

**ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»**



**СТАНДАРТ
ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007-
29.060.20.020-2009**

Методические указания
по применению силовых кабелей с изоляцией из
сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ и выше

Стандарт организации

Дата введения: 2009-01-22

ОАО «ФСК ЕЭС»
2009

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения Стандартов - ГОСТ Р 1.0–2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения».

Настоящий Стандарт организации (далее по тексту - Стандарт) распространяется на методы определения условий применения силового кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена в кабельных линиях электропередачи переменного тока напряжением 10, 20 и 35 кВ (далее по тексту документа - 10 кВ) частотой 50 Гц с заземлённой и изолированной нейтралью.

Настоящий Стандарт определяет методы определения условий применения силового кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена в кабельных линиях электропередачи напряжением до 35 кВ, сооружаемых с применением различного оборудования и различных технологий.

Сведения о стандарте организации

1 РАЗРАБОТАН: Филиалом Открытого акционерного общества «Научно-технический центр электроэнергетики» - Институтом по проектированию сетевых и энергетических объектов (РОСЭП).

2 ВНЕСЕН: Открытым акционерным обществом «Научно-технический центр электроэнергетики», Дирекцией технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС».

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ: распоряжением ОАО «ФСК ЕЭС» от 22.01.2009 № 22р

4 ВВЕДЕН: впервые

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Дирекцию технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС» до 01.11.2009 по адресу: 117630 Москва, ул. Ак. Челомея, 5а, или электронной почтой по адресу: zhulev-an@fsk-ees.ru

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС»

Содержание

1 Область применения	4
2 Нормативные ссылки	4
3 Термины, определения и сокращения	4
3.1 Термины и определения.....	4
3.2 Сокращения.....	7
4 Общие условия применения кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена	7
4.1 Особенности конструкций кабелей	7
4.2 Общие условия применения	8
4.3 Основные физико-механические свойства кабеля	10
4.4 Электрические характеристики кабелей	11
4.5 Требования к заземлению экранов	14
5 Климатические условия применения кабеля	14
5.2 Кабели с изоляцией из СПЭ рекомендуется применять в сейсмических зонах, в которых сейсмичность не превышает 9 баллов по шкале MSK.....	14
5.3 Ограничений по применению кабеля по условиям влажности воздуха, структуре грунтов и видов почв нет.	14
6 Схемно-режимные условия применения кабеля	15
6.1 Требования к режимам заземления нейтрали сети	15
6.2 Требования к защите от токов перегрузки и токов короткого замыкания	16
6.3 Расчёт токов в экранах кабелей.....	18
6.4 Влияние скрутки кабелей на распределение токов в экранах.....	19
6.5 Требования к защите от токов однофазного замыкания на землю.....	20
6.6 Требования к устройствам защиты кабеля	20
7 Требования к условиям прокладки кабеля.....	21
7.1 Общие требования к условиям прокладки кабеля	21
7.2 Требования к технологии прокладки кабеля	22
7.3 Прокладка кабельных линий в земле.....	26
7.4 Прокладка кабельных линий в кабельных сооружениях.....	29
7.5 Подводная прокладка кабельных линий	34
7.6 Применение кабелей из сшитого полиэтилена во взрывоопасных зонах.....	35
8 Требования к выбору, монтажу и эксплуатации кабеля.....	36
8.1 Требования к выбору кабеля	36
8.2 Требования к монтажу кабеля.....	37
8.3 Требования к арматуре для прокладки кабеля	37
8.4 Требования к методам и устройствам диагностики кабеля	38
9 Особенности проектирования кабельных линий электропередачи с кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена	38
Приложение А (Справочное) Длительно допустимые токи нагрузки при коэффициенте нагрузки 1	41
Приложение Б (Справочное) Сравнительные характеристики кабелей с изоляцией из СПЭ, бумажной изоляцией и маслонаполненных кабелей высокого давления напряжением до 35 кВ.....	44
Приложение В (Справочное) Пример расчёта токов в экранах одножильных кабелей в сети напряжением 10 кВ с изолированной нейтралью	45
Приложение Г (Справочное) Расчёт короткого замыкания в начале линии	47
Библиография.....	50

1 Область применения

Настоящий стандарт «Методические указания по применению силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ и выше» (далее по тексту - Методические указания) содержит рекомендации для определения условий применения кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена в распределительных электрических сетях.

Настоящий стандарт распространяется на процедуру определения условий применения серийно выпускаемых по действующим стандартам и техническим условиям кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена различного конструктивного исполнения.

Нормы и требования настоящего стандарта должны соблюдаться при разработке проектов кабельных линий, проектов организации и производства работ по сооружению кабельных линий напряжением 10-35 кВ.

Настоящий стандарт предназначен для проектных организаций, инженерно-технического персонала сетевых компаний, занимающихся эксплуатацией кабельных сетей (линий) напряжением до 35 кВ включительно.

Условия применения кабелей с изоляцией из СПЭ более высоких классов напряжений выполняются в соответствии со Стандартом «Силовые кабельные линии напряжением 110-500 кВ. Условия создания. Нормы и требования».

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты и классификаторы:

Федеральный закон «О техническом регулировании» № 184-ФЗ

Федеральный закон «Об электроэнергетике» № 35-ФЗ

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 31 декабря 2005 года)

ГОСТ Р 1.4-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения. Утвержден Приказом Ростехрегулирования № 154-ст от 30.12.2004

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем Стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **заземляющее устройство:** Совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

3.1.2 **заземляющий проводник:** Проводник, соединяющий заземленную часть (точку) с заземлителем.

3.1.3 **кабель экранированный:** Кабель, в котором все или часть основных жил экранированные или имеется общий экран.

3.1.4 **кабель с отдельно экранированными жилами:** Многожильный кабель, каждая жила которого поверх изоляции имеет экран.

3.1.5 кабель силовой: Кабель силовой - кабель электрический, предназначенный для передачи электрической энергии большой мощности.

3.1.6 кабель электрический: Кабельное изделие, предназначенное для прокладки в земле и под водой и содержащее одну или более изолированных жил (проводников), заключенных в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься соответствующий защитный покров.

3.1.7 кабельная броня: Часть защитного покрова (или защитный покров) из металлических лент или одного или нескольких повивов металлических проволок, предназначенных для защиты от внешних механических и электрических воздействий и в некоторых случаях для восприятия растягивающих усилий (броня из проволок)

3.1.8 кабельная линия электропередачи: Линия для передачи электроэнергии или ее отдельных импульсов, состоящая из одного или нескольких, соединенных между собой без коммутационных аппаратов, параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями.

3.1.9 кабельное сооружение: Сооружение, предназначенное для размещения кабелей. К кабельным сооружениям относят - кабельные туннели, кабельные каналы, кабельные блоки, кабельные шахты, этажи и двойные полы, кабельные эстакады, галереи и камеры.

3.1.10 кабельный туннель: Закрытое кабельное сооружение (коридор) с расположенными в нем опорными конструкциями для размещения кабелей и кабельных муфт, со свободным проходом по всей длине, позволяющим производить прокладку кабелей, ремонты и осмотры кабельных линий.

3.1.11 кабельный канал: Закрытое и заглубленное (частично или полностью) в грунт, пол, перекрытие и т.п. непроходное кабельное сооружение, предназначенное для размещения в нем кабелей, укладку, осмотр и ремонт которых возможно производить лишь при снятом перекрытии.

