усилительных пунктах (НУП, ОУП), при близких к ним ударах молнии в КЛС.

Зона электромагнитного влияния ЛЭП на ЛС характеризуется сближением ЛС и ЛЭП, шириной сближения ЛС и ЛЭП и длиной участка их сближения.

Сближение между ЛС и ЛЭП - такое их взаимное расположение, при котором ЛС может находиться в зоне опасного или мешающего влияния. **Ширина сближения между ЛС и ЛЭП** - кратчайшее расстояние между ними. **Длина участка сближения** - длина проекции ЛС на ось ЛЭП в пределах данного участка сближения.

Расчетным участком ЛС для определения параметров опасного влияния является гальванически неразделенный участок ЛС: усилительный участок ЛС или участок ЛС по длине полусекции дистанционного питания. Расчетным участком ЛС для определения параметров мешающего влияния является усилительный участок ЛС.

Трасса проектируемой ЛС должна выбираться с учетом того, чтобы ЛС была удалена от ЛЭП на такое расстояние, при котором уровень опасных и мешающих влияний не превышает допустимых величин. Если по техническим, экономическим или эксплуатационным условиям выполнение этого требования окажется нецелесообразным или невозможным, применяются защитные меро-

приятия, основными из которых являются следующие: экранирование ЛС или ЛЭП с помощью различного рода экранов (металлические покровы кабелей, существующие экраны, специально устраиваемые экраны); защита разрядниками ВЛС; защита разрядниками КЛС при выносе по ним повышенного потенциала с заземляющего устройства (ЗУ) ПС; частичное каблирование ВЛС.

При выборе защитных мероприятий для КЛС от грозовых воздействий различают три характерные зоны, в которых прокладываются КЛС. К первой зоне относятся равнинная открытая и лесистая местность. Вторая зона характеризуется наличием возвышающихся над землей объектов (опор ЛЭП, опор ВЛС, отдельно стоящих деревьев, аллей деревьев, участков леса и др.). Третья зона характеризуется избирательностью поражения молнией определенного участка поверхности земли.

При прокладке КЛС в первой зоне местности защита их от грозовых воздействий осуществляется на основе принципа уменьшения величины вводимого импульсного тока в кабель связи путем распределения тока молнии по другим направлениям с помощью прокладки вблизи КЛС подземных проводов и тросов (подземных проводов). При прокладке КЛС во второй зоне местности защитные мероприятия основываются на перехвате тока молнии при его распространении к КЛС с помощью прокладываемых в земле подземных проводов. При прокладке КЛС в третьей зоне местности защитные мероприятия основываются на использовании подземных проводов или системы перехвата тока молнии с помощью молниеотводов.

1.2. Параметры опасных и мешающих влияний

Опасное влияние ЛЭП на ЛС оценивается по величине напряжения между проводом ВЛС и землей и между жилой КЛС и землей, а для ВОЛС – между жилой и металлическими покровами кабеля и землей.

Норма на допустимое напряжение $U_{\text{оп.доп}}$ принимается равной норме на допустимую ЭДС $E_{\text{оп.доп}}$, которая наводится на расчетном участке ЛС одной из влияющих ВЛ при аварийных режимах работы влияющих ВЛ. Для оценки максимального уровня напряжения принимается, что провод и жила ЛС на расчетном участке с одного конца разземлены, а с другого конца идеально заземлены (сопротивление заземления равно нулю).

Нормированные величины $E_{\text{оп.доп}}$ при опасных влияниях ВЛ на ВЛС, КЛС и ВОЛС приведены в табл. 1.1. и табл. 1.2.

При защите ЛС разрядниками нормируются допустимая величина напряжения цепей ЛС относительно земли $U_{\text{ц.з.доп}}$ и допустимая величина падения напряжения на сопротивлении заземления разрядника $U_{\text{з.р.доп}}$, нормированные значения которых приведены в табл. 1.3.

Параметрами мешающего влияния ВЛ на ЛС являются напряжения и токи помех в цепях ЛС, которые наводятся всеми влияющими ВЛ в цепях ЛС на расчетном участке ЛС при нормальном режиме работы ВЛ 110-750 кВ и ВЛ 6-35 кВ, а также при аварийном режиме работы на одной из ВЛ 6-35 кВ. Нор-

мированные величины мешающего напряжения $U_{ш.доп}$ и мешающего тока $I_{ш.доп}$ при влиянии ВЛ на ЛС приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.1

Допустимые продольные ЭДС на проводах цепей воздушных и кабельных ЛС, индуктируемые ВЛ с заземленной нейтралью при однофазном коротком замыкании фазового провода на землю

№ п/п	Наименование цепей связи для различных ЛС	Допустимые индуцированные ЭДС $E_{оп.доп}$ на длине неразделенного участка сближения $B_{эфф}$
1	2	3
1	<p>Междугородные кабельные ЛС:</p> <p>без дистанционного питания усилителей или с дистанционным питанием их по системе «провод-провод» с незаземленным выходом источника питания</p> <p>с дистанционным питанием усилителей по системе «провод-земля» постоянным током и «провод-провод» с заземленным источником постоянного тока</p> <p>с дистанционным питанием усилителей по системе «провод-провод» переменным током с заземленной средней точкой источника питания в начале или в конце цепи дистанционного питания</p>	$\leq U_{исп}$ $\leq U_{исп} - \frac{U_{д.п}}{\sqrt{2}}$ $\geq U_{исп} - \frac{U_{д.п}}{2}$
2	<p>Городские кабельные ЛС:</p> <p>при наличии цепей дистанционного питания</p> <p>при отсутствии дистанционного питания</p>	<p>Применяются нормы первых трех позиций данной таблицы</p> <p>Не более испытательного напряжения изоляции жил кабеля по отношению к металлической оболочке кабеля строительной длины</p>

переменный ток..... ≤ 10 кВ
 постоянный ток..... ≤ 20 кВ

Таблица 1.3

Допустимые падения напряжения на проводах воздушной ЛС по отношению к земле и на жилах заземления разрядников при их работе [1]

Время отключения поврежденного участка ВЛ основной защитой, с	Допустимое падение напряжения, В	
	на проводах, $U_{ц.з.доп}$	на жилах, $U_{з.р.доп}$
До 0,15	1300	Не более величин, указанных в табл. 1.1
До 0,30	1000	
До 0,60	750	
Свыше 0,60	500	

Таблица 1.4

Допустимые величины напряжений или токов помех в каналах проводной связи от влияния ВЛ [2]

Канал (цепь) проводной связи	Допустимая величина напряжения шума $U_{ш.доп}$, мВ или тока помех $I_{ш.доп}$, мА	Участок и точка цепи, к которым отнесена допустимая величина напряжения или тока помех
1	2	3
Междугородной тональной частоты по воздушным и кабельным линиям связи МС и МПС	1,5	Усилительный участок (линейные входные клеммы междугородного коммутатора в точке с относительным уровнем полезного сигнала - 0,8 Нп)
Цепь городской и внутрирайонной связи по воздушным и кабельным линиям	1,5	Расстояние от абонента до абонента при местном соединении или от абонента до МТС при междугородном соединении (линейные клеммы телефонного аппарата)

1	2	3
Избирательной связи МПС	1,0	Круг избирательной связи (линейные входные клеммы усилителя или коммутатора в точке с относительным уровнем полезного сигнала - 1,6 Нп)
Служебной связи тональной частоты по кабельным линиям МС	3,5	Участок длиной 1200 км
Межстанционной связи МПС	2,25	Расстояние между двумя соседними станциями (линейные клеммы телефонного аппарата)
ВЧ систем уплотнения по стальным и цветным цепям воздушных ЛС	0,4 0,04	Переприемный участок Усилительный участок (линейные входные клеммы усилителя приема)
Однопроводного телеграфирования при передаче: однополюсной двухполюсной	0,1 I _{раб} 0,15 I _{раб}	Трансляционный участок (линейные клеммы телеграфного аппарата)

Примечание

Нормальные входящие токи (I_{раб}) для телеграфных аппаратов различных типов имеют следующие величины, мА:

- стартстопного аппарата СТ-2М(СТА-2М), работающего без реле.....45-50
- стартстопного аппарата, работающего через реле.....30-35
- стартстопного аппарата, работающего по дуплексной схеме.....25
- многократного синхронного аппарата БОДО (в зависимости от кратности).....22-25
- аппарата Морзе.....15-20

1.3. Параметры гальванического влияния

При гальваническом влиянии вследствие выноса повышенного потенциала по КЛС с ЗУ ПС определяется напряжение между жилой и землей на первом от ПС УП с целью защиты установленных на УП оборудования и аппаратуры и, кроме того, определяется напряжение между оболочкой и землей для оценки стойкости изоляции кабеля связи при действии выносимого потенциала.

Нормированная величина напряжения для кабелей связи, оборудования и аппаратуры связи при гальваническом влиянии выносимого повышенного потенциала по КЛС $U_{гв.доп}$ не должна превышать испытательного напряжения

$U_{исп}$ изоляции жил кабеля по отношению к экрану или металлической оболочке, а также оборудования и аппаратуры по отношению к корпусу.

Испытательное напряжение $U_{исп}$ приводится в соответствующей документации по кабелям связи.

1.4. Параметр термического влияния

При термическом влиянии ВЛ на ЛС с ОКГТ расчетным параметром является энергия теплового импульса W_k , которая выделяется при ОКЗ на ВЛ в ОКГТ и зависит от величины тока ОКЗ и времени его действия. Допустимая величина энергии W_k приводится в соответствующей документации к ОКГТ.

1.5. Параметры грозовых воздействий

Параметры грозовых воздействий зависят от характерной зоны, по которой прокладывается КЛС. При прокладке КЛС в первой характерной зоне, к которой относятся равнинная открытая и лесистая местности, нормируемым параметром влияний грозовых воздействий является вероятное число опасных ударов молнии в кабели связи n_0 (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Допустимое число опасных ударов молнии в кабельные линии связи [3]

№ п/п	Типы кабеля связи	Допустимое расчетное число опасных ударов молнии в КЛС на 100 км трассы в год n_0
1	Симметричные одночетверочные и однокоаксиальные	0,3
2	Симметричные четырех- и семичетверочные	0,2
3	Многопарные коаксиальные	0,2
4	Кабели зонной связи	0,5

При прокладке КЛС во второй и третьей характерных зонах, к которым соответственно относятся местность с наличием возвышающихся над землей объектов и местность с повышенной избирательностью поражения молнией определенных участков поверхности земли, нормируемым параметром грозовых воздействий является допустимое расстояние от КЛС до поражаемого молнией объекта. Численные значения указанных расстояний приведены в разд. 5 (табл.5.1).

1.6. Типы защитных мероприятий и их параметры

На практике наиболее часто используются два основных способа защиты ЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ: первый способ основан на снижении уровня индуктируемой ЭДС с помощью электромагнитного экранирования ЛС; второй способ основан на шунтировании цепей ЛС с помощью разрядников. В пособии рассмотрен также и специальный способ защиты КЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ с помощью редуцированных трансформаторов.

Электромагнитное экранирование цепей ЛС осуществляется с использованием основных и дополнительных экранов. Основными экранами являются: оболочка, броня рассматриваемого кабеля связи (металлические покровы кабеля). К дополнительным экранам относятся: кабели, проложенные в одной траншее с рассматриваемым кабелем; подземные провода, проложенные по трассе кабелей для защиты ЛС от грозовых воздействий; металлические трубы, проложенные вблизи трассы кабеля; заземленные тросы, подвешенные между ЛС и ВЛ или на опорах ВЛ и ЛС; другие протяженные металлические коммуникации и проводящие конструкции или сооружения.

Основным мероприятием по защите КЛС от грозовых воздействий является прокладка подземных проводов, что способствует уменьшению величины тока молнии, протекающего по кабелю связи. Как указывалось выше, подземные провода всегда являются дополнительными экранами для защиты КЛС от опасных и мешающих влияний. Поэтому мероприятия, предусмотренные для защиты КЛС от грозовых воздействий с помощью подземных проводов, в полной мере являются мероприятиями для защиты КЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ.

Параметром защитных мероприятий, основанных на принципе электромагнитного экранирования цепей ЛС, является коэффициент экранирования, который характеризует способность защитных мероприятий снижать уровень параметров опасного и мешающего влияний.

Параметрами защитных мероприятий, основанных на применении разрядников, являются падения напряжения провода ВЛС или жилы КЛС относительно земли и падение напряжения на сопротивлении заземления разрядников при их работе.

Нормирование параметров защитных мероприятий для КЛС от грозовых влияний зависит от зоны местности, в которой проложена КЛС. При прохождении КЛС по равнинной открытой и лесистой местности вероятность повреждения молнией единицы длины КЛС одинакова и зависит от среднего числа разрядов молнии в единицу площади поверхности земли, интенсивности грозовой деятельности в заданной местности. С учетом этого основным защитным мероприятием КЛС от грозовых воздействий является прокладка вдоль трассы КЛС подземных проводов. Подземные провода при ударе молнии в КЛС позволяют уменьшить ток в металлических покровах кабелей связи и тем самым снизить уровень грозовых воздействий.

Расчетным параметром защитных проводов является коэффициент тока в проводах η , который характеризует степень снижения величины тока в металлических покровах кабелей связи при защите их подземными проводами. Рекомендации по определению величины η для заданных типов кабелей связи приведены в разд. 5.

При прохождении КЛС других зон местности расчетным параметром защитных мероприятий от грозовых перенапряжений является допустимое расстояние от КЛС до объекта, в который ударяет молния. Рекомендации по определению допустимых расстояний приведены в разд. 5.

1.7. Порядок выбора защитных мероприятий

Защитные мероприятия должны выбираться с учетом всех мероприятий по защите ЛС как от электромагнитных влияний ВЛ, так и от грозовых воздействий.

В первую очередь выявляются и учитываются существующие дополнительные экраны. Дополнительные экраны типа тросов, подвешенных на опорах ВЛ, или опорах между ВЛ и ЛС, целесообразно применять для одновременной защиты нескольких кабелей связи, так как общая стоимость индивидуальных защит кабелей связи может значительно превышать стоимость устройства рассматриваемых дополнительных экранов. При проектировании особое внимание должно быть уделено дополнительным экранам типа подземных проводов, используемых для защиты КЛС от грозовых влияний. Такие дополнительные экраны практически являются основными защитными конструкциями. Выбранные защитные мероприятия должны затем использоваться при решении задачи защиты КЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ.

2. ЗАЩИТА ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ ВЛИЯНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

2.1. Основные положения

В пособии рассматриваются три наиболее распространенных способа защиты ЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ: электромагнитное экранирование электрических цепей ЛС, включение редуционных трансформаторов, использование разрядников.

Выбор защитных мероприятий производится по величине параметров влияния ВЛ на ЛС, которые определяются расчетным путем. При защите ЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ с использованием электромагнитного экранирования цепей ЛС расчетным параметром влияния является коэффициент экранирования. При защите ЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ с помощью редуционных трансформаторов параметром влияния также является коэффициент экранирования, так как по своей физической сущности редуционные трансформаторы способствуют уменьшению величины коэффициента экранирования.

Величина коэффициента экранирования защитных мероприятий $S_э$ при заданной величине расчетных параметров опасных ($U_{оп.р}$) и мешающих влияний ($U_{ш.р}$, $I_{ш.р}$) на концах расчетного участка ЛС и их нормируемых величин $U_{оп.доп}$, $U_{ш.доп}$, $I_{ш.доп}$ должна удовлетворять условиям:

$$S_э \leq \frac{U_{оп.доп}}{U_{оп.р}}; \quad (2.1)$$

$$S_э \leq \frac{U_{ш.доп}}{U_{ш.р}}; \quad (2.2)$$

$$S_э \leq \frac{I_{ш.доп}}{I_{ш.р}}. \quad (2.3)$$

Разрядниками от опасных влияний ВЛ защищаются ВЛС и КЛС. При этом расчетными параметрами защиты являются напряжения цепей ЛС относительно земли $U_{ц.р.р}$, которые должны удовлетворять условиям:

$$U_{ц.з.р} \leq U_{ц.з.доп}, В; \quad (2.4)$$

$$U_{з.р.р} \leq U_{з.р.доп}, В, \quad (2.5)$$

где $U_{ц.з.доп}$ – нормируемая величина напряжения цепей ЛС относительно земли при защите ЛС от опасных влияний ВЛ разрядниками, В;

$U_{з.р.доп}$ – нормируемая величина падения напряжения на сопротивлении заземления разрядника, В.

2.2. Параметры опасных влияний и их расчет

Расчетные параметры опасных влияний ВЛ на ЛС характеризуются величиной напряжения на концах расчетного участка сближения (в УП) $U_{оп.р}$, которое принимается равным величине наводимой ВЛ в ЛС ЭДС $E_{оп.р}$.

Применительно к ВЛС и КЛС параметры опасного влияния представляются в виде [1, 16, 21]:

- для ВЛС (влияющие ВЛ 110-750 кВ и ВЛ 6-35 кВ)

$$U_{оп.р} = E_{оп.р} = \sqrt{U_{п.м}^2 + U_{п.э}^2}, \text{ В}; \quad (2.6)$$

- для КЛС (влияющие ВЛ 110-750 кВ)

$$U_{оп.р} = E_{оп.р} = U_{ж.м}, \text{ В}, \quad (2.7)$$

где $U_{п.м}$, $U_{п.э}$ — магнитная и электрическая составляющие напряжения между проводом ВЛС и землей, В;

$U_{ж.м}$ — магнитная составляющая напряжения между жилой кабеля и землей, В.

2.3. Параметры мешающих влияний и их расчет

Цепи однопроводного телеграфирования

Мешающий ток в телеграфном аппарате однопроводного телеграфирования равен [2, 16, 21] при влиянии:

- ВЛ 110-750 кВ в нормальном режиме работы

$$I_{т.г} = \sqrt{I_{т.г.ом}^2 + I_{т.г.фм}^2}, \text{ мА}; \quad (2.8)$$

- ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы

$$I_{т.г} = I_{т.г.фм}, \text{ мА}; \quad (2.9)$$

- ВЛ 6-35 кВ в аварийном режиме работы

$$I_{т.г} = \sqrt{I_{т.г.фм}^2 + I_{т.г.оэ}^2}, \text{ мА}, \quad (2.10)$$

где $I_{т.г.ом}$ - составляющая мешающего тока в телеграфном аппарате, обусловленная магнитным влиянием эффективного тока нулевой последовательности ВЛ 110-750 кВ в нормальном режиме работы, мА;

$I_{т.г.фм}$ - составляющая мешающего тока в телеграфном аппарате, обусловленная магнитным влиянием эффективного фазного тока ВЛ 110-750 кВ и ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы, мА;

$I_{т.г.оэ}$ - составляющая мешающего тока в телеграфном аппарате, обусловленная электрическим влиянием ВЛ 6-35 кВ в аварийном режиме работы, мА.

Цепи телефонных каналов тональной частоты

Напряжение шума в телефонных каналах тональной и высокой частоты равно [2, 16, 21] при влиянии:

- ВЛ 110-750 кВ в нормальном режиме работы

$$U_T = \left| \sqrt{U_{т.ом}^2 + U_{т.фм}^2 + U_{т.фэ}^2} \right|, \text{ мВ}; \quad (2.11)$$

- ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы

$$U_T = \left| \sqrt{U_{т.фм}^2 + U_{т.фэ}^2} \right|, \text{ мВ}; \quad (2.12)$$

- ВЛ 6-35 кВ в аварийном режиме работы

$$U_T = \left| \sqrt{U_{т.фм}^2 + U_{т.оэ}^2} \right|, \text{ мВ}, \quad (2.13)$$

где $U_{т.ом}$ — составляющая напряжения шума в телефонной цепи, обусловленная магнитным влиянием психофотметрического тока нулевой последовательности ВЛ 110-750 кВ, мВ;

$U_{т.фм}$ — составляющая напряжения шума в телефонной цепи, обусловленная магнитным влиянием психофотметрических фазных токов ВЛ 110-750 кВ и ВЛ 6-35 кВ, мВ;

$U_{т.фэ}$ — составляющая напряжения шума в телефонной цепи, обусловленная электрическим влиянием психофотметрических фазовых напряжений ВЛ 110-750 кВ и ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы, мВ;

$U_{т.оэ}$ — составляющая напряжения шума в телефонной цепи, обусловленная электрическим влиянием психофотметрического напряжения нулевой последовательности ВЛ 6-35 кВ в аварийном режиме, мВ.

Абонентские цепи проводного вещания

Напряжение фона в абонентской цепи проводного вещания равно [2, 16, 21] при влиянии:

- ВЛ 110-750 кВ в нормальном режиме работы

$$U_{п.в} = \left| \sqrt{U_{п.в.ом}^2 + U_{п.в.фм}^2 + U_{п.в.фэ}^2} \right|, \text{ мВ}; \quad (2.14)$$

- ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы

$$U_{п.в} = \left| \sqrt{U_{п.в.фм}^2 + U_{п.в.фэ}^2} \right|, \text{ мВ}; \quad (2.15)$$

- ВЛ 6-35 кВ в аварийном режиме работы

$$U_{п.в} = \left| \sqrt{U_{п.в.фм}^2 + U_{п.в.оэ}^2} \right|, \text{ мВ}, \quad (2.16)$$

где $U_{п.в.ом}$ — составляющая напряжения помех на клеммах репродуктора абонентского проводного вещания, обусловленная магнитным влиянием эффективного тока нулевой последовательности ВЛ 110-750 кВ в нормальном режиме работы, мВ;

$U_{п.в.фм}$ — составляющая напряжения помех на клеммах репродуктора абонентского проводного вещания, обусловленная магнитным влиянием эффективного фазного тока ВЛ 110-750 кВ и ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы, мВ;

$U_{п.в.фэ}$ — составляющая напряжения помех на клеммах репродуктора абонентского проводного вещания, обусловленная электрическим влиянием ВЛ 110-750 кВ и ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы, мВ;

$U_{п.в.оэ}$ — составляющая напряжения помех на клеммах репродуктора абонентского проводного вещания, обусловленная электрическим влиянием фазных напряжений ВЛ 6-35 кВ в аварийном режиме работы, мВ.

Напряжение помех в цепях проводного вещания от влияния токов гармоник (кроме основной) ВЛ 110-750 кВ определяется по формуле

$$U_{п.в} = U_{п.в.фм} K_2, \quad (2.17)$$

где K_2 — коэффициент, зависящий от ширины сближения ЛС с ВЛ и удельного сопротивления земли, который определяется по действующим НТМ по величине постоянной распространения.

Цепи дистанционного питания, телеуправления и телесигнализации

Напряжение помех в цепях дистанционного питания, телеуправления и телесигнализации равно [2, 16, 21] при влиянии:

- ВЛ 110-750 кВ в нормальном режиме работы

$$U_{ш} = Z_{вх} \sqrt{I_{ш.ом}^2 + I_{ш.фм}^2}, \text{ мА}; \quad (2.18)$$

- ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы

$$U_{ш} = Z_{вх} I_{ш.фм}, \text{ мА}, \quad (2.19)$$

где $I_{ш.ом}$ — составляющая мешающего тока в аппаратуре дистанционного питания, телеуправления и телесигнализации, обусловленная магнитным влиянием эффективного тока нулевой последовательности ВЛ 110-750 кВ в нормальном режиме работы, мА;

$I_{ш.фм}$ — составляющая мешающего тока в аппаратуре дистанционного питания, телеуправления и телесигнализации, обусловленная магнитным влиянием эффективного фазного тока ВЛ 110-750 кВ и ВЛ 6-35 кВ в нормальном режиме работы, мА;

$Z_{вх}$ — входное сопротивление аппаратуры дистанционного питания, телеуправления и телесигнализации, Ом.

Анализ величин токов ОКЗ и рабочих токов ВЛ, а также нормируемых величин опасного и мешающего влияний для цепей дистанционного питания, телеуправления и телесигнализации показывает, что при защите ЛС от опасного влияния ВЛ всегда обеспечивается защита от мешающих влияний [16].

Величина составляющих $I_{Т.г.ом}$, $U_{Т.ом}$, $U_{П.в.ом}$, $I_{ш.ом}$ вычисляется для каждой фазы ВЛ в отношении фазных углов и представляется в виде арифметической суммы. Величина составляющих $I_{Т.г.фм}$, $U_{Т.фм}$, $U_{П.в.фм}$, $I_{ш.фм}$, $I_{Т.г.оэ}$, $U_{Т.г.оэ}$, $U_{П.в.оэ}$ вычисляется для каждой фазы ВЛ и для одной ВЛ и представляется в виде векторной суммы.

2.4. Расчет параметров опасных и мешающих влияний

Расчет параметров опасных и мешающих влияний основан на методе расчета наведенных напряжений в системе ВЛ [30] и сводится к реализации решения системы дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dU_{ц}}{dx} + I_{ц} Z_{ц} &= -E_{ист}, \\ \frac{dI_{ц}}{dx} + U_{ц} Y_{ц} &= I_{ист}, \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

где $U_{ц}$, $I_{ц}$ — напряжение и ток в рассматриваемой цепи ЛС, В, А;
 $Z_{ц}$, $Y_{ц}$ — полные собственные погонные сопротивление и проводимость цепи ЛС, Ом/м, См/м;
 $E_{ист}$, $I_{ист}$ — ЭДС и ток источника влияния, которым является ВЛ, В, А;
 x — текущая координата вдоль длины цепи ЛС, м.

Влияющие ЭДС и ток равны:

- при расчете составляющих опасного влияния

$$E_{ист} = I_m Z_{мц}, \text{ В}; \quad (2.21)$$

$$I_{ист} = U_m Y_{мц}, \text{ А}; \quad (2.22)$$

- при расчете составляющих мешающего влияния

$$E_{ист} = \sum_{i=1}^N I_m (a_a Z_{амц} + a_b Z_{бмц} + a_c Z_{смц}), \text{ В}; \quad (2.23)$$

$$I_{ист} = \sum_{i=1}^N U_m (a_a Y_{амц} + a_b Y_{бмц} + a_c Y_{смц}), \text{ А}, \quad (2.24)$$

где N — число влияющих ВЛ;

U_m , I_m — напряжение и ток m -й влияющей ВЛ, В, А;

$Z_{мц}$, $Y_{мц}$ — полное взаимное сопротивление и взаимная проводимость между ближайшей к ЛС фазы m -й влияющей ВЛ и рассматриваемой цепью ЛС, Ом/м, См/м;

$Z_{амц}$, $Z_{бмц}$, $Z_{смц}$, $Y_{амц}$, $Y_{бмц}$, $Y_{смц}$ — полные взаимные сопротивления и проводимости между фазами a , b , c m -й влияющей ВЛ и рассматриваемой цепью ЛС, Ом/м, См/м;

$$\begin{aligned}
 a_a &= 1; \\
 a_b &= -(1/2) - j(\sqrt{3}/2); \\
 a_c &= -(1/2) + j(\sqrt{3}/2).
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

Параметры $Z_{мц}$, $Y_{мц}$, $Z_{амц}$, $Z_{бмц}$, $Z_{смц}$, $Y_{амц}$, $Y_{бмц}$, $Y_{смц}$ вычисляются по [25-30]. При этом расчет параметров опасных влияний производится при частоте 50 Гц, а расчет параметров мешающих влияний - при частоте 800 Гц.

При расчете составляющих опасного влияния ВЛ на ЛС в (2.25), (2.23) принимается

$$\begin{aligned}
 U_m &= U_{вл}, \text{ В}; \\
 I_m &= I_3, \text{ А},
 \end{aligned}
 \tag{2.26}$$

где $U_{вл}$ — линейное напряжение ВЛ, В;

I_3 — ток ОКЗ для ВЛ 110 - 750 кВ и ток замыкания на землю для ВЛ 6-35кВ.

При расчете составляющих мешающего влияния ВЛ на ЛС в (2.24), (2.26) принимаются:

$$\begin{aligned}
 I_{т.г.ом}, I_{м.ш.ом} &- I_m = 10^3 I_{о.эф}; \\
 I_{т.г.фм}, I_{м.ш.фм} &- I_m = 10^3 I_{ф.эф}; \\
 I_{т.г.оэ} &- U_m = U_{вл}; \\
 U_{г.ом} &- I_m = I_{о.п.с.оф} K_{10} \eta_{800}; \\
 U_{т.фм} &- I_m = I_{ф.п.с.оф} K_{1ф} \eta_{800}; \\
 U_{т.фэ} &- U_m = U_{вл} \eta_{800}; \\
 U_{т.оэ} &- U_m = U_{вл} \eta_{800}; \\
 U_{п.в.ом} &- I_m = I_{о.эф} \eta_{50}; \\
 U_{п.в.фм} &- I_m = I_{ф.эф} \eta_{50}; \\
 U_{п.в.фэ} &- U_m = U_{вл} \eta_{50}; \\
 U_{п.в.оэ} &- U_m = U_{вл} \eta_{50}.
 \end{aligned}$$

Значения коэффициентов чувствительности η_{50} , η_{800} принимаются по табл. 2.1; значения поправочных коэффициентов K_{10} , $K_{1ф}$ - по табл. 2.2; значения психофизических эффективных токов ВЛ $I_{о.п.с.оф}$, $I_{ф.п.с.оф}$, $I_{о.эф}$ - по табл. 2.3.

Таблица 2.1

Величины коэффициентов чувствительности различных телефонных линий

Тип цепей ЛС	Способ подвески цепей	Коэффициент чувствительности цепи на частоте, кГц			
		0,05	0,8	40	150
1	2	3	4	5	6
Медная или биметаллическая цепь воздушной ЛС	На траверсах	0,001	0,002	-	0,004
	На крюках размером 0,4 м	0,002	0,004	-	0,008

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6
Медная или биметаллическая цепь воздушной ЛС	На крюках размером 0,6 м	0,003	0,006	-	0,01
Стальная цепь воздушной ЛС	На траверсах	0,0025	0,005	0,008	-
	На крюках размером 0,4 м	0,003	0,008	0,010	-
	На крюках размером 0,6 м	0,005	0,010	0,012	-
Телефонные цепи междугородных кабельных ЛС:					
	основные	-	-	0,0013	-
фонтомные	-	-	0,0015	-	-

Примечание. Для ЛС длиной до 10 км значения коэффициентов чувствительности могут быть умножены на 0,66.

Таблица 2.2

Значения поправочных коэффициентов K_{10} и $K_{1\phi}$ [2]

Характер нагрузки	K_{10}	$K_{1\phi}$
Моторно-осветительная	0,23	0,95
Смешанная	0,60	0,85
Выпрямительная	0,85	0,85

Таблица 2.3

Псофометрические токи ВЛ, принимаемые при расчетах мешающего влияния

Тип ВЛ	Характер нагрузки	Псофометрический ток в проводах $I_{\phi, п.с.оф}, А$	Величина телефонного форм-фактора $F_i, \%$	Ток в нейтрали, А	
				$I_{о, п.с.оф}$	$I_{о,эф}$
1	2	3	4	5	6
Симметричная трехфазная с изолированной нейтралью МЭиЭ	Моторно-осветительная	0,5	-	-	-
	Смешанная	0,6	-	-	-
	Выпрямительная	-	1,5	-	-

1	2	3	4	5	6
Симметричная трехфазная с изолированной нейтралью МПС: линии продольного энергоснабжения линии автоблокировки	Выпрямительная	0,3	-	-	-
	То же	0,03	-	-	-
Симметричная трехфазная с заземленной нейтралью напряжением, кВ: 110 150-220 400-500 750	Моторно-осветительная	0,6	-	0,04	1,5
	Смешанная	1,4	-	0,20	6,0
	Выпрямительная	-	1,5	1,80	7,0
	Моторно-осветительная	-	-	-	-
	Смешанная	1,5	-	0,05	2,6
	Выпрямительная	1,7	-	0,25	3,0
	Моторно-осветительная	-	1,5	1,0	7,0
	Смешанная	2,0	-	-	-
	Выпрямительная	3,0	-	0,3	6,0
	Моторно-осветительная	-	-	1,0	10,0
	Смешанная	4,0	-	0,5	10,0
	Выпрямительная	6,0	-	1,5	15,0

Примечания:

1. В зависимости от процентного содержания тока нагрузки ВЛ, питающего выпрямительные установки, нагрузка называется: моторно-осветительной, если в составе общей нагрузки выпрямительная нагрузка не превышает 10%; смешанной, если выпрямительная нагрузка находится в пределах 10-30%; выпрямительной, если эта нагрузка превышает 30%.

2. В расчетах могут быть использованы величины токов, измеренные на конкретных ВЛ.

2.5. Защита ЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ с помощью электромагнитного экранирования

Общий коэффициент экранирования

Основные экраны характеризуются идеальным и реальным коэффициентами экранирования, дополнительные экраны - идеальным коэффициентом экранирования, который имеет место при идеальном заземлении экрана в пределах концов участка сближения ЛС с ВЛ (сопротивление заземлений равно нулю). Реальный коэффициент экранирования учитывает фактор заземления экрана в пределах концов участка сближения ЛС с ВЛ с помощью заземлителей.

При наличии дополнительных экранов общий расчетный коэффициент экранирования S_{op} представляется в виде произведения реального коэффициента экранирования основного экрана S_p и идеальных коэффициентов экранирования дополнительных экранов S_{ui} [21]:

$$S_{op} = S_p \prod_{i=1}^{N_d} S_{ui}, \quad (2.27)$$

где N_d — число дополнительных экранов, шт;
 i — текущий индекс дополнительного экрана.

Коэффициент экранирования основных экранов

Идеальный коэффициент экранирования кабелей связи определяется по выражению [21, 22, 24]:

$$S_u = \left| \frac{R_0}{Z_k} \right|, \quad (2.28)$$

где R_0 — погонное сопротивление постоянному току металлических покровов кабелей связи, Ом/км;

Z_k — полное погонное сопротивление кабелей связи, Ом/км.

Сопротивления R_0 , Z_k либо выбираются по справочной литературе, либо определяются по формулам:

- кабели с оболочкой без брони

$$R_{01} = \frac{\rho_0}{2\pi r_0 \Delta_0}, \text{ Ом}; \quad (2.29)$$

- кабели с броней без оболочки

$$R_{02} = \frac{2\rho_6 r_6}{n_6 ab(a+c)}, \text{ Ом / м}; \quad (2.30)$$

- кабели с оболочкой и броней

$$R_0 = \frac{2R_{01}R_{02}}{R_{01} + R_{02}}, \text{ Ом / м}; \quad (2.31)$$

$$Z_k = R_0 + \frac{\pi\omega}{2}10^{-7} + j\omega10^{-7} \ln \frac{1,72\rho_3}{r_k h_k \omega\mu_0}, \text{ Ом / км}, \quad (2.32)$$

где ρ_0, ρ_6 – удельное сопротивление материала оболочки и брони, Ом·мм²/м (для алюминия – 0,029, для свинца – 0,21, для стали – 0,139);

r_0, r_6 – средний радиус оболочки и брони, мм;

Δ_0 – толщина оболочки, мм;

n_6 – число лент брони;

a, b – ширина и толщина ленты брони, мм;

c – зазор между витками ленты, мм (в случае перекрытия c имеет знак минус);

R_{01} – вычисляется по (2.29);

R_{02} – вычисляется по (2.30);

h_k – глубина прокладки кабелей в траншее, м;

ρ_3 – удельное сопротивление нижних слоев земли, Ом·м.