3.1.12 кабельная шахта: Закрытое вертикальное протяженное проходное (снабженное по всей высоте скобами или лестницей) или непроходное (со съемной полностью или частично стеной или дверями (люками) на каждом этаже) сооружение с кабельными конструкциями.

3.1.13 кабельный этаж: Часть здания, ограниченная полом и перекрытием или покрытием, с расстоянием между полом и выступающими частями перекрытия или покрытия не менее 1,8 м.

3.1.14 кабельный блок: Кабельное сооружение с трубами (каналами) для прокладки в них кабелей с относящимися к нему колодцами.

3.1.15 кабельная арматура: Конструкции, предназначенные для соединения, ответвления, оконцевания и крепления кабелей.

3.1.16 кабельная камера: Подземное кабельное сооружение, закрываемое глухой съемной бетонной плитой, предназначенное для укладки кабельных муфт или для протяжки кабелей в блоки. Камера, имеющая люк для входа в нее, называется кабельным колодцем.

3.1.17 кабельная эстакада: Надземное или наземное открытое горизонтальное или наклонное протяженное кабельное сооружение. Кабельная эстакада может быть проходной или непроходной.

3.1.18 кабельная галерея: Надземное или наземное закрытое полностью или частично (например, без боковых стен) горизонтальное или наклонное протяженное проходное кабельное сооружение.

3.1.19 короткое замыкание: замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая допустимый ток продолжительного режима.

3.1.20 коммутационные перенапряжения (внутренние): перенапряжения, которые возникают при нормальных (оперативных) включениях и отключениях, изменениях нагрузки или авариях (замыкания на землю, короткие замыкания).

3.1.21 лоток: Открытая конструкция для прокладки на ней кабелей; лоток не является защитой от внешних механических повреждений проложенных на нем кабелей; лотки должны изготавливаться из негорючих материалов и могут быть сплошными, перфорированными или решетчатыми; лотки могут применяться в помещениях и наружных установках.

3.1.22 перегрузка кабельной линии: Превышение длительно допустимой нагрузки линии в нормальном или аварийном режиме работы кабельной линии.

3.1.23 перенапряжение: Всякое повышение напряжения сверх амплитуды длительно допустимого рабочего фазного напряжения.

3.1.24 система защиты от перенапряжений: Совокупность мероприятий и технических средств (устройства заземления, защитные аппараты), снижающих негативное воздействие перенапряжений на электроустановки.

3.1.25 токовая нагрузка кабельной линии (длительно допустимая): Максимальная постоянная нагрузка, при которой кабельная линия в нормальном режиме может находиться в эксплуатации в течение гарантийного срока.

3.1.26 электрическая сеть с изолированной нейтралью: Сеть, нейтраль которой не имеет соединения с землей, за исключением приборов сигнализации, измерения и защиты, имеющих высокое сопротивление.

К сетям с изолированной нейтралью относят сети с компенсированной нейтралью, нейтраль которых заземлена через дугогасящий реактор. Индуктивность реактора такова, что при однофазном замыкании на землю ток реактора компенсирует емкостную составляющую тока однофазного замыкания на землю.

3.2 Сокращения

В стандарте применены следующие сокращения и обозначения:

КЗ	- короткое замыкание;
КЛ	- кабельная линия;
ДГР	- дугогасящий реактор;
ОЗЗ	- однофазное замыкание на землю;
ОПН	- ограничитель перенапряжений нелинейный;
СПЭ	- сшитый полиэтилен;
ППР	- проект производства работ;
ТУ	- технические условия;
$U_{\text{НОМ}}$	- номинальное напряжение кабеля;
$D_{\text{н}}$	- наружный диаметр кабеля.

4 Общие условия применения кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена

4.1 Особенности конструкций кабелей

4.1.1 Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 10-35 кВ номинальной частотой 50 Гц в сетях с заземленной или изолированной нейтралью.

Кабели по конструктивному исполнению, техническим характеристикам и эксплуатационным свойствам должны соответствовать требованиям стандарта «Силовые кабельные линии напряжением 0,4-35 кВ. Условия создания. Нормы и требования» и техническим условиям предприятия - изготовителя кабельной продукции.

Кабели с изоляцией из СПЭ предприятия России выпускают в соответствии с требованиями ТУ 16.К71-335-2004, ТУ 16.К71-359-2005 и ТУ 3530-001-42747015-2005, гармонизированными с рекомендациями МЭК 60502-2.

4.1.2 В кабельных распределительных электрических сетях применяются кабели с изоляцией из СПЭ в одножильном или трёхжильном исполнении (3 одножильных кабеля с изоляцией из СПЭ, скрученные между собой без наложения общей оболочки и трехжильные кабели с общим металлическим экраном и наружной оболочкой, в том числе, бронированные).

Преимущественное исполнение одножильное, что обусловлено технико-экономическими преимуществами одножильных кабелей в сравнении с трехжильными.

4.1.3 Конструкции кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена последнего поколения отличаются наличием герметизирующих элементов, препятствующих распространению влаги по токопроводящей жиле или в области металлического экрана. Такие кабели содержат водоблокирующие элементы, наложенные в виде обмотки водонабухающей ленты или

водонабухающего порошка, введенного в промежутки между проволоками токопроводящей жилы или металлического экрана.

Пример конструктивного исполнения одножильного кабеля на напряжение 10-35 кВ приведен на рисунке 1.

4.1.4 Современная конструкция кабеля включает экран из медных проволок общим сечением экрана 16, 25, 35 (стандартные сечения по ТУ) и 50, 70, 95 мм².

4.1.5 Срок службы кабелей не менее 30 лет при соблюдении условий хранения, прокладки и эксплуатации.

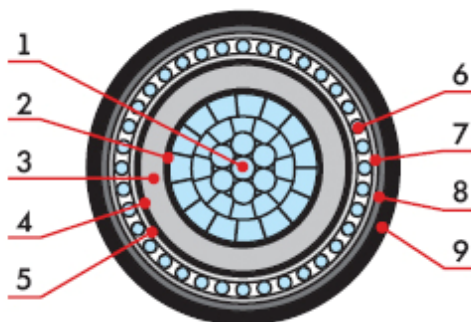


Рисунок 1 - Конструкция одножильного кабеля на напряжение 10-35 кВ:

- 1 - круглая многопроволочная уплотненная алюминиевая или медная токопроводящая жила (ТПЖ);
- 2 - экран по ТПЖ (экструдированный полупроводящий слой из сшитого полиэтилена);
- 3 - изоляция кабеля (сшитый полиэтилен Пв);
- 4 - экран по изоляции (экструдированный полупроводящий слой из СПЭ);
- 5 - слой электропроводящей бумаги или электропроводящей водоблокирующей ленты (г);
- 6 - экран из медных проволок сечением 16, 25, 35 мм², поверх которых наложена медная лента;
- 7 - разделительный слой из кабельной бумаги или прорезиненной ткани;
- 8 - полимерная лента;
- 9 - оболочка - полиэтилен повышенной твердости (П), полиэтилен с увеличенной толщиной оболочки (Пу), поливинилхлоридный пластикат (В), пластикат повышенной пожарной безопасности (Внг-LS), полимерная композиция пониженной горючести, не содержащая галогенов (Пнг - HF).

4.1.6 Диапазон номинальных сечений токопроводящих жил кабелей 50-800 мм².

4.1.7 Номинальная толщина изоляции кабеля зависит от напряжения, на которое рассчитан кабель с изоляцией из СПЭ. Толщина изоляции указывается в ТУ.