Параметр ρ_3 принимается по данным геоэлектрического зондирования нижних слоев земли. Если такая информация отсутствует, то ρ_3 выбирается по карте удельных сопротивлений земли [1], или для условий Республики Беларусь приближенно принимается равным $\rho_3 = 30$ Ом·м.

Численные значения идеальных коэффициентов для большинства кабелей связи приведены в соответствующих НТМ. При необходимости идеальный коэффициент экранирования кабелей связи может быть определен по (2.28).

Для кабелей, металлические покровы которых имеют по всей длине постоянный контакт с землей (бронированные кабели без изолирующих покрытий, голые кабели, кабели с джутовым покрытием), реальный коэффициент экранирования равен идеальному коэффициенту экранирования

$$S_p = S_u. \quad (2.33)$$

Для кабелей с изолирующим наружным покровом (из хлорвинила или полиэтилена) реальный коэффициент экранирования отличается от идеального коэффициента экранирования и определяется по выражению [21], которое получено из его представления в комплексной форме [23],

$$S_p = \frac{S_u (1 + \psi)}{\sqrt{1 + S_u^2 (\psi^2 + 2\psi)}}, \quad (2.34)$$

где здесь и дальше приняты обозначения:

$$\psi = (R_{3н} + R_{3к})/R_0 l_c;$$

$R_{3н}, R_{3к}$ — сопротивления заземления металлических покровов кабеля в начале и конце участка сближения ЛС с ВЛ, Ом;

R_0 — погонное сопротивление покровов кабеля, Ом/км;

l_c — длина участка сближения ЛС с ВЛ, км.
Величина сопротивления R_0 определяется по (2.29)–(2.31).

На рис.2.1 и рис.2.2 S_p представлен как функция $S_p=f(S_u, \psi)$ и $S_p=f(\psi, S_u)$.

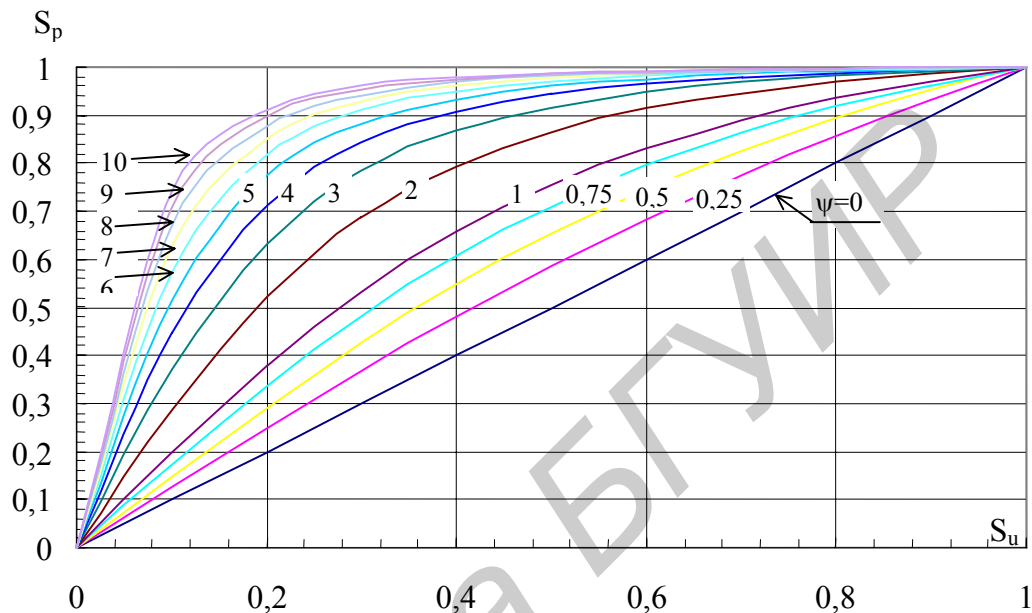


Рис.2.1. Зависимость $S_p = f (S_u, \psi)$

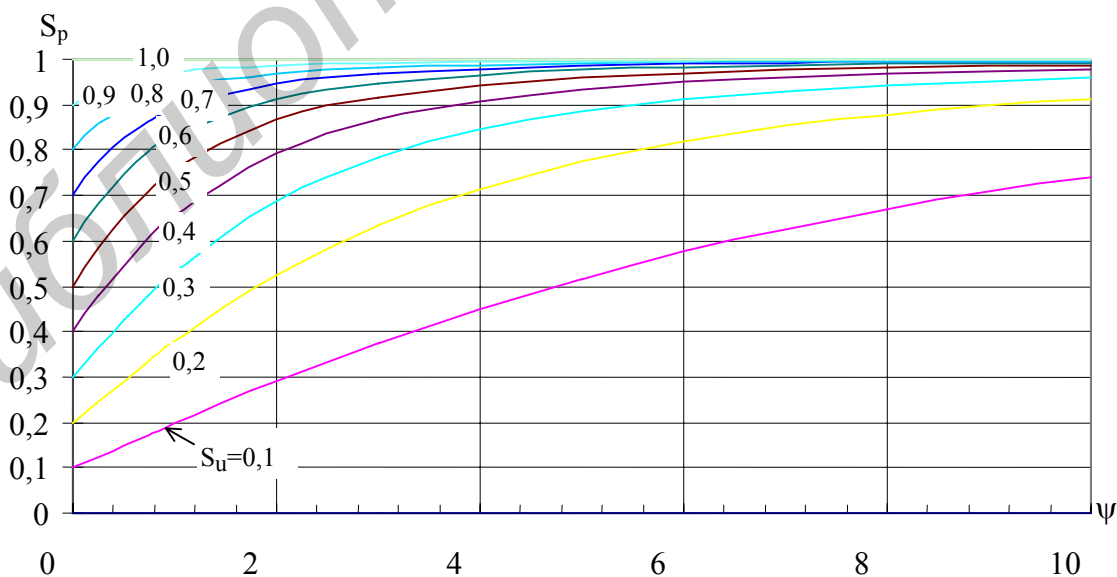


Рис.2.2. Зависимость $S_p = f (\psi, S_u)$

Идеальные коэффициенты экранирования дополнительных экранов

Идеальные коэффициенты экранирования (S_u) можно рассчитать с помощью металлических покровов N_k одинаковых кабелей, проложенных в одной траншее с рассматриваемым кабелем связи, [21, 23]:

$$S_u = \left| \frac{Z_k}{Z_k + N_k Z_{kk}} \right|, \quad (2.35)$$

где Z_k - полное погонное сопротивление металлических покровов, расположенных в траншее кабелей, Ом/км;

Z_{kk} - среднее взаимное погонное сопротивление между рассматриваемым кабелем и проложенными в траншее кабелями, Ом/км.

Сопротивление Z_k определяется по (2.32), а сопротивление Z_{kk} - по формуле

$$Z_{kk} = j\omega 10^{-7} \ln \frac{0,86\rho_3}{y_{kk} h_k \omega \mu_0}, \text{ Ом/км}, \quad (2.36)$$

где y_{kk} - среднее расстояние между кабелями, м;

ρ_3 - удельное сопротивление земли;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м;

$\omega = 2\pi f$, рад/с.

Одинаковые тросы числом N_T , подвешенные над землей:

- между ВЛ и ЛС на примерно одинаковом от них расстоянии [21, 23]

$$S_u = \left| 1 - \frac{N_T Z_{TC} Z_{BC}}{Z_{BC} [Z_T + Z_{TT} (N_T - 1)]} \right|; \quad (2.37)$$

- на опорах ВЛ

$$S_u = \left| 1 - \frac{N_T Z_{BT}}{[Z_T + Z_{TT} (N_T - 1)]} \right|; \quad (2.38)$$

- вблизи ЛС или на опорах ВЛС

$$S_u = \left| 1 - \frac{N_T Z_{TC}}{[Z_T + Z_{TT} (N_T - 1)]} \right|, \quad (2.39)$$

где Z_T - полное погонное сопротивление троса, Ом/км;

Z_{BC} - взаимное погонное сопротивление между ВЛ и ЛС, Ом/км;

Z_{BT} - среднее погонное взаимное сопротивление между ВЛ и тросами, Ом/км;

Z_{TC} - среднее погонное взаимное сопротивление между тросами и ЛС, Ом/км;

Z_{TT} - среднее погонное сопротивление между тросами, Ом/км.

Сопротивления Z_T , Z_{BC} определяются по формулам:

$$Z_T = \frac{\rho_M}{\pi r_T^2} + \frac{\pi \omega}{2} 10^{-7} + j\omega 10^{-7} \ln \frac{560 \sqrt{\rho_3 / \omega}}{r_T}, \text{ Ом/км}; \quad (2.40)$$

$$Z_{BC} = j\omega 10^{-7} \ln \frac{560 \sqrt{\rho_3 / \omega}}{y_{BT}}, \text{ Ом/км}, \quad (2.41)$$

где y_{BT} – среднее расстояние между ВЛ и ЛС для Z_{BC} , м;
 $\rho_3 = \rho_3$.

Одинаковые подземные провода числом N_{Π} , проложенные в земле над рассматриваемым кабелем связи [21, 23]:

$$S_u = \left| \frac{Z_{\Pi}}{Z_{\Pi} + N_{\Pi} Z_{кп}} \right|, \quad (2.42)$$

где Z_{Π} – полное погонное сопротивление подземного провода, Ом/км;
 $Z_{кп}$ – среднее погонное взаимное сопротивление между рассматриваемым кабелем и подземными проводами, Ом/км.

Сопротивления Z_{Π} , $Z_{кп}$ определяются по формулам:

$$Z_{\Pi} = \frac{\rho_M}{\pi r_{\Pi}^2} + \frac{\pi \omega}{2} 10^{-7} + j\omega 10^{-7} \ln \frac{1,72 \rho_3}{r_{\Pi} h_{\Pi} \omega \mu_0}, \text{ Ом/км}; \quad (2.43)$$

$$Z_{кп} = j\omega 10^{-7} \ln \frac{0,86 \rho_3}{y_{кп} h_{к} \omega \mu_0}, \text{ Ом/км}, \quad (2.44)$$

где r_{Π} – радиус подземного провода, мм;
 $y_{кп} = \sqrt{(h_{к} - h_{\Pi})^2 + 0,25 b_{\Pi}^2}$ – среднее расстояние между кабелем и подземными проводами, м;
 $h_{к}$, h_{Π} – глубина прокладки в земле кабеля и подземных проводов, м;
 b_{Π} – расстояние между крайними подземными проводами, м;
 ρ_M – удельное сопротивление металла подземных проводов, которое принимается равным: для стальных подземных проводов $\rho_M = 0,139 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$, для сталеалюминевых подземных проводов $\rho_M = 0,029 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$.

Стальные трубы числом $N_{тр}$, проложенные вдоль трассы КЛС,

$$S_u = \frac{\ln \frac{y_{cp}}{r_{тр}} + N_{тр} \ln \frac{y_{кт}}{y_{cp}}}{\ln \frac{y_{cp}}{r_{тр}} + N_{тр} \ln \frac{1,72 \rho_3}{y_{cp} \omega \mu_0}}, \quad (2.45)$$

где $r_{тр}$ – радиус трубы, м;
 y_{cp} – среднее расстояние между трубами, м;
 $y_{кт}$ – расстояние между кабелем связи и ближайшим трубопроводом, м.

Соседние провода ВЛС числом $N_{\text{пр}}$ для рассматриваемой цепи ВЛС [21]:

$$S_u = \frac{1}{1 + 0,4N_{\text{пр}}} \quad (2.46)$$

Железнодорожные рельсы при расстояниях железнодорожного полотна до ВЛ или ЛС:

- неэлектрифицированная однопутная железная дорога

$$S_u = 0,9 \text{ до } 50 \text{ м}, S_p = 1,0 \text{ до } 50-100 \text{ м};$$

- неэлектрифицированная двухпутная железная дорога

$$S_u = 0,8 \text{ до } 50 \text{ м}, S_p = 0,9 \text{ до } 50-100 \text{ м};$$

- электрифицированная однопутная железная дорога

$$S_u = 0,56 \text{ до } 50 \text{ м}, S_p = 0,8 \text{ до } 50-100 \text{ м};$$

- неэлектрифицированная двухпутная железная дорога

$$S_u = 0,46 \text{ до } 50 \text{ м}, S_p = 0,7 \text{ до } 50-100 \text{ м},$$

где S_u – идеальный коэффициент экранирования,

S_p – реальный коэффициент экранирования.

2.6. Защита КЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ с помощью редуционных трансформаторов

Редуционный трансформатор представляет собой электротехническое устройство, позволяющее увеличить индуктивность металлических покровов кабеля и тем самым способствовать уменьшению величины реального коэффициента экранирования основных экранов [11, 21].

Первичная и вторичная обмотки редуционного трансформатора имеют одинаковое число витков. Роль первичной обмотки выполняет оболочка кабеля, вторичной — жилы кабеля. Первичная оболочка трансформатора (оболочка кабеля) включается продольно в разрез металлической оболочки кабеля, а вторичная (жилы кабеля) — продольно в разрез рабочих жил кабеля на участке сближения.

На практике наибольшее распространение получили три типа редуционных трансформаторов:

- ОСГР-1х4/8-80УХЛ1 с оболочками, выполненными кабелем марки ЗКАШп - 1х4х1.2;

- ОСГР-4х4/8-80УХЛ1 с оболочками, выполненными кабелем марки МКСАШп - 4х4х1.2;

- ОСГР-1/8-80УХЛ1 с оболочками, выполненными кабелем марки ВКПАП-1.

Кроме того, трансформатор ОСГР-1х4/8-80УХЛ1 имеет две обмотки для возможности защиты с помощью одного трансформатора сразу двух кабелей при двухкабельной системе связи. При однокабельной системе связи обмотки трансформатора включаются последовательно.

Редуционные трансформаторы используются для улучшения реального коэффициента экранирования КЛС, которые выполнены кабелем, идентичным по своим рабочим характеристикам кабелям обмоток трансформатора. Редуционные трансформаторы применяются для улучшения коэффициента экрани-

рования от опасных и мешающих влияний ВЛ симметричных и однокоаксиальных кабелей связи, металлические покровы которых изолированы от земли шланговыми покрытиями.

В табл. 2.4 указаны марки кабелей защищаемых ЛС в зависимости от типа редуционных трансформаторов (тр-ров).

Таблица 2.4

Исходные данные для применения редуционных трансформаторов

№ п/п	Тип редуционного трансформатора	Марка кабеля тр-ра	Длина кабеля в тр-ре, м	Испытательное напряжение оболочки кабеля, кВ	Типы кабелей защищаемых ЛС
1	ОСГР-1х4/8-80УХЛ1	ЗКАШп-1х4х1,2	101,5	8,0	ЗКВ, ЗКП, ЗКПАШп, КСПП, МКСАШп - 1х4х1,2
2	ОСГР-4х4/8-80УХЛ1	МКСАШп-4х4х1,2	105,0	8,0	МКСА-4х4х1,2 МКССтШп-4х4х1,2
3	ОСГР-1/8-80УХЛ1	ВКПАП-1	180,5	8,0	ВКПАП-1, ВКПАПт-1

Реальный коэффициент экранирования основных экранов с использованием редуционных трансформаторов определяется по выражению [21], которое получено из его представления в комплексной форме [11]:

$$S_{рт} = \frac{1 + \varphi}{\sqrt{(1 + \varphi)^2 + \left(\frac{\sqrt{1 - S_u^2}}{S_u} + \varphi \right)^2}}, \quad (2.47)$$

где $\varphi = (\omega L_{тр} n_{тр}) / R_0 I_c$;

$L_{тр}$ - индуктивность трансформатора, Гн/км;

$n_{тр}$ - количество трансформаторов на участке сближения, шт;

S_u - идеальный коэффициент экранирования кабеля связи.

Индуктивность редуционного трансформатора является функцией тока в кабеле, который в свою очередь зависит от режима заземления концов кабеля данной марки в пределах участка сближения с ВЛ и от ЭДС, которая наводится на участке сближения.

Взаимная зависимость тока в кабеле и индуктивности трансформатора существенно усложняет процедуру определения последней. В связи с этим на

практике индуктивность редуционного трансформатора определяют по максимальному току в кабеле, который равен

$$I_{\text{МК}} = \frac{E_{\text{ср}}}{R_o(1+\psi)} = \frac{E_{\text{пол}}}{R_{\text{общ}}}, \text{ А}, \quad (2.48)$$

где $E_{\text{ср}}$ — средняя ЭДС на участке сближения, В/км;
 $E_{\text{пол}} = E_{\text{ср}}l_c$ — полная ЭДС на участке сближения, В;
 $R_{\text{общ}} = R_o l_c + R_n + R_k$ — общее активное сопротивление основных экранов, Ом.

Определение $L_{\text{тр}}$ в зависимости от $I_{\text{МК}}$ несколько уменьшает эффективность использования редуционных трансформаторов, однако это идет в запас рабочих функций защитных мероприятий. Величина $L_{\text{тр}}$ для рассматриваемых редуционных трансформаторов приведена в [11].

Приблизненно $L_{\text{тр}}$ (погрешность не выше 5%) может быть представлена выражением вида

$$L_{\text{тр}} = aI_{\text{МК}}^b, \text{ Гн}, \quad (2.49)$$

где a, b — коэффициенты аппроксимации.

Коэффициенты аппроксимации равны:

- для трансформатора ОСГР-1х4/8-80УХЛ1 при включении одной обмотки
 $a = 1,65; b = 0,44$ при $I_{\text{МК}} = 0,1-0,5 \text{ А}$,
 $a = 0,73; b = -0,74$ при $I_{\text{МК}} = 0,5-50 \text{ А}$;
- для трансформатора ОСГР-1х4/8-80УХЛ1 при включении двух обмоток
 $a = 7,38; b = 0,47$ при $I_{\text{МК}} = 0,1-0,3 \text{ А}$,
 $a = 1,7; b = -0,76$ при $I_{\text{МК}} = 0,3-40 \text{ А}$;
- для трансформатора ОСГР-4х4/8-80УХЛ1
 $a = 2; b = 0,6$ при $I_{\text{МК}} = 0,1-0,6 \text{ А}$,
 $a = 1; b = -0,73$ при $I_{\text{МК}} = 0,6-25 \text{ А}$;
- для трансформатора ОСГР-1/8-80УХЛ1
 $a = 8,67; b = 0,46$ при $I_{\text{МК}} = 0,1-0,3 \text{ А}$,
 $a = 3,33; b = -0,31$ при $I_{\text{МК}} = 0,3-50 \text{ А}$.

Наибольшую эффективность использования редуционных трансформаторов для уменьшения реального коэффициента экранирования основных экранов можно оценить при не учете фактора экранирования основных экранов, т.е. при $S_u = 1$. В этом случае для S_p будем иметь [35]

$$S_p = \frac{1+\varphi}{\sqrt{(1+\varphi)^2 + \varphi^2}} \quad (2.50)$$

или

$$S_p = \frac{1+\varphi}{1+(a \cdot n_{\text{тр}} \omega)^2 \frac{E_{\text{пол}}^{2b}}{R_{\text{общ}}^{2(b+1)}}} \quad (2.51)$$

На рис. 2.3 – 2.6 S_p представлен как функция $S_p = f(E_{\text{пол}}, R_{\text{общ}})$ для одного из рассматриваемых редукционных трансформаторов при частотах (f), равных 50 Гц и 800 Гц.

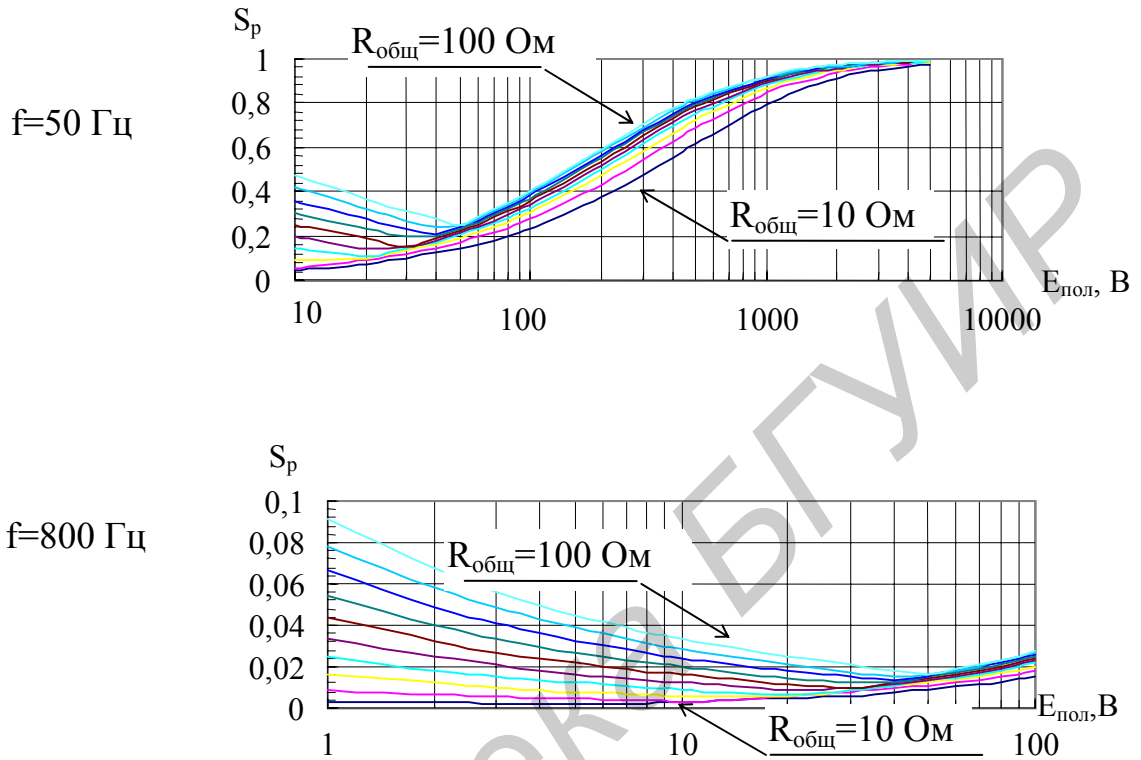


Рис. 2.3. Зависимость $S_p=f(E_{\text{пол}}, R_{\text{общ}}=10,20,30,40,50,60,70,80,90, 100 \text{ Ом})$ для редукционного трансформатора ОСГР-1х4/8-80УХЛ1 при включении одной обмотки

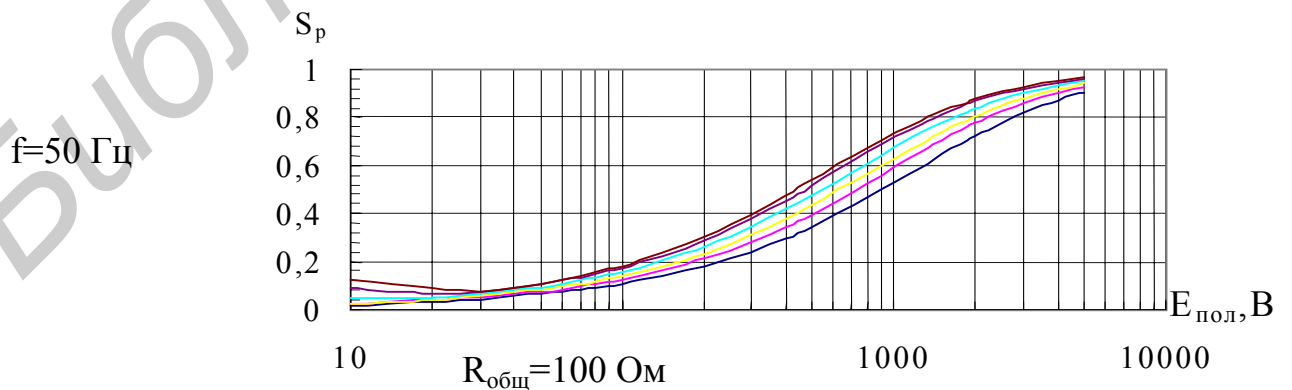


Рис. 2.4. Зависимость $S_p=f(E_{\text{пол}}, R_{\text{общ}}=10,20,30,40,50,60,70,80,90,100 \text{ Ом})$ для редукционного трансформатора ОСГР - 1х4/8-8 $R_{\text{общ}}=10 \text{ Ом}$ включения двух обмоток

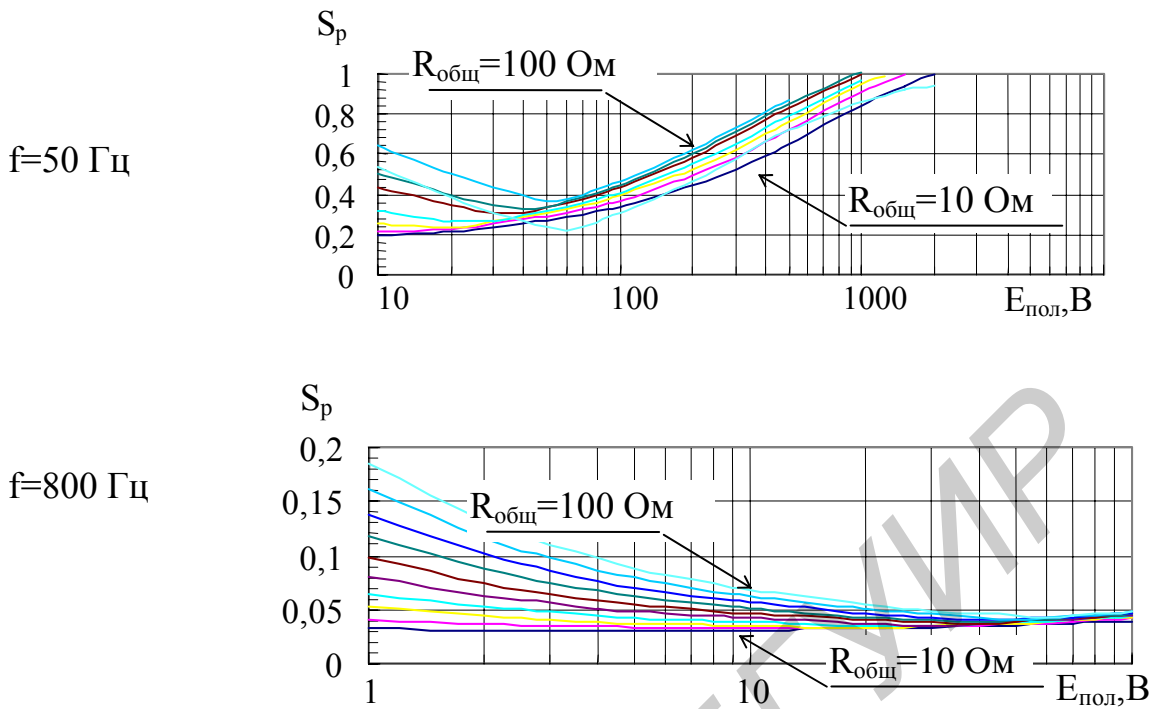


Рис. 2.5. Зависимость $S_p=f(E_{\text{пол}}, R_{\text{общ}}=10,20,30,40,50,60,70,80,90,100 \text{ Ом})$ для редуционного трансформатора ОСГР - 4x4/8-80УХЛ1

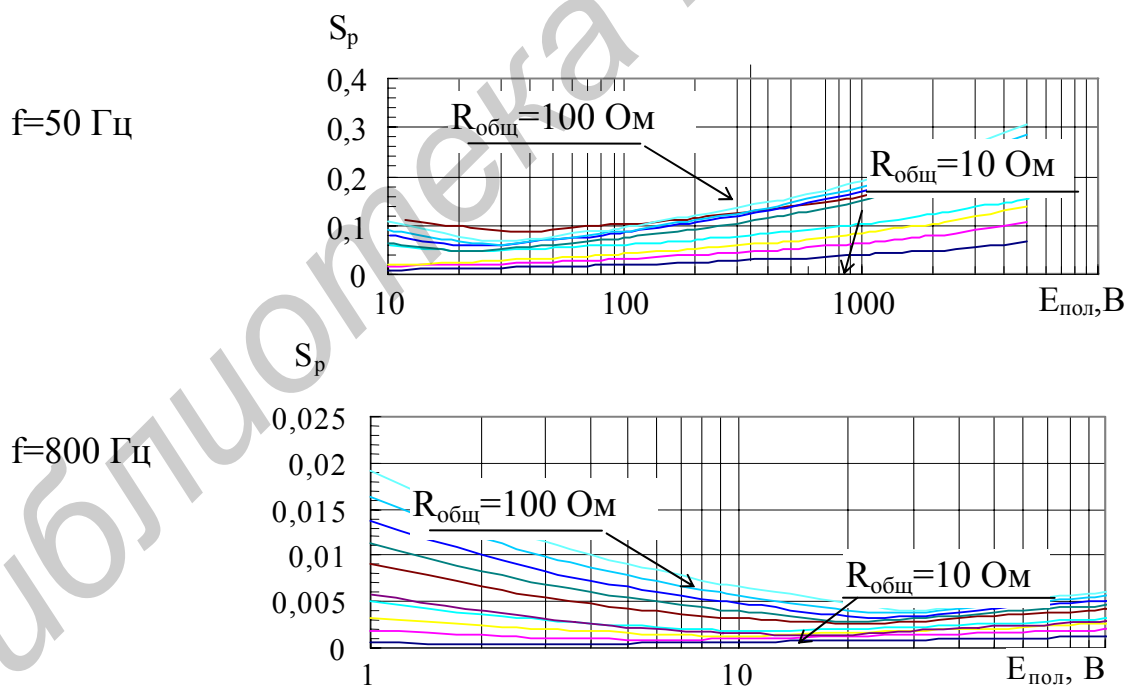


Рис. 2.6. Зависимость $S_p=f(E_{\text{пол}}, R_{\text{общ}}=10,20,30,40,50,60,70,80,90,100 \text{ Ом})$ для редуционного трансформатора ОСГР - 1/8-80УХЛ1

Редуционные трансформаторы устанавливаются на тех участках сближения КЛС с ВЛ, на которых ЭДС влияния по сравнению с другими участками сближения наибольшая.

При использовании редуционных трансформаторов для защиты КЛС от опасных и мешающих влияний ВЛ необходимо учитывать следующее:

- редуционные трансформаторы вносят затухание в тракт передачи сигналов по цепям КЛС. Включение одного трансформатора эквивалентно удлинению КЛС на длину кабеля в трансформаторе (см. табл. 2.2), поэтому при применении редуционных трансформаторов необходимо выполнять условие, чтобы на усилительном (расчетном) участке электрическая длина кабелей связи не превышала номинальную длину;
- редуционный трансформатор может устанавливаться в любой точке заданного участка сближения КЛС с ВЛ;
- допускается установка в одном месте нескольких редуционных трансформаторов;
- защищаемый редуционным трансформатором участок КЛС заземляется путем присоединения металлических покровов кабеля к заземлителям по концам защищаемого участка КЛС. При установке нескольких редуционных трансформаторов в одном месте выполняется общее заземление КЛС для всех трансформаторов.

2.7. Защита ЛС от опасных влияний ВЛ с помощью разрядников

Тип разрядника выбирается по напряжению провода относительно земли в месте его установки $U_{оп.р}(x)$ и по току, протекающему через разрядник при его срабатывании $I_{зр}$, который равен

$$I_{зр} = \frac{U_{оп.р}(x)}{R_{зр}}, \text{ А}, \quad (2.52)$$

где $R_{зр}$ – сопротивление заземления разрядника, Ом.

В месте установки разрядника определяется падение напряжения на нем при его срабатывании

$$U_{зр.р} = I_{зр}R_{зр}, \text{ В}. \quad (2.53)$$

Разрядник включается между проводом ВЛС и землей и между жилой КЛС и землей. На КЛС разрядники устанавливаются в ОУП.

3. ЗАЩИТА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ

3.1. Основные положения

Кабели связи, заходящие на территорию ПС, в обязательном порядке заземляются путем присоединения металлических покровов к ЗУ ПС. В режиме ОКЗ на ПС или на ВЛ вблизи ПС ЗУ приобретает потенциал относительно удаленных точек земли, величина которого может достигать до 5 кВ, 10 кВ и более.

Первый от ПС УП в большинстве случаев может рассматриваться как находящийся в отдаленной точке земли. В связи с этим при ОКЗ по кабелям связи может выноситься повышенный потенциал, представляющий определенную опасность для нормального функционирования КЛС.

3.2. Параметры гальванического влияния и их расчет

При расчете опасного гальванического влияния определяются:

- напряжение между оболочкой и землей для оценки стойкости изоляции оболочки кабеля связи, U_{03} ;
- ток в разрядниках, I_p .

Напряжение U_{03} и ток I_p определяются по формулам:

$$U_{03} = 1,12U_0, \text{ В}; \quad (3.1)$$

$$I_p = U_{03} / Z_{ж} l_{ж}, \text{ А}, \quad (3.2)$$

где U_0 – напряжение в оболочке кабеля в месте расположения первого от ПС УП, В;

$Z_{ж}$ – погонное сопротивление жилы кабеля связи, Ом/км;

1,12 – коэффициент, учитывающий периодическую составляющую ОКЗ и фактор распределения потенциала ЗУ ПС по длине кабеля связи.

Сопротивление $Z_{ж}$ определяется по формуле

$$Z_{ж} = \frac{17,5}{\pi l_{ж}^2} + \frac{\pi \omega}{2} 10^{-7} + j \omega 10^{-7} \ln \frac{1,72 \rho_z}{r_{ж} h_k \omega \mu_0}, \text{ Ом/км}, \quad (3.3)$$

где r – радиус жилы, м;

h_k – глубина прокладки кабелей в траншее, м;

$\omega = 2\pi f$;

$f = 50$ Гц.

Напряжение U_0 определяется в результате реализации решения системы дифференциальных уравнений [29]:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dU_o}{dx} &= -I_o Z_o - I_6 Z_{o6}; \\
 \frac{dU_6}{dx} &= -I_6 Z_6 - I_o Z_{o6}; \\
 \frac{dI_o}{dx} &= 0; \\
 \frac{dI_6}{dx} &= -\frac{1}{R_o} (U_6 - U_{3y}),
 \end{aligned} \right\} (3.4)$$

где U_o, I_o, U_6, I_6 — напряжения и токи в оболочке и броне кабеля связи, В, А;
 Z_o, Z_6 — полное продольное сопротивление оболочки и брони кабеля связи, Ом;
 Z_{o6} — полное взаимное сопротивление между оболочкой и броней, Ом;
 U_{3y} — напряжение на ЗУ ПС, В.

3.3. Рекомендации и мероприятия по защите КЛС от гальванического влияния

Защита КЛС при выносе по ним повышенного потенциала с территории ПС производится на первом от ПС УП. Основным защитным мероприятием является установка разрядника.

При выносе по КЛС повышенного потенциала с территории ПС защитные мероприятия должны обеспечивать величину напряжения в цепи “жила—земля” и “металлические покровы—земля” кабеля связи, не превышающую величину их электрической прочности. При этом обязательным условием является заземление металлических покровов кабеля как на ЗУ ПС, так и на ЗУ УП.