4.2 Общие условия применения

4.2.1 Кабели с изоляцией из СПЭ по конструктивному исполнению, техническим характеристикам и эксплуатационным параметрам должны соответствовать требованиям нормативно-технической документации на промышленный выпуск кабелей и техническим условиям предприятий изготовителей кабельной продукции.

4.2.2 Кабели с изоляцией из СПЭ целесообразно применять в кабельных линиях распределительных электрических сетей при необходимости:

- передать большую электрическую мощность;
- обеспечить высокий уровень надежности передачи электрической энергии по кабельным линиям;
- выполнить проект кабельной линии, трасса которой проходит по территории с большой разностью высот (уровней прокладки);
- выполнить проект линий электропередачи с повышенным уровнем экологической и пожарной безопасности.

4.2.3 Одножильные кабели марок ПвП, АПвП, ПвПу и АПвПу рекомендуется применять при прокладке кабельной линии в земле независимо от степени коррозионной активности грунтов. Допускается подвеска указанных кабелей на воздухе, прокладка в кабельных сооружениях, при условии обеспечения дополнительных мер противопожарной защиты, если такие меры предусматриваются классом пожарной опасности проектом КЛ (например, нанесения огнезащитных покрытий).

Кабели указанных марок с индексами «Г» и «2Г» предназначены для прокладки в земле, в воде (в несудоходных водоемах) при соблюдении мер, исключающих механические повреждения кабеля.

4.2.4 Кабели с изоляцией из СПЭ марок ПвПу и АПвПу предназначены для прокладки на сложных участках кабельных трасс, которые содержат:

- более 4 поворотов под углом свыше 30 °;
- прямолинейные участки с 4 переходами или более в трубах длиной свыше 20 м;
- более чем 2 трубных прохода длиной 40 м и более.

4.2.5 Кабели с изоляцией из СПЭ марок ПвВ, АПвВ, ПвВнг, АПвВнг, ПвВнг - LS, АПвВнг - LS, ПвПнг - HF, АПвПнг - HF предназначены для прокладки кабельных линий в сухих грунтах.

4.2.6 Кабели с изоляцией из СПЭ марок ПвВнг-LS, АПвВнг-LS, ПвПнг - HF, АПвПнг - HF предназначены для применения в кабельных линиях электропередачи для групповой прокладки на воздухе, в кабельных сооружениях и помещениях, в которых установлены повышенные требования к плотности дыма при пожаре.

4.2.7 Кабели с изоляцией из СПЭ марок ПвПнг-HF, АПвПнг-HF предназначены для применения в кабельных сооружениях, где имеют место повышенные требования по ограничению воздействия активных к коррозии газов.

4.2.8 Использование кабеля в сетях с изолированной нейтралью, в которых допускается длительное воздействие на изоляцию кабеля высокочастотных перенапряжений при горении прерывистой дуги, рекомендуется при отключении линии при ОЗЗ.

Не отключённые при ОЗЗ линии повышают вероятность многоместного пробоя изоляции с необходимостью замены больших участков кабеля на одном или нескольких присоединениях.

4.2.9 Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена рекомендуется применять в кабельных сетях с заземлённой нейтралью при наличии релейной защиты, действующей на отключение при коротком замыкании на землю.

4.2.10 Номинальное значение резистора при использовании кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена выбирается из условия, что ток, создаваемый им в точке короткого замыкания на землю, должен быть равным фазному току самого мощного присоединения к кабельной линии.

4.2.11 Использование кабеля с изоляцией из СПЭ в кабельных линиях электропередачи возможно, если при однофазных замыканиях на землю обеспечивается:

- снижение высокочастотных перенапряжений;
- максимальное ограничение времени воздействия перенапряжения промышленной частоты на изоляцию из сшитого полиэтилена в переходном и установившемся режимах сети.

4.2.12 Выбор конструкции кабеля, соответствующей режимам, сети производится на этапе проектирования и определяется требованиями и методиками стандартов МЭК.

4.3 Основные физико-механические свойства кабеля

4.3.1 Длительно допустимая температура ТПЖ кабеля 90 °С.

4.3.2 Допустимый радиус изгиба при монтаже и прокладке, не менее 15 D_н.

4.3.3 Физико-механические свойства кабелей с изоляцией из СПЭ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические и эксплуатационные характеристики кабелей с изоляцией из СПЭ

Параметр	Значение параметра
Номинальное напряжение U _{ном} , кВ	10, 20, 35
Температура окружающей среды при эксплуатации кабеля, °С: – ПвВ, АПвВ; – ПвВнг-LS, АПвВнг-LS; – ПвП, АПвП, ПвПу, АПвПу	от + 50 до -50 от + 50 до -40 от + 50 до -60
Относительная влажность воздуха (при температуре до +35 °С), %	98
Предельно допустимая температура нагрева ТПЖ кабелей в аварийном режиме (или режиме перегрузки), °С	+ 130
Предельная температура нагрева ТПЖ по условиям невозгораемости, °С	400 (до 4 с) 350
Максимальная температура нагрева экрана при КЗ, °С	250
Минимально радиус изгиба при прокладке*	15 D _н
Примечание * - при монтаже с использованием специального шаблона допускается минимальный радиус изгиба кабеля 7,5 D _н .	

4.4 Электрические характеристики кабелей

4.4.1 Электрические параметры кабелей, в том числе, длительно допустимые токи и допустимые токи КЗ, должны быть указаны в ТУ предприятием - изготовителем для конкретных сечений ТПЖ кабеля.

4.4.2 Расчетные значения электрических сопротивлений ТПЖ кабеля и ёмкости приведены в таблице 2 и 3.

Таблица 2 - Электрические параметры одножильного кабеля

Сечение ТПЖ, мм ²	Сопротивление ТПЖ постоянному току при температуре 20 °С, Ом/км		Ёмкость, мкФ/км
	медной жилы	алюминиевой жилы	
50	0,387	0,641	0,23
70	0,268	0,443	0,26
95	0,193	0,320	0,29
120	0,153	0,253	0,31
150	0,124	0,206	0,34
185	0,0991	0,164	0,37
240	0,0754	0,125	0,41
300	0,0601	0,100	0,45
400	0,0470	0,0778	0,5
500	0,0366	0,0605	0,55
630	0,0280	0,0464	0,61
800	0,0221	0,0367	0,68

Таблица 3 - Электрические сопротивления ТПЖ кабелей переменному току при температуре 90°С при прокладке кабелей треугольником и в плоскости с расстоянием в свету равном диаметру кабеля

Сечение ТПЖ, мм ²	Активное сопротивление переменному току при 90°С, Ом/км				Индуктивное сопротивление, Ом/км	
	медные жилы		Алюминиевые жилы		при прокладке треугольником (Δ)	при прокладке в плоскости (•••)
	(Δ)	(•••)	(Δ)	(•••)		
50	0,494	0,494	0,822	0,822	0,126	0,184
70	0,342	0,342	0,568	0,568	0,119	0,177
95	0,247	0,246	0,411	0,411	0,112	0,170
120	0,196	0,196	0,325	0,325	0,108	0,166
150	0,159	0,159	0,265	0,265	0,106	0,164
185	0,128	0,127	0,211	0,211	0,103	0,161
240	0,0981	0,0973	0,161	0,161	0,0987	0,157
300	0,0791	0,0781	0,130	0,129	0,0959	0,154
400	0,0633	0,0618	0,102	0,101	0,0928	0,151
500	0,0510	0,0490	0,0804	0,0790	0,0897	0,148
630	0,0417	0,0391	0,0639	0,0621	0,0867	0,145
800	0,0329	0,0301	0,0505	0,0496	0,0832	0,142

4.4.3 Значения допустимых токов односекундного короткого замыкания кабелей должны соответствовать значениям, указанным в таблице 4.

Таблица 4 - Допустимые значения токов односекундного короткого замыкания кабеля с изоляцией из СПЭ

Номинальное сечение жилы, мм ²	Токи короткого замыкания кабеля, кА	
	с медной жилой	с алюминиевой жилой
50	7,15	4,7
70	10,0	6,6
95	13,6	8,9
120	17,2	11,0
150	21,5	14,2
185	26,5	17,5
240	34,3	22,7
300	42,9	28,2
400	57,2	37,6
500	71,5	47,0
630	93,1	59,2
800	114,4	75,2

4.4.4 Допустимые токи односекундного короткого замыкания в медных экранах должны быть не более приведенных в таблице 5.

Таблица 5 - Допустимые значения токов односекундного короткого замыкания в медных экранах кабеля с изоляцией из СПЭ

Сечение медного экрана	Допустимый ток односекундного короткого замыкания, кА
16	3,3
25	5,1
35	7,1
50	10,2
70	14,3
95	19,4

Для других значений сечений медного экрана допустимый ток односекундного КЗ рассчитывают по формуле:

$$I_{КЗ} = K \times S_{ЭКР}, \quad (1)$$

где $I_{КЗ}$ - допустимый ток односекундного КЗ в медном экране, кА;

$S_{ЭКР}$ - номинальное сечение медного экрана, мм²;

K - коэффициент, равный 0,203 кА/мм².

4.4.5 Для продолжительности КЗ, отличающейся от 1 с, значение тока замыкания, указанные в таблицах 2-3, необходимо умножить на поправочный коэффициент K , рассчитываемый по формуле:

$$K = 1/\sqrt{t}, \quad (2)$$

где t - продолжительность короткого замыкания.

Значение токов КЗ по жиле и экрану для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ могут быть определены с использованием номограмм, представленных соответственно на рисунках 2 и 3.

4.4.7 Длительно допустимые токи для одиночной кабельной линии электропередачи в зависимости от сечения алюминиевой (медной) токопроводящей жилы, напряжения и условий прокладки приведены в приложении А.

Для кабелей, проложенных в воздухе, длительно допустимые токи приняты для температуры окружающей среды 25 °С.

Для кабелей, проложенных в земле, длительно допустимые токи рассчитаны при глубине прокладки 0,7 м, удельном термическом сопротивлении почвы 1,2 (К·м)/Вт и температуре окружающей среды 15 °С.

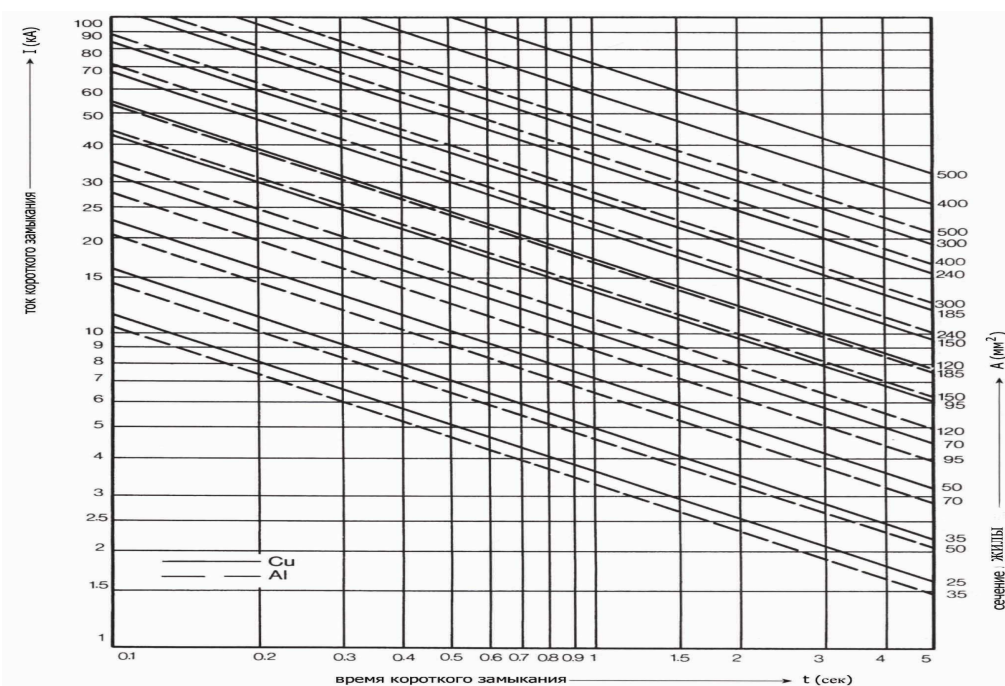


Рисунок 2 - Значения токов КЗ по жиле кабелей с изоляцией из СПЭ на напряжение 10 кВ

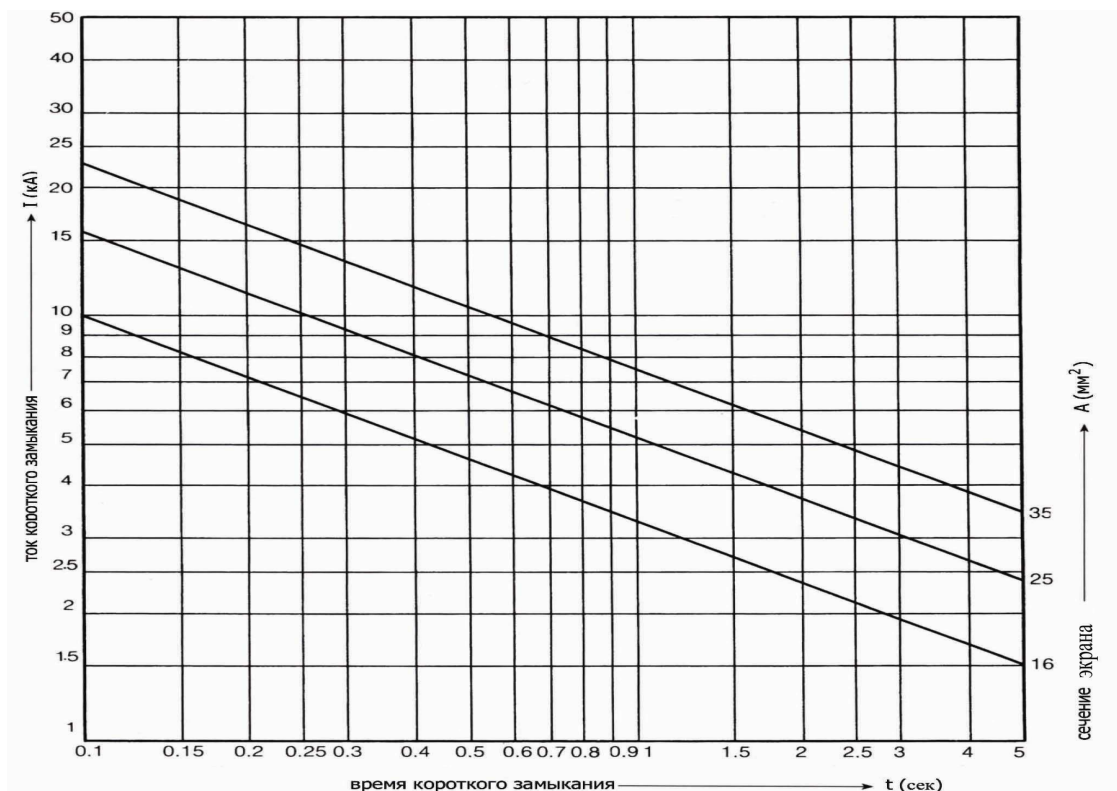


Рисунок 3 - Значение токов КЗ для медного экрана кабелей с изоляцией из СПЭ

4.5 Требования к заземлению экранов

4.5.1 Экран кабеля должен быть заземлен на обоих концах линии. Заземляющие проводники должны быть термически устойчивы к токам короткого замыкания.