При выборе защитных мероприятий от выноса опасных потенциалов по КЛС необходимо руководствоваться следующим:

- на участке от ПС до первого УП КЛС защита должна выполняться кабелем с металлическими покровами. Желательно, чтобы металлические покровы имели контакт с землей;
- металлические покровы кабелей связи должны заземляться как на ЗУ ПС, так и на ЗУ УП;
- по возможности кабели связи должны иметь повышенную электрическую прочность изоляции и малый коэффициент экранирования. К таким кабелями в первую очередь можно отнести кабели марок МКПуАБп, МКГСАСтпШп, ЗКПБ, МКСАБп, ТЗБ, ТЗАБп, МКТСБ, ВКПАп, ВКПАПБ;

- в местах соединения строительных длин кабеля связи необходимо применять муфты с электрической прочностью изолирующего покрытия, соответствующей прочности изоляции кабеля;
- по возможности кабели связи должны прокладываться вблизи дополнительных (естественных) экранов, в качестве которых могут быть использованы выходящие с территории ПС трубопроводы, силовые кабели;
- в случае крайней необходимости КЛС можно защищать с помощью редуцированных трансформаторов.

Кроме указанных выше основных защитных мероприятий при выносе по КЛС повышенного потенциала для симметричных кабелей связи могут быть дополнительно рекомендованы следующие мероприятия:

- применение мощных разрядников с включением их в среднюю точку линейных трансформаторов аппаратуры уплотнения;
- снятие напряжения дистанционного питания УП на первом усилительном участке со стороны ПС и осуществление питания этого УП со стороны противоположного УП;
- применение необслуживаемых защитных пунктов, которые представляют собой камеры НУП с вводно-кабельным оборудованием без усилительных каскадов.

Выбор указанных мероприятий определяется конкретными условиями.

4. ЗАЩИТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ ВЛ

4.1. Основные положения

С целью защиты волоконно-оптического кабеля ОКГТ, встроенного в грозозащитный трос ВЛ, от ОКЗ на ВЛ устанавливается допустимый уровень энергии теплового импульса W_k . Размерностью W_k является $(кА)^2t$, где t – время срабатывания основной защиты ВЛ при ОКЗ, с. Величина W_k задается в технической документации по ОКГТ.

С учетом введения допустимой величины $W_{k,доп}$ допустимая величина тока ОКЗ в тросе $I_{ОКЗ,доп}$ будет удовлетворять условию

$$I_{ОКЗ,доп} \leq \sqrt{W_{k,доп}t}, \text{ А.} \quad (4.1)$$

Задачей защиты заданного типа кабеля связи ОКГТ от термического повреждения является выбор мероприятий по снижению величины ОКЗ до значений, удовлетворяющих условию (4.1). Одним из таких основных мероприятий, которые рассматриваются в данных Методических указаниях, является защита кабеля ОКГТ от термического повреждения путем уменьшения величины тока ОКЗ на участках грозозащитного троса, где не выполняется условие (4.1). Уменьшение величины тока ОКЗ осуществляется с помощью прокладываемых в земле противовесов-заземлителей, которые присоединяются к ЗУ опор и тем самым шунтируют опасные участки по величине ОКЗ грозозащитного троса, уменьшая ток ОКЗ в тросе с кабелем ОКГТ. Противовесы-заземлители по своей физической сущности соответствуют подземным проводам, которые применяются для защиты КЛС от грозовых воздействий.

Для ВЛ 330 кВ, у которых второй грозозащитный трос - разрезной, уменьшить ток ОКЗ в кабеле ОКГТ можно путем шунтирования искровых промежутков на отдельных участках ВЛ.

Основы защиты кабелей ОКГТ от термического повреждения с помощью прокладываемых в земле противовесов-заземлителей и использования второго грозозащитного троса ВЛ изложены в разд. 4.2 – 4.4.

4.2. Определение времени действия тока ОКЗ на кабели ОКГТ

Временем действия тока ОКЗ на кабели ОКГТ является полное время отключения, равное [20]

$$t = t_{p,з} + t_b, \quad (4.2)$$

где $t_{p,з}$ – собственное время действия релейной защиты, равное времени действия основной защиты, с;

t_b – собственное время выключателя, с.

При установке на ВЛ быстродействующих защит и современных выключателей полное время отключения принимается равным

$$t = 0,15, \text{ с,} \quad (4.3)$$

$$\text{а для токовых защит} \quad t = 0,2 - 0,25, \text{ с.} \quad (4.4)$$

При наличии АПВ и одностороннем питании ВЛ полное время действия тока ОКЗ определяется как сумма полного времени отключения в каждом цикле АПВ (в предположении, что при бестоковой паузе охлаждения троса не происходит).

При двухстороннем питании и неодновременном отключении ОКЗ с разных сторон ВЛ расчетное время полного отключения ОКЗ определяется следующим образом:

$$t = t_1 + \left(\frac{I_2}{I_{\text{ОКЗ}}} \right)^2 (t_2 - t_1), \text{ с,} \quad (4.5)$$

где t_1 – полное время отключения со стороны ближайшего конца ВЛ, с;

t_2 – полное время отключения с удаленного конца ВЛ, с;

$I_{\text{ОКЗ}}$ – полный ток ОКЗ, кА;

I_2 – ток ОКЗ от удаленного конца ВЛ, кА.

Если АПВ происходит вначале с одного конца ВЛ, то полное время отключения ОКЗ определяется по выражению

$$t = t_p + \left(\frac{I_2}{I_{\text{ОКЗ}}} \right)^2 t_n, \text{ с,} \quad (4.6)$$

где t_p – расчетное время отключения тока ОКЗ, определяемое по (5.2) или (4.5), с;

t_n – время отключения после неуспешного АПВ, с;

$I_{\text{ОКЗ}}$ – полный ток ОКЗ, кА;

I_2 – ток ОКЗ с того конца ВЛ, где происходит АПВ, кА.

4.3. Определение величины тока ОКЗ в кабеле ОКГТ при защите его противовесами-заземлителями

Рассматривается ВЛ между ПС-1 и ПС-2. ВЛ имеет грозозащитный трос типа ОКГТ. Для защиты его от термического повреждения при ОКЗ на ВЛ по всей длине ВЛ (противовесы-заземлители) или на ее отдельных участках в земле проложен противовес-заземлитель или подвешен на опорах ВЛ второй грозозащитный трос. В дальнейшем противовес-заземлитель и второй грозозащитный трос будем называть дополнительным тросом.

Предполагается, что ОКЗ происходит на опоре ВЛ. Тогда точка ввода тока ОКЗ на опоре в отношении его распределения по двум другим направлениям характеризуется следующими параметрами:

- $Z_{\text{вх.с1}}$ – входное сопротивление троса с ОКГТ в сторону ПС-1, Ом;
- $Z_{\text{вх.с2}}$ – входное сопротивление троса с ОКГТ в сторону ПС-2, Ом;
- $Z_{\text{вх.с.д1}}$ – входное сопротивление дополнительного троса в сторону ПС-1, Ом;
- $Z_{\text{вх.с.д2}}$ – входное сопротивление дополнительного троса в сторону ПС-2, Ом;
- $Z_{\text{вх.с.ЗУ}}$ – входное сопротивление ЗУ опоры ВЛ, Ом.

Вычисление входных сопротивлений выполняется по программе ТW.

Ток ОКЗ представляется в виде суммы

$$I_{\text{ОКЗ}} = I_{\text{ОКЗ1}} + I_{\text{ОКЗ2}}, \text{ кА}, \quad (4.7)$$

где $I_{\text{ОКЗ1}}$, $I_{\text{ОКЗ2}}$ – токи, подтекающие к месту ОКЗ от ПС-1 и ПС-2 (в кА), величина которых зависит от удаленности места ОКЗ от ПС-1 l_{x1} (в км) и от ПС-2 l_{x2} (в км), т.е. являются функцией вида

$$I_{\text{ОКЗ1}} = f(l_{x1}), \quad (4.8)$$

$$I_{\text{ОКЗ2}} = f(l_{x2}). \quad (4.9)$$

При принятых условных обозначениях входных сопротивлений в месте ОКЗ величина тока ОКЗ в кабеле ОКЗТ будет определяться по выражениям [21] (в Ом):

- в сторону ПС-1

$$I_{\text{ОКЗТ1}} = I_{\text{ОКЗ}} \frac{Z_{\text{вх.с2}} \cdot Z_{\text{вх.с.д1}} \cdot Z_{\text{вх.с.д2}} \cdot Z_{\text{вх.с.3У}}}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}, \quad (4.10)$$

- в сторону ПС-2

$$I_{\text{ОКЗТ2}} = I_{\text{ОКЗ}} \frac{Z_{\text{вх.с1}} \cdot Z_{\text{вх.с.д1}} \cdot Z_{\text{вх.с.д2}} \cdot Z_{\text{вх.с.3У}}}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}, \quad (4.11)$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= Z_{\text{вх.с2}} \cdot Z_{\text{вх.с1}} \cdot Z_{\text{вх.с.д2}} \cdot Z_{\text{вх.с.3У}}, \text{ Ом}; \\ A_2 &= Z_{\text{вх.с1}} \cdot Z_{\text{вх.с.д1}} \cdot Z_{\text{вх.с.д2}} \cdot Z_{\text{вх.с.3У}}, \text{ Ом}; \\ A_3 &= Z_{\text{вх.с1}} \cdot Z_{\text{вх.с2}} \cdot Z_{\text{вх.с.д2}} \cdot Z_{\text{вх.с.3У}}, \text{ Ом}; \\ A_4 &= Z_{\text{вх.с1}} \cdot Z_{\text{вх.с2}} \cdot Z_{\text{вх.с.д1}} \cdot Z_{\text{вх.с.3У}}, \text{ Ом}; \\ A_5 &= Z_{\text{вх.с1}} \cdot Z_{\text{вх.с2}} \cdot Z_{\text{вх.с.д1}} \cdot Z_{\text{вх.с.д2}}, \text{ Ом}. \end{aligned}$$

4.4. Рекомендации по выполнению противовесов-заземлителей для защиты кабелей ОКГТ от термического повреждения

Место на ВЛ, где необходимо использовать дополнительные тросы для уменьшения тока ОКЗ в кабелях ОКГТ, определяется на основе расчета тока ОКЗ в ОКГТ по длине ВЛ по выражениям (4.10), (4.11). При этом расчетные точки по длине ВЛ соответствуют местам установки опор на ВЛ.

Место прокладки дополнительных тросов выбирается исходя из условий:

$$I_{\text{ОКЗ1}} \leq \sqrt{W_{\text{к.доп}}/t}, \text{ кА}; \quad (4.12)$$

$$I_{\text{ОКЗ2}} \leq \sqrt{W_{\text{к.доп}}/t}, \text{ кА}. \quad (4.13)$$

Противовесы прокладываются в охранной зоне ВЛ и присоединяются к ЗУ всех опор ВЛ, мимо которых они проходят. Участки ВЛ, на которых должны прокладываться противовесы, и их необходимое число определяются расчетным путем, при этом учитываются не только электрические параметры ВЛ и противовесов-заземлителей, но и граничные условия по трассе прокладки противовесов-заземлителей. Граничные условия определяют возможность прокладки противовесов с учетом определенных препятствий, основными из которых являются автомобильные и железные дороги, реки, овраги и т.п.

Места шунтирования искровых промежутков на втором грозозащитном тросе ВЛ 330 кВ также определяются расчетным путем, при этом принципиальное значение приобретает учет следующих факторов. Первый фактор связан с тем, что шунтирование искровых промежутков приводит к увеличению потерь мощности в грозозащитном тросе. Вторым фактором является необходимость учета того, что при равных условиях эффективность применения противовесов-заземлителей для снижения тока ОКЗ в кабеле ОКГТ выше эффективности использования второго грозозащитного троса ВЛ 330 кВ. Поэтому при использовании второго грозозащитного троса ВЛ 330 кВ для защиты кабеля ОКГТ от термического повреждения должна решаться задача по оценке эффективности применения данного защитного мероприятия.

Библиотека ВЛ

5. ЗАЩИТА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ГРОЗОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

5.1. Основные положения

Мероприятия по защите КЛС от ударов молнии выбираются на основе трех характерных зон местности, по которой проходит КЛС.

Первая зона соответствует местности, где поражение грозой КЛС характеризуется среднестатистической вероятностью. К такой зоне относятся равнинные открытые и лесистые местности.

Вторая зона соответствует местности с высокой вероятностью поражения грозой КЛС. К такой зоне относится местность с возвышающимися над ней локальными объектами-молниеприемниками (участки леса, отдельные деревья, аллеи деревьев, опоры ВЛ, мачты и др.), которые при ударе в них молнии могут повысить вероятность повреждения КЛС. Возвышающиеся над землей объекты подразделяются на сосредоточенные локальные объекты (деревья, опоры ВЛ, мачты) и на протяженные локальные объекты (аллеи деревьев, участки леса).

Третья зона соответствует местности, характеризующейся избирательной способностью молнии поражать отдельные участки местности, которые чаще всего располагаются в местах с низким удельным сопротивлением земли (глинистые почвы, наличие подземных вод и др.).

В первой зоне защита КЛС от грозовых повреждений осуществляется с использованием защитных подземных проводов и тросов (подземные провода). Подземные провода прокладываются вблизи кабелей связи и способствуют уменьшению тока в оболочке кабелей, что повышает грозоупорность КЛС.

Во второй зоне защита КЛС от ударов молнии осуществляется с помощью системы перехвата тока молнии от объекта-молниеприемника к кабелю связи, которая выполняется из заземленных по концам подземных проводов.

В третьей зоне защита КЛС от ударов молнии осуществляется с помощью подземных проводов или с помощью молниеотводов.

Для второй и третьей зон предусматриваются дополнительные защитные мероприятия по локализации грозовых повреждений, которые осуществляются на основе заземления оболочки кабеля с обеих сторон по отношению к объектам-молниеприемникам. Выбор защитных мероприятий на основе использования подземных проводов осуществляется в зависимости от величин вероятного числа опасных ударов молнии (параметр ударов молнии) и коэффициента тока в оболочке кабеля (параметр защитных мероприятий).

Система перехвата тока молнии характеризуется волновым сопротивлением подземного провода и входным сопротивлением заземлений его концов (параметр защитных мероприятий).

Защитные мероприятия на основе тросовых молниеотводов характеризуются их зоной защиты и величиной входного сопротивления молниеотвода (параметр защитных мероприятий).

Система локализации грозových перенапряжений характеризуется коэффициентом отвода тока молнии в землю (параметр защитных мероприятий).

5.2. Защита КЛС от ударов молнии при их прохождении по первой зоне местности

Как уже отмечалось, к разновидности первой зоны местности относится также часть местности, примыкающая к границе леса.

Выбор защитных мероприятий для КЛС при их прохождении по первой зоне местности производится на основе использования величины вероятного числа опасных ударов молнии в кабель КЛС n_0 , а также величины коэффициента тока в оболочке кабеля η . Вероятное число опасных ударов молнии в кабель характеризует возможное число повреждений КЛС в течение года. Коэффициент тока в оболочке кабеля характеризует величину тока молнии, которая с использованием защитных конструкций протекает по оболочке кабеля.

В качестве защитных мероприятий от ударов молнии используются прокладываемые в земле вблизи кабелей связи подземные провода, которые принимают основной удар молнии, уменьшают ток молнии в оболочке кабеля и тем самым снижают величину вероятного числа опасных ударов молнии в КЛС. В связи с этим основными задачами при выборе защитных мероприятий от ударов молнии для КЛС, проходящей по первой зоне местности, является определение числа подземных проводов и их рациональное размещение вблизи кабелей связи в отношении перехвата тока молнии.

На вновь проектируемых КЛС защитные мероприятия от ударов молнии предусматриваются на тех участках прокладки КЛС, где вероятное число опасных ударов молнии превышает допустимое число.

На существующих КЛС защитные мероприятия осуществляются на тех участках, где произошли повреждения КЛС от ударов молнии. При этом длина защищаемого участка должна быть не менее 100 м в каждую сторону от места повреждения. Если повреждение КЛС произошло в местах местности с возвышенностью или с повышенным удельным сопротивлением земли, участок повреждения должен определяться с учетом указанных участков местности.

Защитные мероприятия должны осуществляться сразу после устранения повреждения КЛС. Если повреждается КЛС, имеющая защиту, то на поврежденных участках оборудуется дополнительная защита.

Число защитных проводов определяется на основе расчета числа опасных ударов молнии в КЛС и коэффициента тока в оболочке кабеля.

Кабели связи, проложенные на расстоянии 1,2 м и менее друг от друга, считаются расположенные в одной траншее. При этом выбор защитных мероприятий от ударов молнии осуществляется с учетом их общего погонного сопротивления постоянному току. Если расстояние между параллельно проложенными кабелями связи составляет 1,2 - 2,5 м, элементы защитной конструкции от ударов молнии могут быть общими для всех кабелей. Например, если каждый кабель должен защищаться одним подземным проводом, то достаточно проложить один провод посередине между кабелями. Кабели связи, располо-

женные на расстоянии более чем 2,5 м друг от друга, считаются проложенными каждый в своей траншее. Защита таких кабелей от ударов молнии решается индивидуально для каждого кабеля.

КЛС не защищается от ударов молнии, если:

- прокладывается в населенных пунктах с густой сетью различных коммуникаций;
- прокладывается вдоль полотна железной дороги или вдоль подземного металлического трубопровода на расстоянии от них не более 10 м;
- выполняется кабелем, металлические покрытия которого имеют контакт с землей и характеризуются величиной погонного сопротивления постоянному току менее 0,2 Ом/км;
- проложена в одной траншее с группой других кабелей при расстоянии между крайними кабелями не более 1,2 м и металлические покрытия всех кабелей имеют постоянный контакт с землей и характеризуются общим погонным сопротивлением постоянному току не выше 0,2 Ом/м.