4.5.2 При переходе КЛ в воздушную линию электропередачи и при отсутствии у опоры ВЛ заземляющего устройства кабельные муфты (мачтовые) следует заземлять.

4.5.3 Кабельные вставки в ВЛ должны быть защищены по обоим концам кабеля от грозовых перенапряжений защитными аппаратами. Заземляющий зажим защитных аппаратов, экраны кабеля, корпус кабельной муфты должны быть соединены между собой по кратчайшему пути. Заземляющий зажим аппарата защиты должен быть соединен с заземлителем отдельным проводником.

5 Климатические условия применения кабеля

5.1 Кабели с изоляцией из СПЭ выполнены по климатическому исполнению - У, УХЛ, категория размещения 1 и 2 по ГОСТ 15150-69, а также для прокладки в земле и воде.

5.2 Кабели с изоляцией из СПЭ рекомендуется применять в сейсмических зонах, в которых сейсмичность не превышает 9 баллов по шкале MSK.

5.3 Ограничений по применению кабеля по условиям влажности воздуха, структуре грунтов и видов почв нет.

6 Схемно-режимные условия применения кабеля

6.1 Требования к режимам заземления нейтрали сети

6.1.1 Условием эффективного использования кабеля с изоляцией из СПЭ является рациональный выбор режима заземления нейтрали.

6.1.2 Использование ДГР для компенсации ёмкостных токов (в том числе, с автоматическими системами настройки компенсации) не снимает проблемы появления множественных повреждений оборудования при замыканиях на землю.

Режим заземления нейтрали через ДГР допускает вероятность длительного сохранения режима ОЗЗ без отключения потребителей.

Воздействие линейных напряжений на однофазные кабели с изоляцией из СПЭ приводит к увеличению средней напряженности электрического поля в изоляции и созданию благоприятных условий для развития триингов в электрически ослабленных местах, локально распределенных по толщине изоляции и длине кабеля.

В результате имеет место накопление и развитие дефектов в изоляционной системе кабелей с изоляцией из СПЭ, и как итог - повышение аварийности кабельных сетей с нейтралью, заземлённой через ДГР.

6.1.3 Применение режима компенсированной нейтрали рекомендуется при условии установки релейной защиты, действующей на отключение, на новых принципах работы.

6.1.4 Приемлемым вариантом режима кабельной сети, в которой кабель с изоляцией из СПЭ даёт технический и экономический эффект, является режим заземления сети через низкоомный резистор. Применение указанного режима заземления нейтрали должно происходить в комплексе с релейной защитой, гарантирующей быстрое отключение поврежденного фидера при однофазном замыкании на землю.

При этом необходимо обеспечить резервирование участков сети, которые могут быть отключены при ликвидации ОЗЗ.

6.1.5 Ток срабатывания релейной защиты на отключение линии при ОЗЗ определяется номиналом выбранного резистора и для сетей 10 кВ может быть принят на уровне 150-200 А.

Релейная защита должна иметь выдержку времени, превышающую выдержку времени резервной ступени защиты от междуфазных коротких замыканий, установленной на том же фидере.

6.1.6 Заземление кабеля должно быть выполнено в начале и конце кабельной линии (смотри рисунок 4 и п. 4.5.1).

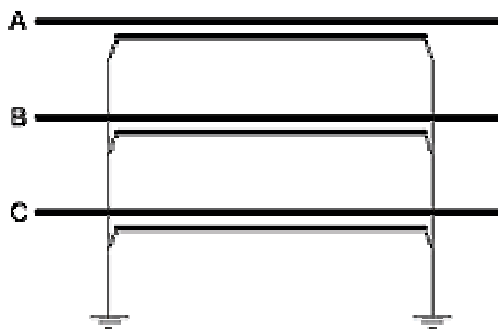


Рисунок 4 - Однофазные кабели с заземлёнными экранами на концах

6.2 Требования к защите от токов перегрузки и токов короткого замыкания

6.2.1 В большинстве случаев применение кабелей с изоляцией из СПЭ требует предварительного расчёта величины экранов.

6.2.2 При эксплуатации трехфазной группы однофазных кабелей с изоляцией из СПЭ рекомендуется принимать меры по снижению токов в экранах.

6.2.3 Эффективными мерами снижения токов в экранах являются секционирование экранов и/или транспозиция экранов.

6.2.4 Выбор схемы соединения и заземления экранов рассматривается главным образом с точки зрения необходимости снижения токов в экранах в нормальном симметричном режиме работы кабеля, а также при внешних (по отношению к кабелю) коротких замыканиях.

6.2.5 Эффективным способом снижения токов внутренних КЗ в кабеле является объединение экранов фаз кабеля, или «скрутка экранов».

6.2.6 Внутренние короткие замыкания в кабеле являются определяющими при формулировании требований к термической стойкости экранов, так как:

- при внутренних повреждениях токи в экранах протекают всегда, при внешних токах КЗ лишь в отдельных случаях;
- для радиальной кабельной сети в качестве внешних токов КЗ рассматриваются повреждения изоляции у потребителя с меньшими токами, в сравнении с внутренними повреждениями в непосредственной близости от центра питания.

6.2.7 Если сечение экрана $S_{\text{Э}}$ не соответствует величине тока I_K и длительности его протекания, то возможно термическое разрушение экрана на значительном по длине L отрезке кабеля. Частичное не заземление экранов или транспозиция не являются основанием для снижения сечения экранов, несмотря на то что при внешних токах КЗ транспозиция существенно снижает токи в экранах.

Транспонирование или частичное заземление экрана кабеля не влияют на внутренне повреждения изоляции «фаза-экран» кабеля (если выполнено секционирование или транспозиция экранов). При этом повреждении ток КЗ I_K из жилы попадает в экран и далее в заземляющее устройство экрана.

КЗ в начале или конце кабеля сопровождается протеканием в экранах токов. В радиальной сети КЗ вблизи нагрузки сопровождается протеканием в экранах меньших по величине токов, чем при КЗ вблизи от центра питания.

6.2.8 При выборе сечения экрана кабеля и проверке его термической стойкости необходимо ориентироваться на большее из двух значений токов КЗ. В кабельных сетях следует рассматривать различные виды КЗ:

- двойное короткое замыкание $K(1,1)$;
- однофазное короткое замыкание $K(1)$;
- двухфазное $K(2)$ или трёхфазное $K(3)$ короткое замыкание.

При повреждении изоляции «токопроводящая жила-экран» (смотри рисунки 5-6) вероятность КЗ в однофазном кабеле повышается.

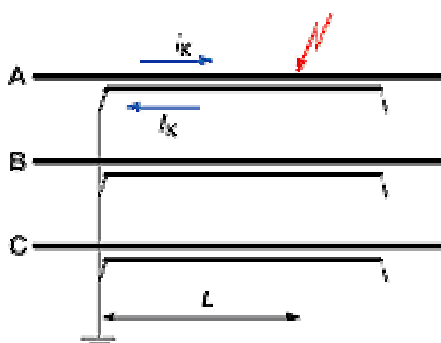


Рисунок 5 - Повреждение изоляции кабеля, экран которого частично не заземлён

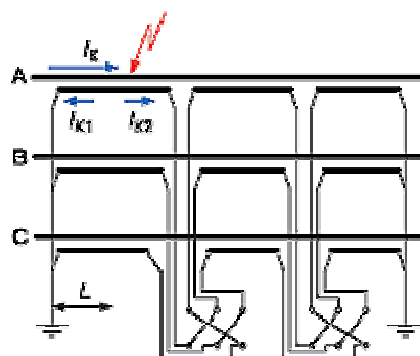


Рисунок 6 - Повреждение изоляции кабеля, экран которого заземлён по концам линии и применена транспозиция экранов

6.2.9 При заземлении экрана двухфазное короткое замыкание без земли $K(2)$ внутри кабеля принципиально невозможно.

Трёхфазное повреждение изоляции кабеля $K(3)$ является маловероятным.

Однофазное короткое замыкание $K(1)$ в сетях с изолированной нейтралью (10-35 кВ) сопровождается протеканием лишь емкостных токов.

6.2.10 При выборе сечения экрана в сетях с изолированной нейтралью расчетным является двойное повреждение изоляции $K(1,1)$, причем наиболее вероятным является повреждение изоляции двух фаз различных присоединений (смотри рисунок 7).

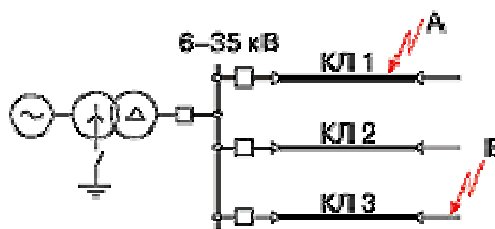


Рисунок 7 - Двойное повреждение изоляции в кабельной сети с изолированной нейтралью

6.3 Расчёт токов в экранах кабелей

6.3.1 Расчёт токов в экранах при повреждении изоляции «токопроводящая жила-экран» при двойном коротком замыкании К(1,1) в сети с изолированной нейтралью (смотри рисунок 7) выполняется в следующей последовательности.

6.3.2 Для повреждения изоляции «токопроводящая жила-экран» в фазе А кабеля длиной L_K на расстоянии L_{K1} от его начала (на расстоянии $L_{K2} = L_K - L_{K1}$ от его конца) на рисунке 8 показаны условно положительные направления токов.

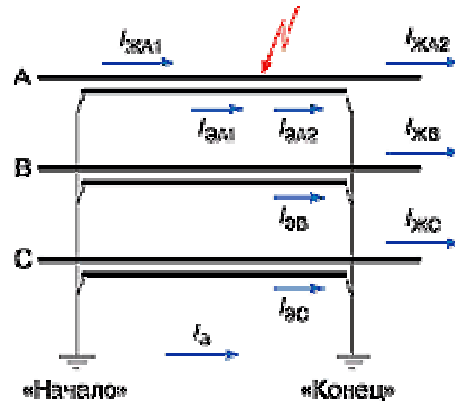


Рисунок 8 - Повреждение изоляции в кабельной линии

6.3.3 Как правило, токи нагрузки заметно меньше величины тока ОЗЗ $I_{ЖА1}$, то есть $I_{ЖА2} \ll I_{ЖА1}$, $I_{ЖВ} \ll I_{ЖА1}$, $I_{ЖС} \ll I_{ЖА1}$. Поэтому допустимо считать $I_{ЖА2} = 0$, $I_{ЖВ} = 0$, $I_{ЖС} = 0$. Система уравнений, описывающая процессы в экранах, может быть записана следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \dot{U}_{\text{Э}А} &= \dot{Z}_{Ж\text{Э}1} I_{ЖА1} + \dot{Z}_{\text{Э}1} I_{\text{Э}А1} + \dot{Z}_{\text{Э}2} I_{\text{Э}А2} + \dot{Z}_K I_{\text{Э}В} + \dot{Z}_K I_{\text{Э}С} \\ \Delta \dot{U}_{\text{Э}В} &= \dot{Z}_{К1} I_{ЖА1} + \dot{Z}_{К1} I_{\text{Э}А1} + \dot{Z}_{К2} I_{\text{Э}А2} + \dot{Z}_{\text{Э}1} I_{\text{Э}В} + \dot{Z}_K I_{\text{Э}С} \\ \Delta \dot{U}_{\text{Э}С} &= \dot{Z}_{К1} I_{ЖА1} + \dot{Z}_{К1} I_{\text{Э}А1} + \dot{Z}_{К2} I_{\text{Э}А2} + \dot{Z}_K I_{\text{Э}В} + \dot{Z}_K I_{\text{Э}С} \end{aligned} \right\} (3)$$

где: индекс 1 у сопротивлений означает, что они относятся к участку кабеля длиной L_{K1} , индекс 2 - к участку кабеля длиной L_{K2} , отсутствие цифрового индекса - ко всему кабелю длиной $L_K = L_{K1} + L_{K2}$. Так как экраны заземлены по концам кабеля, можно записать:

$$\Delta \dot{U}_{\text{Э}А} = \Delta \dot{U}_{\text{Э}В} = \Delta \dot{U}_{\text{Э}С} = 0 \quad (4)$$

6.3.4 Ток короткого замыкания из токопроводящей жилы попадает в экран:

$$\begin{aligned} I_{ЖА1} &= I_{\text{Э}А2} - I_{\text{Э}А1}, \\ I_{\text{Э}В} &= I_{\text{Э}С} \text{ (из условия симметрии)} \end{aligned} \quad (5)$$

6.3.5 После решения системы уравнений (1) токи в схеме, показанной на рисунке 8 по отношению к току КЗ $I_{ЖА1}$ определяются следующими выражениями:

$$\left. \begin{aligned}
 \dot{I}_{\Delta A2} &= \dot{I}_{ЖА1} [(\dot{Z}_{\Delta} - \dot{Z}_{Ж\Delta})/(\dot{Z}_{\Delta} - 2 \dot{Z}_K^2/(\dot{Z}_{\Delta} + \dot{Z}_K))] \cdot L_{K1}/L_K \\
 \dot{I}_{\Delta B} &= \dot{I}_{\Delta C} = \\
 &- \dot{I}_{ЖА1} \dot{Z}_K/(\dot{Z}_{\Delta} + \dot{Z}_K) [(\dot{Z}_{\Delta} - \dot{Z}_{Ж\Delta})/(\dot{Z}_{\Delta} - 2 \dot{Z}_K^2/(\dot{Z}_{\Delta} + \dot{Z}_K))] \cdot L_{K1}/L_K \\
 \dot{I}_{\Delta A1} &= \dot{I}_{\Delta A2} - \dot{I}_{ЖА1}
 \end{aligned} \right\} (6)$$

Ток в земле находится из условия:

$$\dot{I}_3 + \dot{I}_{\Delta A2} + \dot{I}_{\Delta И} + \dot{I}_{\Delta C} = 0 \quad (7)$$

$$\dot{I}_3 = -\dot{I}_{ЖА1} \cdot (\dot{Z}_{\Delta} - \dot{Z}_K)/(\dot{Z}_{\Delta} + \dot{Z}_K) [(\dot{Z}_{\Delta} - \dot{Z}_{Ж\Delta})/(\dot{Z}_{\Delta} - 2 \dot{Z}_K^2/(\dot{Z}_{\Delta} + \dot{Z}_K))] \cdot L_{K1}/L_K \quad (8)$$

6.4 Влияние скрутки кабелей на распределение токов в экранах

6.4.1 Для снижения токовых воздействий на экраны кабелей при внутренних КЗ однофазных кабелей, экраны которых заземлены по концам (рисунок 4), рекомендуется применять «скрутку экранов» (рисунок 9).