Если КЛС проходит по просеке леса и в ней находятся ВЛ, которые расположены на расстоянии менее 25 м от КЛС и высота опор которых больше высоты леса, то при защите КЛС следует принимать во внимание только ВЛ. Если высота опор ВЛ меньше высоты леса, ВЛ во внимание не принимается.

При прохождении КЛС вдоль края леса и наличии по какую-либо сторону от КЛС ВЛ необходимо учитывать следующее:

- если ВЛ и лес находятся по одну сторону от КЛС, то во внимание принимается объект большей высоты (опоры ВЛ, деревья леса);
- если ВЛ и лес находятся по разные стороны от КЛС, то защита в каждом случае проектируется независимо друг от друга.

В указанных выше случаях, когда высота опор ВЛ выше высоты леса, считается, что КЛС проходит по второй зоне местности.

Под вероятным числом опасных ударов молнии в КЛС понимается общее количество отказов (повреждения с простоем связи), отнесенных к 100 км трассы кабеля в год, как при однокабельных системам передачи, так и при двухкабельных.

Вероятное число опасных ударов определяется по выражению

$$n = \frac{N}{KL} 100, \quad (5.1)$$

где N – общее число повреждений, равное числу опасных ударов молнии;
 K – промежуток времени, за который произошло N повреждений КЛС, год;

L – длина трассы КЛС, км.

Выражение (5.1) позволяет определять число опасных ударов молнии в КЛС экспериментальным путем. Практическое использование такого подхода к определению числа n затрудняется необходимостью проведения специальных наблюдений при наличии КЛС. В связи с этим на практике определение числа n преимущественно производится расчетным путем.

Методика расчета вероятного числа опасных ударов молнии в КЛС основывается на теории Зунде.

Согласно этой теории, оно определяется по выражению [22, 23]

$$n = 2q N_r Lk \left[\int_{i_0}^{i_1} e^{-kj} Y_1(j) dj + \int_{i_1}^{I_M} e^{-kj} Y_2(j) dj \right], \quad (5.2)$$

где $q = 0,1$ – среднее число ударов молнии в единицу площади за один грозово-вой день, $1/\text{км}^2$;

$k = 0,038$ – коэффициент, устанавливающий вероятность появления тока молнии с заданной амплитудой, $1/\text{kA}$;

N_r – число грозовых дней в году для данной местности;

L – длина участка кабеля связи, км;

j – текущий индекс величины тока молнии;

i_0 – ток в оболочке кабеля, который вызывает напряжение между жилами и оболочкой кабеля, опасное для поясной изоляции, кА;

i_1 – ток утечки от места удара молнии в оболочку кабеля, который может повредить изоляцию кабеля, кА;

I_M – максимальное значение тока молнии, равное 220 кА или ∞ ;

$Y_1(j)$ – функция, устанавливающая зависимость размеров искровой зоны от величины тока молнии;

$Y_2(j)$ – функция, устанавливающая зону действия токов утечки молнии.

Защитные мероприятия, выбранные на основе выражения (5.2), в достаточной степени обеспечивают грозозащищенность КЛС. Однако практическая реализация защитных мероприятий связана с относительно большими затратами на их выполнение. Учитывая это, в действующих НТМ [3] вероятное число опасных ударов молнии в КЛС определяется по графикам, которые получены на основе теории Зунде с соответствующей корректировкой решения (5.2) и учетом экономичности защитных мероприятий.

В методических указаниях вероятное число опасных ударов молнии в КЛС (n_0) зависит от среднегодовой продолжительности гроз T (ч/год), погонного сопротивления постоянному току металлических покровов кабеля связи R_0 (Ом/км), коэффициента тока в оболочке кабеля связи η , эквивалентного удельного сопротивления земли ρ_3 (Ом·м), импульсной прочности изоляции кабеля, геометрических параметров кабеля и определяется по выражению [21]

$$n_0 = 1,66 \cdot 10^{-6} TL [0,513 F(x) + 12,5G(x)], \quad (5.3)$$

которое получено на основе теории Зунде с учетом графиков действующих НТМ [3].

Параметр T определяется по действующим НТМ [3] и по другим справочным материалам. По возможности он должен уточняться в Гидрометеослужбах областей Республики Беларусь.

Функции $F(x)$, $G(x)$ представляются в виде

$$F(x) = f(R_0, \eta, \rho_3); \quad G(x) = f(R_0, \eta, \rho_3) \quad (5.4)$$

и вычисляются по выражениям:

$$F(x) = \int_a^b x^2 e^{-x^2} dx; \quad (5.5)$$

$$G(x) = \int_b^c \frac{e^{-(x+y/x)}}{1-e^{y/x}} dx, \quad (5.6)$$

где $a = 0,195\sqrt{i_0}$,

$$b = 0,195\sqrt{i_1},$$

$$c = 0,195\sqrt{I_0},$$

$$y = i_0 \ln \frac{12,5\sqrt{\rho_3}}{r_0},$$

$$i_0 = \frac{U_{np}}{2,1R_0\eta\sqrt{\rho_3}}.$$

Значение тока I_0 равно:

- для $R_0 \eta \geq 1$

$$I_0 = 2,3k_0 i_0 (R_0 \eta) [1 - \exp(-0,33\rho_3^{0,3})],$$

где $k_0 = 0,8(R_0 \eta)^{0,2}$ при $R_0 \eta 1-3$;

$$k_0 = 1,28(R_0 \eta)^{-0,2} \text{ при } R_0 \eta 1 > 3;$$

- для $R_0 \eta < 1$

$$I_0 = 1 + 1,6(R_0 \eta)\rho_3^{-0,12/\sqrt{R_0 \eta}}, \quad \rho_3 \geq 100;$$

$$I_0 = 1 + 1,6(R_0 \eta)100^{-\left(0,12/\sqrt{R_0 \eta} + 1,4\sqrt{R_0 \eta}\right)} \rho_3^{1,4\sqrt{R_0 \eta}}, \quad \rho_3 < 100.$$

Значение тока i находится из трансцендентного уравнения

$$\sqrt{i} = 233 \frac{e^{-y/i_1}}{1 - e^{-y/i_1}},$$

где $y = i_0 \ln \frac{12,5\sqrt{\rho_3}}{r_0};$

r_0 – радиус оболочки.

Функция $F(x)$ вычисляется по формуле

$$F(x) = \frac{\sqrt{\pi}}{4} e^{-a} \left[\frac{2\sqrt{a}}{\sqrt{\pi}} - \frac{0,35}{1+0,47\sqrt{a}} + \frac{0,1}{(1+0,47\sqrt{a})^2} - \frac{0,75}{(1+0,47\sqrt{a})^3} \right] -$$

$$-\frac{\sqrt{\pi}}{4} e^{-b} \left[\frac{2\sqrt{b}}{\sqrt{\pi}} - \frac{0,35}{1+0,47\sqrt{b}} + \frac{0,1}{(1+0,47\sqrt{b})^2} - \frac{0,75}{(1+0,47\sqrt{b})^3} \right]. \quad (5.7)$$

Функция $G(x)$ вычисляется численными методами.

Параметр η показывает, какая часть тока молнии попадает в оболочку кабелей связи при защите их подземными проводами.

При принятой на практике прокладке в земле кабелей связи и подземных проводов коэффициент тока зависит от числа проводов N_{Π} и определяется по графику, изображенному на рис. 5.1 [21].

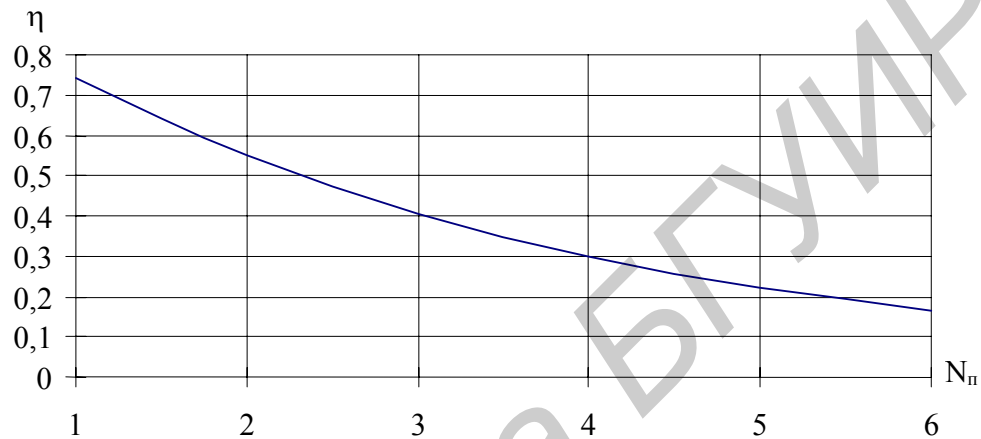


Рис .5.1. Зависимость $\eta=f(N_{\Pi})$

С достаточной для практических целей точностью графическая зависимость $\eta=f(N_{\Pi})$ может быть аппроксимирована аналитической зависимостью [21]

$$\eta = e^{-0,3N_{\Pi}}, \quad (5.8)$$

где $N_{\Pi} = 1,2,3,4,5,6$.

Параметр R_0 определяется по (2.29) - (2.31).

Эквивалентное удельное сопротивление земли ρ_3 принимается равным:

$\rho_3 = \rho_3$, Ом·м – при контакте металлических покровов кабеля с землей,

где ρ_3 – удельное сопротивление земли в Ом·м;

$\rho_3 = \left[\frac{0,79}{\sqrt{C_0 R_0} + \sqrt{C_{ж0} (R_{ж} + R_0)}} \right]^2$ – при изолированных металлических по-

кровах кабеля от земли;

$\rho_3 = 316R_3I_3$, Ом·м – при заземлении муфт по длине кабеля на заземлитель сопротивлением R_3 (в Ом) при расстоянии между заземлителями I_3 (в м).

Продольное сопротивление жилы $R_{ж}$, емкость оболочка-земля C_0 , емкость между пучком жил и оболочкой $C_{ж0}$ выбираются по соответствующим

справочным материалам. При ориентировочных расчетах можно приближенно принимать $C_0=0,5 \cdot 10^{-6}$ Ф/км, $C_{ж0} = 0,25 \cdot 10^{-6}$ Ф/км.

На рис. 5.2 приведены зависимости $n_0 = f(\rho_э, R_0\eta)$ для $T = 36$ ч/год, $L = 100$ км, $U_{пр} = 3000$ В,

где $U_{пр}$ – импульсная прочность изоляции кабеля связи.

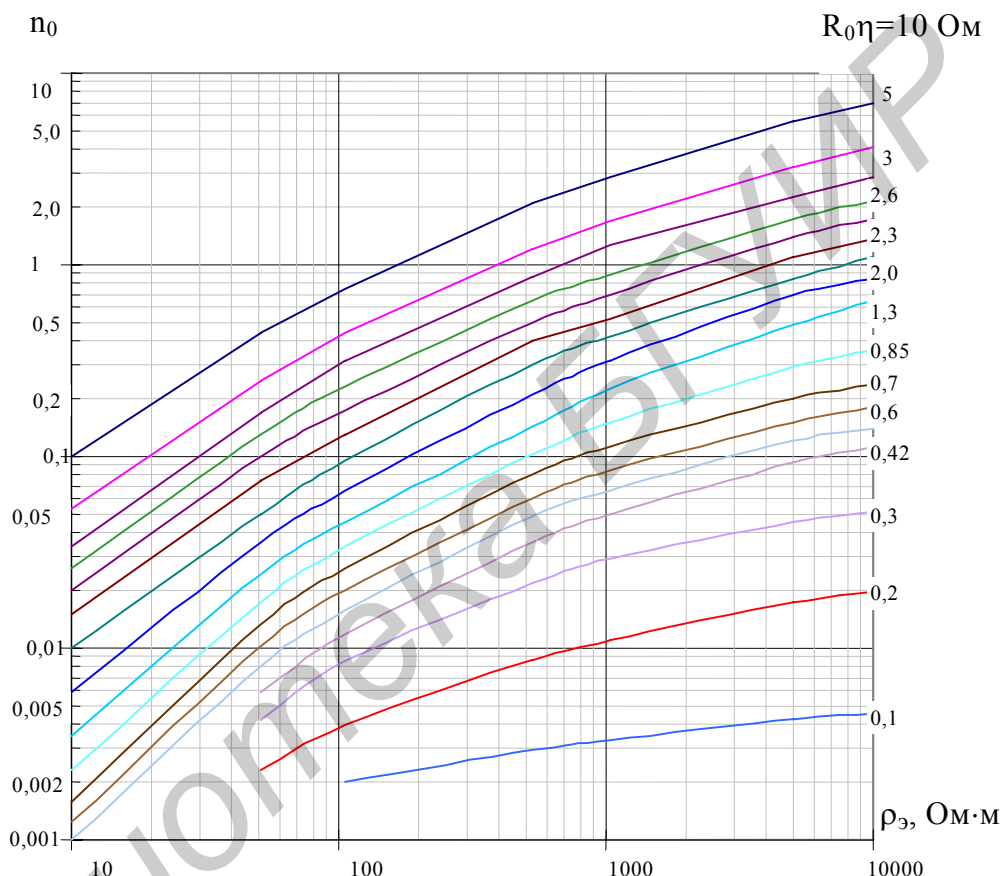


Рис.5.2. Зависимости $n_0 = f(\rho_э, R_0\eta)$

В соответствии с действующими НТМ [3] приближенно вероятное число опасных ударов молнии в КЛС n может быть определено с использованием графиков рис 5.2 по выражению

$$n = 0,83 \frac{TL}{U_{пр}} \cdot n_0. \quad (5.9)$$

При прокладке КЛС на открытой местности или в лесу вблизи границы леса вероятное число опасных ударов молнии определяется с учетом повышения вероятности поражения молнией кабелей связи вследствие ударов молнии в деревья, а также с учетом защитных функций леса как молниеотвода.

В этом случае вероятное число опасных ударов молнии в КЛС определяется по выражению

$$n = n_0 f(h_{л}, l_{л}), \quad (5.10)$$

где n_0 - вероятное число опасных ударов молнии в КЛС, определяемое по (5.3) или по рис. 5.2;

$f(h_{л}, l_{л})$ - функция, характеризующая влияние границы леса на величину $n_{ол}$ в зависимости от высоты деревьев $h_{л}$ (в м) и удаленности КЛС от границы леса $l_{л}$ (в м).

Графическое изображение функции $f(h_{л}, l_{л})$ приведено на рис.5.3 (а, б, в).

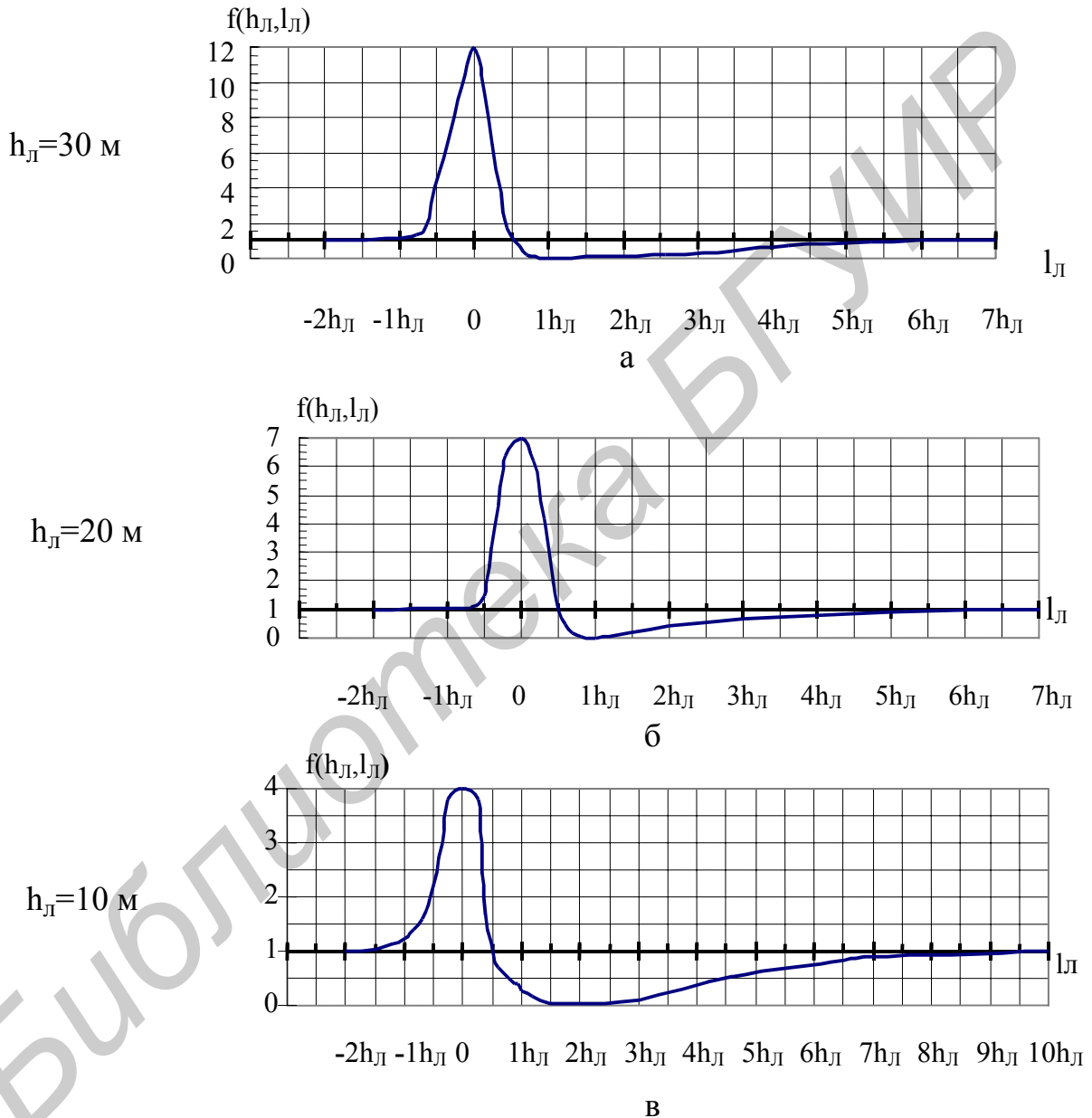


Рис. 5.3 Функция $f(h_{л}, l_{л})$

Защита КЛС, прокладываемых на равнинной открытой и лесистой местности

Основным защитным мероприятием от ударов молнии для КЛС, проходящих по равнинной открытой и лесистой местности, является прокладка в земле подземных проводов.