Величины токов КЗ в кабельной сети 10 кВ могут быть значительными по сравнению с токами, на протекание которых рассчитаны экраны типовых применяемых кабелей.

Термическая стойкость экранов однофазных кабелей 240/50 мм² обеспечивается при токах КЗ не более 10 кА при времени протекания менее 1 с. Если токи и длительность их протекания более указанных значений, требуется увеличение сечения экрана кабеля.

6.4.2 В случае, если обеспечение термической стойкости требует увеличения сечения экрана сверх типовых соотношений $F_{\Delta}/F_{Ж}$, рекомендуется выполнять «скрутку экранов» (объединение экранов) в каждой соединительной муфте (рисунок 9), что приведет к образованию параллельных ветвей, растеканию токов КЗ через экраны фаз, не затронутых повреждением, и снижению термической нагрузки экрана поврежденной фазы.

Схема обустройства экранов не повлияет на токи в экранах кабеля в нормальном симметричном режиме.

Примеры расчётов приведены в приложениях В и Г.

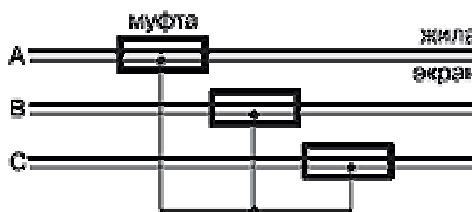


Рисунок 9 - Объединение экранов однофазных кабелей в соединительных муфтах без заземления общей точки

6.5 Требования к защите от токов однофазного замыкания на землю

6.5.1 Для защиты кабелей с изоляцией из СПЭ напряжением 10-35 кВ в сетях с изолированной нейтралью от однофазных замыканий на землю следует применять устройства релейной защиты на отключение поврежденных линий.

Для ограничения перенапряжений, локализации развития повреждений, повышения безопасности и надежности КЛ следует применять:

- в действующих сетях плавно регулируемые дугогасящие реакторы с автоматическими регуляторами настройки компенсации;
- во вновь строящихся сетях плавно регулируемые дугогасящие реакторы с автоматическими регуляторами настройки компенсации, а также резистивное заземление нейтрали.

При проектировании системы защиты от перенапряжений следует применять меры по предотвращению воздействия на кабель высокочастотных перенапряжений.

6.6 Требования к устройствам защиты кабеля

6.6.1 Исходить нужно из следующего: при однофазных замыканиях на землю должна срабатывать специальная защита от ОЗЗ, а при междуфазных КЗ - своя соответствующая защита. Такое исполнение защит позволит быстрее устранить аварию.

Если значение тока ОЗЗ, определяемое сопротивлением резистора в нейтрали, будет соизмеримо с токами нагрузки, поврежденное присоединение можно будет отключать с выдержкой времени.

Выполнение защиты с действием на сигнал нецелесообразно. Современная практика проектирования предусматривает возможность установки в ячейках КРУ трех трансформаторов тока, на базе которых собраны 3-трансформаторные фильтры тока нулевой последовательности.

6.6.2 Большие токи междуфазных КЗ приводят к появлению в 3-трансформаторных фильтрах тока нулевой последовательности значительных токов небаланса $I_{НБ}$, от которых необходимо отстраивать ток срабатывания защиты от ОЗЗ, если она не имеет соответствующей выдержки времени:

$$I_{НБ} = K_{ОДН} \varepsilon I_{КЗ МАХ} \quad (9)$$

где $K_{ОДН} = 1,0$ - коэффициент однотипности трансформаторов тока;

$\varepsilon = 0,1$ - предельная погрешность трансформатора тока;

$I_{КЗ МАХ}$ - максимальный ток междуфазного КЗ, который будет протекать по фильтру;

$$I_{СЗО} = K_H I_{НБ} \quad (10)$$

где $K_H = 1,1-1,2$ - коэффициент запаса.

6.6.3 Чувствительность защиты оценивают коэффициентом чувствительности $K_ч$:

$$K_ч = I_{ОЗЗ} / I_{СЗО}, \quad (11)$$

где I_{O33} - ток ОЗЗ, определяемый сопротивлением резистора для заземления нейтрали.

6.6.4 Чувствительность защиты считается удовлетворительной, если $K_{\text{ч}} \leq 1,5$. При $I_{K3 \text{ MAX}} = (20-60)$ кА получаем $I_{C3O} = (2,2-7,2)$ кА. Если ток резистора 1000 А, что близко к току нагрузки, защита от ОЗЗ оказывается нечувствительной. Для обеспечения минимально необходимого $K_{\text{ч}} = 1,5$ ток резистора должен быть (3,3-10,8) кА, что представляет сложности с точки зрения обеспечения термической стойкости кабельных экранов.

Для получения минимального $K_{\text{ч}} = 1,5$ в рассматриваемых сетях ток должен быть ограничен до величины $I_{K3 \text{ MAX}} \cong 6,1 I_{O33}$, что представляется труднодостижимым.

6.6.5 Поскольку при заданных условиях чувствительность защиты оказалась ниже требуемой, выполнить защиту от ОЗЗ можно с выдержкой времени Δt_{O33} , превышающей выдержку времени защиты от междуфазных КЗ Δt_{K3} на ступень селективности Δt :

$$\Delta t_{O33} = \Delta t_{K3} + \Delta t \quad (12)$$

Выдержку времени защит от междуфазных КЗ примем $\Delta t_{K3} = 0,1$ с; ступень селективности $\Delta t = (0,3-0,4)$ с.

Тогда выдержка защиты от ОЗЗ составит $\Delta t_{O33} = (0,4-0,5)$ с. При этом выражение (9) запишется в виде:

$$I_{\text{НБ}}^{\wedge} = K_{\text{ОДН}}^{\wedge} \varepsilon I_{\text{НАГР MAX}} \quad (13)$$

где $K_{\text{ОДН}}^{\wedge}$ принимается равным 0,5-1,0;

$I_{\text{НАГР MAX}}$ - максимальный ток нагрузки, который оценочно можно принять равным номинальному первичному току установленных на защищаемом фидере трансформаторов тока $I_{\text{НОМ ТТ}}$.

При $I_{\text{НОМ ТТ}} = (200-1500)$ А значение тока небаланса в соответствии с условием (6) $I_{\text{НБ}}^{\wedge} = (10-150)$ А, ток срабатывания защиты согласно (3) $I_{C3O} = (11-180)$ А.

При токе резистора 1000 А чувствительность защиты от ОЗЗ будет обеспечена с большим запасом.

Таким образом, селективная и чувствительная защита от ОЗЗ в кабельных, в том числе, комбинированных сетях с кабелями с изоляцией из СПЭ, может быть выполнена в виде ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности. Защита реагирует на основную гармонику тока $3I_0$, протекающего по нулевому проводу 3-трансформаторного фильтра ТТ.