При заданной величине коэффициента тока молнии в оболочке кабеля связи η необходимое число подземных проводов в соответствии с выражением (5.8) будет

$$|N_{\text{п}}| = 3,3 \ln \frac{1}{\eta}, \text{ шт}, \quad (5.11)$$

где $|N_{\text{п}}|$ означает целое число проводов, определяемое в сторону увеличения.

При защите КЛС одним подземным проводом последний прокладывается над КЛС. При этом допускается отклонение в пределах до + 0,25 м от вертикальной плоскости, проходящей через ось кабеля. Подземные провода числом более одного прокладываются симметрично относительно КЛС. При этом расстояния между проводами с погрешностью +15 % могут составлять: при двух проводах – 0,8 м; при трех и более проводах – 0,5 м.

При защите одним подземным проводом нескольких кабелей связи с расстоянием между крайними кабелями не более 1,2 м подземный провод прокладывается посередине между крайними кабелями. При защите нескольких кабелей связи с расстоянием между крайними кабелями не более 1,2 м двумя и более подземными проводами последние располагаются симметрично относительно кабелей таким образом, чтобы расстояние между крайними проводами было не менее расстояния между крайними кабелями.

Для двух кабелей связи или двух групп кабелей связи, расположенных на расстоянии от 1,2 до 2,5 м, число подземных проводов выбирается индивидуально для каждого кабеля или для каждой группы кабелей, а защитная конструкция выбирается общей для всех кабелей.

Если для каждого кабеля требуется один подземный провод, то он прокладывается посередине между крайними кабелями. Если для каждого кабеля требуются два подземных провода, то последние прокладываются с внешней стороны крайних кабелей и на расстоянии не более 0,6 м по горизонтали от них. Если для защиты каждого кабеля требуются три подземных провода, то один провод прокладывается посередине между крайними кабелями, а два других провода прокладываются с внешней стороны крайних кабелей и на расстоянии не более 0,6 м по горизонтали от них.

Глубина прокладки подземных проводов должна быть:

- при механизированной прокладке – равной примерно половине глубины прокладки кабеля, но не менее 0,4 м от поверхности земли;
- при ручной прокладке – равной глубине прокладки кабеля, если провод не прокладывается над кабелем, и равной примерно половине глубины прокладки кабеля, если провод прокладывается над кабелем.

При высоких удельных сопротивлениях земли или при плохом контакте защитного провода с землей эффективность работы подземных проводов снижается. В таких случаях по длине подземного провода через каждый километр устраиваются защитные заземлители, к которым присоединяется подземный провод (подземные провода).

На каждом участке подземные провода отводятся в сторону от КЛС под прямым углом на расстояние, равное 15 м, при удельном сопротивлении земли

до 100 Ом·м и равное 30 м при удельном сопротивлении земли более 100 Ом·м и там заканчиваются.

При наличии нескольких подземных проводов их концы соединяются между собой. Подземные провода по концам не заземляются, за исключением случаев высоких удельных сопротивлений земли и плохого контакта защитного провода с землей. Если отвести в сторону концы подземных проводов не представляется возможным, то защитные провода прокладываются на 50 м дальше границы участка или их концы отводятся в сторону на 5 м и заземляются.

Защита КЛС, прокладываемых вдоль края леса и по просеке в лесу

При определенном расстоянии от края леса вследствие экранирующего фактора лесом вероятное число опасных ударов молнии снижается и может по величине быть меньшим, чем вероятное число опасных ударов молнии в КЛС на равнинной открытой и лесистой местности. Оптимальное расстояние от края леса до КЛС определяется по выражениям:

- кабели связи с металлическими покровами, не имеющими сверху изолирующего шланга, [21]

$$l_{\text{опт}} = 3h_{\text{л}}^{0,7}, \text{ м}; \quad (5.12)$$

- кабели связи, имеющие поверх металлических покровов шланговое покрытие, [3]

$$l_{\text{опт}} = 3h_{\text{л}} + \frac{\ln(1 + 1,5\beta h_{\text{л}})}{2\beta}, \text{ м}, \quad (5.13)$$

где $h_{\text{л}}$ - средняя высота деревьев леса, средняя высота подвеса над землей проводов ВЛ и ВЛС, м;

$$\beta = 0,477U_{\text{пш}}/\rho_3, \text{ 1/м};$$

$U_{\text{пш}}$ - электрическая прочность шлангового покрытия, В.

На рис.5.4 и рис.5.5 приведены зависимости $l_{\text{опт}} = f(h_{\text{л}})$ и $l_{\text{опт}} = f(h_{\text{л}}, \beta)$

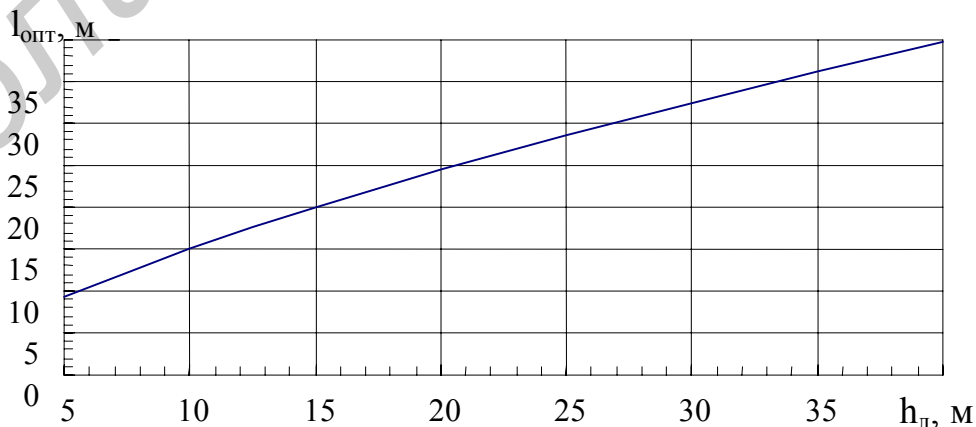


Рис.5.4. Зависимость $l_{\text{опт}} = f(h_{\text{л}})$

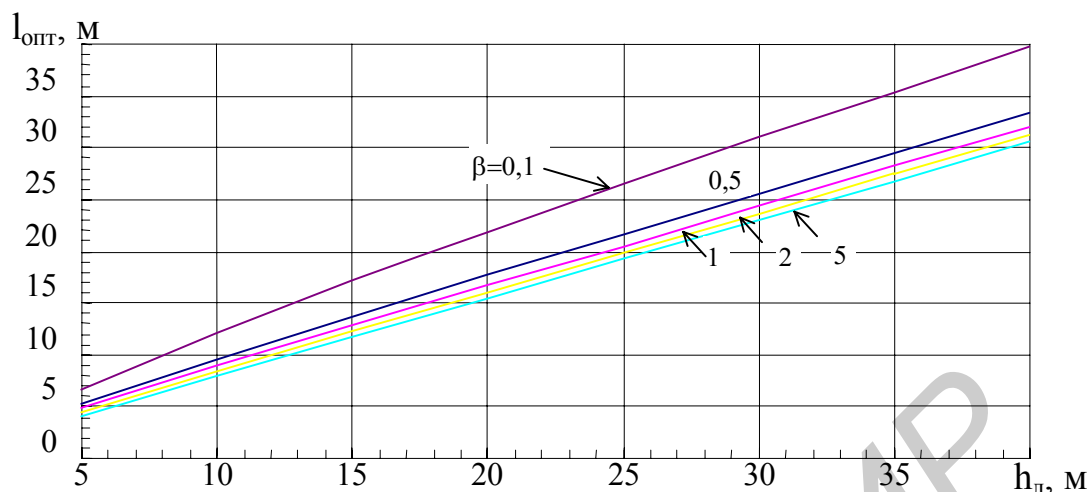


Рис.5.5. Зависимость $l_{\text{опт}} = f(h_{\text{л}}, \beta)$

КЛС, проходящая вдоль края леса, по возможности должна прокладываться на расстоянии от него, равном оптимальному расстоянию. В этом случае эффективность защиты КЛС краем леса наибольшая, число опасных ударов молнии в КЛС наименьшее, которое не превышает 5% от числа опасных ударов молнии при прокладке КЛС на равнинной открытой и лесистой местности.

В случае необходимости защиты КЛС, проходящей вдоль края леса, одним подземным проводом последний прокладывается между КЛС и краем леса на любом расстоянии от края леса. При защите КЛС, проходящей вдоль края леса, двумя подземными проводами один из них прокладывается над КЛС, а другой – между КЛС и краем леса. При защите КЛС, проходящей вдоль края леса, тремя подземными проводами два из них прокладываются симметрично над КЛС, а третий – между КЛС и краем леса.

Подземный провод, прокладываемый между КЛС и краем леса, по возможности не должен пересекать корни деревьев, однако должен прокладываться на глубине залегания корней деревьев (от 0,5 м до 1,0 м) или на глубине прокладки КЛС.

Если по условию прокладки КЛС вдоль края леса защита не требуется, а на краю леса имеются отдельные деревья или группа деревьев, отличающихся по высоте от высоты леса, то необходимо оценить возможность повреждения КЛС в результате прорыва тока молнии с указанных деревьев к кабелю КЛС. В этом случае необходимо считать, что КЛС проходит по второй зоне местности, для которой рекомендации по защите КЛС от ударов молнии приведены в разд.5.3.

КЛС, прокладываемая по просеке шириной не более 6 м, рассматривается как КЛС, прокладываемая в сплошном лесу. Защитные мероприятия для такой КЛС осуществляются в соответствии с рекомендациями предыдущего пункта. При прокладке КЛС по просеке шириной более 6 м, но менее $3h_{\text{л}}$ (где $h_{\text{л}}$ – высота деревьев леса) КЛС не защищается от ударов молнии, если она располагается не ближе $0,75 h_{\text{л}}$ от края леса.

Защита КЛС, прокладываемых вдоль ВЛ с грозозащитным тросом

Выбор защитных мероприятий от ударов молнии для КЛС, прокладываемых вблизи и вдоль ВЛ с грозозащитным тросом, должен производиться с учетом экранирующего фактора данного троса, заземленного на каждой опоре ВЛ. Такое заземление имеет место на ВЛ 110 кВ и ВЛ 750 кВ, поэтому при прокладке КЛС вдоль ВЛ 110 кВ и ВЛ 750 кВ их защитное действие должно учитываться при защите КЛС от грозовых влияний.

На ВЛ 220 кВ и ВЛ 330 кВ грозозащитный трос в конце анкерного пролета разрезается с целью уменьшения потерь мощности в ВЛ. Использование таких ВЛ для экранирования КЛС возможно при шунтировании на отдельных участках длины ВЛ искровых промежутков на грозозащитном тросе. Целесообразность использования на ВЛ 220 кВ и ВЛ 330 кВ для экранирования КЛС от грозовых воздействий должна быть экономически обоснована с учетом фактора потерь мощности в тросе.

Рассматривая грозозащитный трос ВЛ как тросовый молниеотвод, экранирующий фактор ВЛ с грозозащитными тросами на КЛС должен учитываться при расстояниях между ними, не превышающих [15]

$$I_{\max} = 1,7 h_T, \text{ м}, \quad (5.14)$$

где h_T – высота подвеса грозозащитного троса на опорах ВЛ, м.

По условиям защиты КЛС от прорыва тока молнии с ЗУ опор ВЛ минимальное расстояние между КЛС и ВЛ в зависимости от эквивалентного удельного сопротивления земли ρ_3 (в Ом·м) должно быть [5]:

$$I_{\min} = 10 \text{ м} \quad \text{при } \rho_3 \text{ до } 100; \quad (5.15)$$

$$I_{\min} = 25 \text{ м} \quad \text{при } \rho_3 \text{ от } 100 \text{ до } 500; \quad (5.16)$$

$$I_{\min} = 35 \text{ м} \quad \text{при } \rho_3 \text{ от } 500 \text{ до } 1000; \quad (5.17)$$

$$I_{\min} = 50 \text{ м} \quad \text{при } \rho_3 \text{ более } 1000. \quad (5.18)$$

С учетом (5.14) и (5.15) – (5.18) оптимальное расстояние между КЛС и ВЛ с грозозащитным тросом в отношении экранирования ВЛ КЛС от ударов молнии должно удовлетворять условиям:

$$I_{\text{опт}} \geq I_{\min}, \text{ м}; \quad (5.19)$$

$$I_{\text{опт}} \leq I_{\max}, \text{ м}. \quad (5.20)$$

При этом $I_{\text{опт}}$ по возможности по величине должно быть ближе к I_{\min} .

Если на практике при прокладке КЛС не удастся удовлетворить условиям (5.19), (5.20), то необходимо учитывать следующее.

При $I_{\text{опт}} < I_{\min}$ вероятность прорыва тока молнии с ЗУ опоры ВЛ к КЛС повышается, поэтому зона вблизи опоры ВЛ считается относящейся ко второй зоне местности. Рекомендации по защите КЛС от ударов молнии в такой зоне местности приведены в разд.5.3.

При условии $I_{\text{опт}} > I_{\max}$ грозозащитные функции ВЛ по отношению к КЛС не должны учитываться. В этом случае считается, что КЛС проходит по

открытой равнинной местности. Рекомендации по защите от ударов молнии КЛС, проходящей по такой местности, приведены в разд.5.2.

5.3. Защита КЛС от ударов молнии при их прохождении по второй и третьей зонах местности

Общий подход к выбору защитных мероприятий

Ко второй зоне местности при выборе защитных мероприятий для КЛС от ударов молнии относятся участки открытой равнинной или лесистой местности, на которых находятся возвышающиеся над землей или над лесом объекты-молниеприемники, характеризующиеся повышенной вероятностью поражения их молнией. При ударе молнии в такие объекты возможны прорывы тока молнии к КЛС и связанные с этим их повреждения.

Объекты-молниеприемники подразделяются на сосредоточенные и протяженные.

К сосредоточенным объектам-молниеприемникам, которые на практике наиболее часто приходится учитывать, относятся:

- отдельно стоящие деревья на открытой равнинной местности;
- отдельно стоящие деревья на открытой лесистой местности, которые по высоте отличаются от высоты леса;
- железобетонные и металлические опоры ВЛ 0,38 – 750 кВ;
- деревянные опоры ВЛ 0,38 – 10 кВ, имеющие ЗУ;
- железобетонные опоры ВЛС;
- деревянные опоры ВЛС, имеющие ЗУ;
- мачты различных назначений;
- отдельно стоящие одиночные и тросовые молниеотводы.

К протяженным объектам-молниеприемникам относятся:

- группы деревьев;
- аллеи деревьев;
- отдельные участки леса.

К третьей зоне местности при выборе защитных мероприятий для КЛС от ударов молнии относятся следующие участки местности, характеризующиеся избирательной способностью поражения их молнией:

- возвышающиеся над поверхностью земли;
- с глинистыми почвами;
- с водонасыщенными почвами;
- берега рек и озер.

Основным защитным мероприятием от ударов молнии для КЛС, проходящей по второй зоне местности, является система перехвата тока молнии по направлению от объекта-молниеприемника к КЛС. Данная система представляет собой заземленный по концам подземный провод, который перекрывает возможные пути прорыва тока молнии от объекта-молниеприемника к КЛС.

При защите КЛС от ударов молнии в сосредоточенные объекты-молниеприемники выполняется локальная система перехвата тока молнии. При

защите КЛС от ударов молнии в протяженные объекты-молниеприемники выполняются протяженная система перехвата тока молнии.

Основными задачами, которые связаны с защитными мероприятиями, является выбор:

- места расположения системы перехвата тока молнии относительно объекта-молниеприемника и КЛС;
- конструкции системы перехвата тока молнии;
- конструкции заземлителя, к которому присоединяются концы подземного провода.

Основными защитными мероприятиями от ударов молнии для КЛС, проходящей по третьей зоне местности, являются прокладка подземных проводов и устройство тросовых молниеотводов на участках местности с частым поражением их молнией. В этом случае необходим выбор:

- места размещения тросового молниеотвода;
- конструкции тросового молниеотвода.

Указанные выше основные защитные мероприятия не исключают возможность прорыва тока молнии сквозь системы перехвата тока молнии и защиты молниеотвода и повреждения КЛС. Для уменьшения степени повреждения КЛС в таких случаях применяются дополнительные защитные мероприятия, которые сводятся к локализации грозовых повреждений путем заземления оболочек кабелей связи с обеих сторон по отношению к объектам-молниеприемникам.

При локализации грозовых повреждений решаются две основные задачи:

- выбор мест заземления оболочек кабелей;
- выбор конструкции заземлителей для присоединения оболочек кабелей.

Защита КЛС с помощью системы перехвата тока молнии

Система перехвата тока молнии выполняется с учетом физического процесса удара тока молнии в локальный объект, который сводится к следующему. Удар молнии в локальный объект в земле характеризуется тремя зонами повышенного потенциала: искровой, стримерной, стримерной зоной при наличии локальных включений с большой проводимостью. Для нашего случая в качестве локальных включений с большой проводимостью может рассматриваться КЛС, поэтому последнюю зону будем считать опасной зоной для КЛС.

Радиус опасной зоны для КЛС определяется по выражению [22]

$$r_{\text{оп}} = \left(1 + \frac{E_0}{E_{\text{ср}}} \right) \sqrt{\frac{I_M \rho_3}{2\pi_0}}, \text{ м}, \quad (5.21)$$

где I_M – ток молнии, кА;

ρ_3 – эквивалентное удельное сопротивление земли, Ом·м;

E_0 – максимальная пробивная напряженность грунта, кВ/см;

$E_{\text{ср}}$ – средняя пробивная напряженность грунта, кВ/см.

Применительно к практическим задачам прокладки КЛС вблизи сосредоточенных объектов-молниеприемников понятие радиуса опасной зоны заменяется допустимым расстоянием между КЛС и объектом-молниеприемником $l_{\text{доп}}$ при соблюдении условия

$$l_{\text{доп}} \geq r_{\text{оп}}. \quad (5.22)$$

С учетом этого при применяемых на практике величинах $I_m = 220$ кА, $E_0 = 14$ кВ/см, $E_{\text{ср}} = 3,5$ кВ/см [22] допустимое расстояние между КЛС и сосредоточенным объектом-молниеприемником должно удовлетворять условию

$$l_{\text{доп}} \geq 0,8\sqrt{\rho_3}, \text{ м}. \quad (5.23)$$

Следует особо подчеркнуть, что выражение для $r_{\text{оп}}$ (5.2) справедливо только при ударах молнии в незаземленные объекты-молниеприемники, к которым относятся деревья.

Искровая и стримерная зоны заземленных объектов - молниеприемников могут отличаться от аналогичных зон незаземленных объектов - молниеприемников. Последнее объясняется искажением контура зон наличием элементов заземлителей. Для опор ВЛ изменение контура зон может происходить в результате изменения величины тока молнии, который стекает в землю через ЗУ, с учетом наличия проводов и грозозащитных тросов. Поэтому допустимое расстояние между КЛС и опорами ВЛ, а также другими заземленными объектами-молниеприемниками примем в соответствии с [5], величина которого приведена в табл. 5.1.

Следует особо подчеркнуть, что допустимое расстояние измеряется между КЛС и подземной частью опоры, а также между КЛС и ближайшим к ней элементом ЗУ опоры ВЛ.

Таблица 5.1

Допустимое расстояние между КЛС и опорами ВЛ, другими заземленными объектами-молниеприемниками

Эквивалентное удельное сопротивление земли, Ом·м	Допустимое расстояние для КЛС $l_{\text{доп}}$, м	
	Опоры ВЛ 0,38 – 35кВ	Опоры ВЛ 110 – 750 кВ и другие заземленные объекты-молниеприемники
До 100	$0,83\sqrt{\rho_3}$	10
От 100 до 500	10	25
от 500 до 1000	11	35
Более 1000	$0,35\sqrt{\rho_3}$	50

Система перехвата тока молнии выполняется в случаях:

- когда при проектировании или сооружении КЛС не представляется возможным проложить ее на допустимом расстоянии от объектов-молниеприемников, т.е. удовлетворить условию (5.23) или табл. 5.1;

- когда на действующих КЛС имели место случаи ее повреждения от ударов молнии в результате прорыва тока молнии с объектов-молниеприемников к КЛС.

Защита КЛС системой перехвата тока молнии не требуется, если ранее проложенный по трассе КЛС кабель (кабели) связи не имел повреждений от ударов молнии.

Конструкция системы перехвата тока молнии включает два основных элемента: прокладываемый в земле подземный провод, который перехватывает ток молнии, и устраиваемые по концам подземного провода защитные заземлители, которые отводят в землю ток молнии. Процесс отвода тока молнии в землю считается наилучшим, когда не происходит отражения волны тока от концов защитного провода. Такое условие соблюдается тогда, когда сопротивление защитных заземлителей не превышает волнового сопротивления подземного провода.

Заземлители системы перехвата тока молнии могут быть локальными и протяженными. Локальные заземлители выполняются вблизи концов подземного провода и состоят из вертикальных электродов, связанных между собой горизонтальными заземлителями. Протяженные заземлители являются продолжением подземных проводов. Их длина зависит от величины удельного сопротивления земли (см.разд.5.2).

При выполнении локальной системы перехвата тока молнии, как правило, устраиваются локальные заземлители, а при выполнении протяженной системы перехвата тока молнии - как локальные, так и протяженные заземлители.

Система перехвата тока молнии устраивается между КЛС и объектом. Концы подземного провода отводятся в противоположную сторону от КЛС и заземляются либо на локальные заземлители, либо на протяженные заземлители. При этом расстояние между отведенными концами защитного провода и локальным объектом должно быть не меньше расстояния между основной частью подземного провода и объектом.

Локальная система перехвата тока молнии, как правило, заземляется на локальные заземлители. При этом допускается вместо двух заземлителей выполнять один заземлитель, к которому присоединяются оба конца защитного провода.

Протяженная система перехвата тока молнии заземляется на локальные или протяженные заземлители. Локальные заземлители устраиваются на расстоянии не менее 5 м от подземного провода по направлению от КЛС. Протяженные заземлители являются продолжением подземного провода длиной 15 м при удельном сопротивлении земли до 100 Ом·м и 30 м при удельном сопротивлении земли более 100 Ом·м и ориентированы в противоположную сторону от КЛС.

Характерные конструкции системы перехвата тока молнии приведены на рис.5.6,а,б и рис.5.7,а,б.

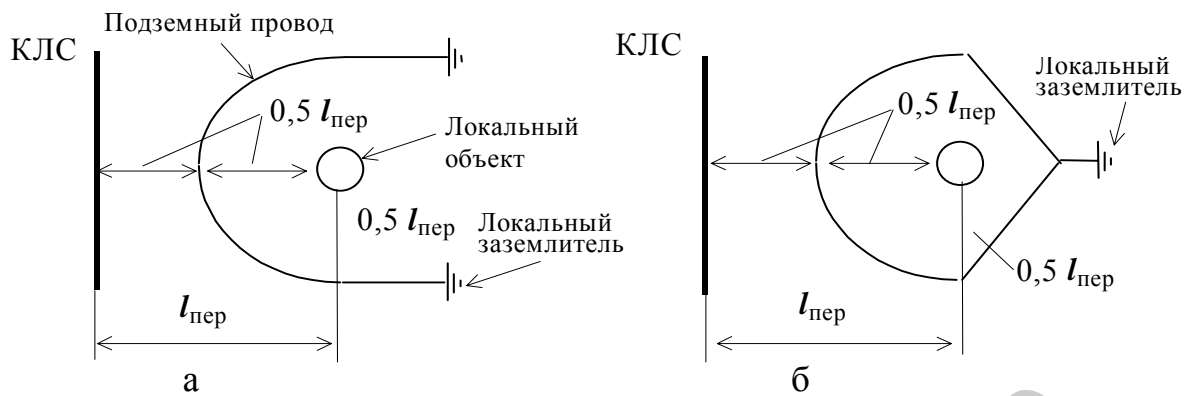


Рис 5.6. Характерные конструкции локальной системы перехвата тока молнии

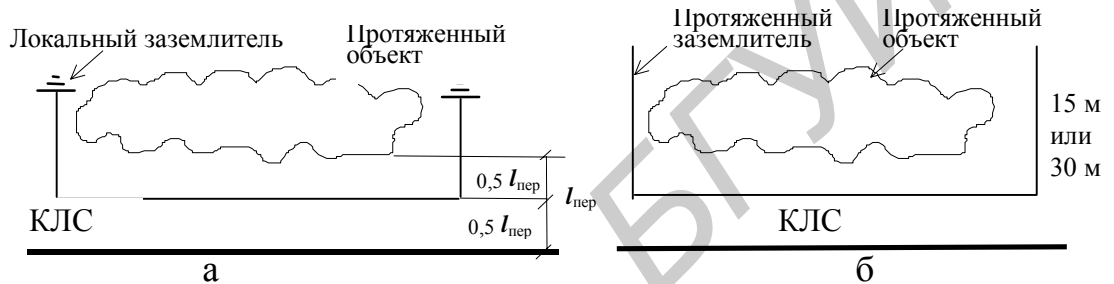


Рис. 5.7. Характерные конструкции протяженной системы перехвата тока молнии

Защита КЛС, проходящей по местности частого поражения молнией

Понятие местности частого поражения молнией определяется в процессе эксплуатации КЛС. При этом два и более случая повреждения кабелей связи могут рассматриваться как аргумент в пользу обоснования классификации местности как местности, часто поражаемой молнией.

Рекомендуются три способа защиты КЛС, проходящей зону частого поражения молнией.

Первый способ связан с прокладкой дополнительных подземных проводов вдоль КЛС на опасном участке местности. В настоящее время четких рекомендаций по выбору числа дополнительных подземных проводов нет.

Второй способ связан с защитой КЛС отдельно стоящими молниеотводами.

Третий способ связан с защитой КЛС тросовыми молниеотводами, подвешенными на опорах. При этом тросовые молниеотводы могут выполняться как параллельно КЛС, так и зигзагообразно, пересекая КЛС. Рекомендации по выполнению тросовых молниеотводов достаточно хорошо известны и не требуют особых пояснений, например [15].

При защите КЛС молниеотводами расстояние между КЛС и опорами молниеотводов не должно быть меньше допустимого расстояния между КЛС и

объектом-молниеприемником (см. табл. 5.1, графа «Опоры ВЛ 110 – 750 кВ и другие заземленные объекты-молниеприемники»).

При защите КЛС, проходящей по местности частого поражения молнией, как дополнительное защитное мероприятие целесообразно выполнять систему локализации грозовых повреждений.

Защита КЛС системой локализации грозовых повреждений

Система локализации грозовых повреждений применяется для КЛС, которая выполнена кабелем связи с внешним шланговым покрытием и в процессе эксплуатации повреждалась ударами молнии. Практически система локализации грозовых повреждений осуществляется путем заземления металлических покровов кабеля связи. При этом способ заземления выбирается с учетом защиты кабелей связи от коррозии.

Заземление КЛС, проходящей по равнинной открытой местности, осуществляется в среднем в 6-7 точках на усилительном участке длиной 18-20 км. При этом целесообразно точки заземления устанавливать в следующем порядке: на УП; на расстоянии 1 км от УП в каждую сторону; на расстоянии 2 км от УП в каждую сторону; на расстоянии 5,5 км от УП в каждую сторону; посередине участка между УП.

На усилительном участке длиной 9-10 км заземления металлических покровов кабелей связи устанавливаются в следующих точках: на УП; при расстоянии 1 км в каждую сторону от УП; при расстоянии 2 км в каждую сторону от УП; посередине участка между УП.

Если сопротивление постоянному току металлических покровов кабеля связи менее 0,5 Ом/км, а электрическая прочность изоляции кабеля не менее 10кВ, то заземления металлических покровов кабеля выполняются примерно через 3 км друг от друга.

Заземление КЛС, проходящей вблизи объектов-молниеприемников, осуществляется в первых муфтах от границ локальных объектов.

Рекомендации по заземлению металлических покровов кабелей связи

При выборе защитных мероприятий целесообразно заземлять только металлические покровы кабелей связи, имеющие внешние шланговые покрытия.

Металлические покровы кабелей связи заземляются с целью:

- улучшения коэффициента экранирования кабелей связи;
- заземления редуцированных трансформаторов;
- уменьшения величины эквивалентного удельного сопротивления земли при выборе рациональных защитных мероприятий от грозовых повреждений КЛС;
- локализации грозовых перенапряжений при ударах молнии в КЛС.

Заземление металлических покровов кабелей связи производится только через КИП-2. Заземление металлических покровов кабелей связи путем непосредственного присоединения к ним заземлителей выполняется исключительно

только для улучшения коэффициента экранирования кабелей и заземления редуцированных трансформаторов, линии связи которых не имеют дистанционного питания через металлические покровы кабелей. При этом обязательным условием является отсутствие коррозионно-активного грунта на участке заземления кабеля или наличие защиты от коррозии участка заземления кабеля.

Заземление металлических покровов кабелей связи с целью уменьшения эквивалентного удельного сопротивления земли и локализации грозовых перенапряжений выполняется только в КИП-2 через разрядник типа Р-35 и Р-63, а при наличии на защищаемом участке кабеля редуцированных трансформаторов - через разрядник типа Р-2м.

Заземление редуцированных трансформаторов выполняется путем заземления металлических покровов кабелей связи. При отсутствии коррозионно-активного грунта на трассе прокладки КЛС заземление осуществляется путем непосредственного присоединения заземлителей к металлическим покровам кабелей связи, а при наличии коррозионно-активных грунтов - через разрядник с установкой на его срабатывание при опасном влиянии ВЛ.

Библиотека БГУИР

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи. Ч. I. Общие положения. Опасные влияния. - М.: Связь, 1969.
2. Правила защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи. Ч. II. Мешающие влияния. - М.: Связь, 1972.
3. Руководство по защите подземных кабелей связи от ударов молнии. - М.: Связь, 1975.
4. Руководство по проектированию и защите от коррозии подземных металлических сооружений связи. - М.: Связь, 1978.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). - М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Алишев Я.В. Техническое обслуживание волоконно-оптических систем передачи. - Мн.: МРТИ, 1990.
7. Методическое руководство по проектированию волоконно-оптических линий связи от ударов молнии и влияний линий электропередачи. - Новосибирск: ОАО «Сибирский институт по изысканиям и проектированию сооружений связи», 1997.
8. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше. - М.: РАОЭ «ЕЭС России», 1999.
9. Рекомендации по одновременной защите кабелей связи от коррозии, ударов молнии и электромагнитных влияний. - М.: Связь, 1983.
10. Директивные указания № 14/10 от 31.10.1974 г. об уточнении отдельных пунктов ч. I «Правил защиты устройств проводной связи, железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи». - М.: Энергосетьпроект, 1974.
11. Директивные указания № 255-д от 23.08.1977 г. о дополнении «Руководства по защите подземных кабелей связи от ударов молний». Ч.1 «Проектирование защиты одночетверочных кабелей всех типов и однокоаксиальных кабелей типа ВКПА». - М.: Министерство связи СССР, 1977.
12. Указания по проектированию защиты симметричных 1х4 и 4х4 и однокоаксиальных кабелей от опасного и мешающего влияния ЛЭП и электрических железных дорог переменного тока с помощью редуцированных трансформаторов серии ОСГР - М.: Главсвязьпроект, 1982.
13. Руководящие указания по защите от опасных напряжений и токов уплотненных кабелей связи, заходящих на энергообъекты. - М.: Энергосетьпроект, 1986.
14. Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации заземлений в установках проводной связи. - М.: Связь, 1991.
15. Строительство кабельных сооружений связи: Справочник. - М.: Радио и связь, 1988.
16. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87.- М.: Энергоатомиздат, 1989.

17. Руководство по расчетам влияния линий электропередачи на линии связи.- М.: Энергосетьпроект, 1972.
18. Сборник справочных материалов по проектированию. С.1.071.-4-85. Коэффициенты защитного действия металлических покрытий кабелей связи, проводов и стальных трубопроводов. - М.: Гипросвязь, 1985.
19. Методическое руководство по проектированию. Защита магистральных и внутризональных линий связи от влияния ВЛ. РП.1.048-85. - Новосибирск: Гипросвязь-4, 1985.
20. Единые нормы и правила по строительству объектов связи, радиовещания и телевидения. - М.: ССКТБ - ТОМАС, 1994.
21. Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи. - М.: Энергосетьпроект, 1976.
22. Методические указания по защите линий связи от опасных и мешающих влияний линий электропередачи и грозовых воздействий. - Мн.: Белэнерго, 2000.
23. Михайлов М.И., Разумов Л.Д. Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей. - М.: Связь, 1967.
24. Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Электромагнитные влияния на сооружения связи. - М.: Связь, 1978.
25. Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Электромагнитные влияния на сооружения связи. - М.: Связь, 1979.
26. Wodepohl L.M., Wilcox D.J. Transient analysis of underground power-transmission systems. 1973. 120. № 2. 253-260 (англ.)
27. Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения. - М.: Энергия, 1973.
28. Кравченко В.И. Грозозащита радиоэлектронных средств. - М.: Радио и связь, 1991.
29. Глушко В.И. Методы расчета магнитного влияния между электрическими цепями с учетом конечной проводимости земли// Электричество. 1986. № 3.
30. Глушко В.И., Ямный О.Е. Расчет входного сопротивления кабельных линий и выноса потенциалов по ним// Электрические станции. 1990. №5.
31. Глушко В.И., Ямный О.Е., Ковалев Э.П., Науменок Н.А. Расчет наведенного напряжения на линиях электропередачи и обеспечение безопасности работ на этих линиях// Электричество. 1997. № 8.
32. Белорусов Н.Н., Саакян А.Е., Яковлева А.Н. Электрические кабели, провода и шнуры: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1987.

Учебное издание

**Алишев Япанче Вагизович,
Бородин Дмитрий Евгеньевич,
Глушко Виктор Иванович и др.**

**ЗАЩИТА ЛИНИЙ СВЯЗИ ОТ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ
ВЛИЯНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И
ГРОЗОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

**Учебное пособие
по дисциплине «Направляющие системы и пассивные
компоненты систем телекоммуникаций»**

для студентов специальности
45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»
всех форм обучения

Редактор Н.А. Бебель
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 28.04.2003.	Формат 60x84 1/16.		
Бумага офсетная.	Печать ризографическая.	Гарнитура Times.	
Усл. печ. л. 3,95.	Уч.-изд. л. 4,0.	Тираж 100 экз.	Заказ 626.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования
"Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники"
Лицензия ЛП № 156 от 30.12.2002.
Лицензия ЛП № 509 от 03.08.2001.
220013, Минск, П. Бровка, 6.