7 Требования к условиям прокладки кабеля

7.1 Общие требования к условиям прокладки кабеля

7.1.1 Способы прокладки кабелей, трассы кабельных линий, глубина заложения кабелей и расстояния между отдельными кабельными линиями определяются на этапе проектирования.

7.1.2 Кабели с изоляцией из СПЭ всех марок допускают прокладку на трассах без ограничения разности уровней.

7.1.3 При прокладке кабелей в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать не более шести силовых кабелей. При большом количестве кабелей рекомендуется прокладывать их в отдельных траншеях с расстоянием между группами кабелей не менее 0,5 м или в каналах, туннелях, по эстакадам и в галереях.

7.1.4 При прокладке 20 и более кабелей, идущих в одном направлении рекомендуется использовать туннели, галереи или эстакады.

7.1.5 Прокладка кабелей в блоках применяется в условиях большой стесненности по трассе, в местах пересечений с железнодорожными путями и проездами, при вероятности разлива металла.

7.1.6 На территории подстанций и распределительных устройств кабельные линии должны прокладываться в туннелях, коробах, каналах, трубах, траншеях, наземных железобетонных лотках, галереях и по эстакадам.

7.1.7 В городах и поселках одиночные кабельные линии следует, как правило, прокладывать в траншеях по непроезжей части улиц (под тротуарами), по дворам и техническим полосам в виде газонов.

По улицам и площадям, насыщенным подземными коммуникациями, прокладку КЛ в количестве 10 и более в потоке рекомендуется производить в коллекторах и кабельных туннелях. При пересечении улиц и площадей с усовершенствованными покрытиями и интенсивным движением транспорта КЛ должны прокладываться в блоках или трубах.

7.1.8 Глубина прокладки кабелей в вечномёрзлых грунтах определяется при проектировании КЛ с учетом конкретных грунтовых и климатических условий.

В зависимости от местных условий кабели могут прокладываться в земле (в траншеях) ниже деятельного слоя, в деятельном слое в сухих, хорошо дренирующих грунтах, в искусственных насыпях из сухих привозных грунтов, в лотках по поверхности земли и на эстакадах. Рекомендуется совместная прокладка кабелей с трубопроводами теплофикации, водопровода, канализации в специальных сооружениях (коллекторах).

Прокладка кабелей вблизи зданий не допускается. Ввод кабелей из траншеи в здание при отсутствии вентилируемого подполья должен выполняться выше нулевой отметки.

7.2 Требования к технологии прокладки кабеля

7.2.1 Прокладка кабелей должна выполняться специализированной монтажной организацией, имеющей соответствующее оборудование, приспособления, инструменты, материалы и квалифицированных специалистов, прошедших обучение на предприятии-изготовителе кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Персонал строительной-монтажной организации должен быть аттестован на право прокладки кабелей и монтажа муфт с изоляцией из СПЭ.

Прокладка кабеля должна осуществляться в соответствии с проектом производства работ и инструкцией предприятия-изготовителя кабеля.

7.2.2 Число изгибов кабеля под углом до 90° на трассах прокладки должно быть не более 8 на строительную длину кабеля.

7.2.3 Тяжение кабеля во время прокладки должно производиться с применением кабельного чулка, закрепляемого на оболочке, или токопроводящей жиле клиновым захватом.

Усилия во время тяжения кабеля с алюминиевой жилой не должны превышать 30 Н/мм², кабеля с медной жилой - 50 Н/мм².

Скорость тяжения кабеля при прокладке в земле не должна превышать 30 м/мин. и выбирается в зависимости от характера трассы, погодных условий и усилий тяжения. Скорость тяжения кабеля при его прокладке в трубах и блоках должна быть не более 17 м/мин. Кабель необходимо протягивать по возможности без остановок для исключения больших начальных усилий тяжения.

7.2.4 Концы кабеля после отрезания должны быть уплотнены термоусаживаемыми капами для предотвращения проникновения в кабельную конструкцию влаги из окружающей среды. Во время прокладки кабелей должен быть обеспечен контроль состояния оболочек и защитных кап.

7.2.5 При прокладке кабельной линии кабеля однофазного исполнения должны прокладываться параллельно и располагаться в одной плоскости или треугольником вплотную. Возможны иные способы расположения, которые должны быть согласованы с предприятием-изготовителем кабеля.

При параллельной прокладке кабелей в плоскости (в земле или воздухе) расстояния по горизонтали в свету между кабелями отдельной цепи должно быть не менее размера наружного диаметра кабеля.

Скрепление кабелей в треугольник должно осуществляться лентами, стяжками, хомутами или скобами из немагнитного материала. Шаг скрепления, тип, конструкция и материал креплений определяется проектом.

При выборе шага скрепления кабелей, прокладываемых в земле, следует учитывать, что скрепленные в треугольник кабеля не должны менять своего положения при засыпке их грунтом.

7.2.6 Кабели, не связанные в треугольник, должны прокладываться так, чтобы вокруг каждого из них не было замкнутых металлических контуров из магнитных материалов.

Запрещается использование магнитных материалов для бандажей, крепежных или иных изделий, охватывающих кабеля по замкнутому контуру. Бирки на кабель рекомендуется крепить капроновыми, пластмассовыми нитями или проволоками из немагнитных материалов.

7.2.7 При прокладке нескольких кабелей в траншее концы кабелей, предназначенных для последующего монтажа соединительных муфт, следует располагать со сдвигом мест соединений на соседних кабелях не менее, чем на 2 м. При этом должен быть оставлен запас кабеля длиной необходимой для монтажа муфты, а также укладки дуги компенсатора (длиной на каждом кабеле не менее 35 см для кабелей напряжением 10 кВ и не менее 40 см для кабелей напряжением 20-35 кВ). Укладывать запас кабеля в виде колец (витков) не допускается.

7.2.8 Кабели следует прокладывать без предварительного подогрева при температуре не ниже:

- минус 20 °С для кабелей с оболочкой из полиэтилена;
- минус 15 °С для кабелей с оболочкой из поливинилхлоридного пластика;
- минус 15 °С для кабелей с оболочкой пониженной горючести и с полимерной композицией, не содержащей галогенов;
- минус 15 °С для кабелей с оболочкой поливинилхлоридной композиции пониженной горючести и низким выделением газа и дыма.

При температурах до минус 40 °С прокладка кабеля допускается только после его предварительного прогрева.

Прокладка кабеля при температуре ниже минус 40 °С запрещается.

Кабель должен быть подогрет перед прокладкой в теплом помещении (с температурой около 20 °С) в течение 48 ч или с использованием специального оборудования.

Продолжительность прогрева кабеля при температуре плюс (5-10) °С трое суток, при температуре плюс (10-25) °С одни сутки, при температуре плюс (25-40) °С не менее 18 ч. Контроль температуры должен производиться термометром, установленным на витках кабеля.

Не допускается обогрев с применением открытого пламени.

7.2.9 Прокладка кабеля должна быть выполнена в срок не более 30 мин. после прогрева, после чего кабель должен быть немедленно засыпан первым слоем песчано-гравийной смеси или разрыхленного грунта. Окончательную засыпку и уплотнение грунта производят после охлаждения кабеля.

7.2.10 Проходы кабелей однофазного исполнения через стены, перегородки и перекрытия в производственных помещениях и кабельных сооружениях должны быть осуществлены через отрезки труб из немагнитного материала, отверстия в железобетонных конструкциях или открытые проемы.

7.2.11 Вводы кабелей однофазного исполнения в здания, кабельные сооружения и другие помещения должны быть выполнены в асбоцементных, бетонных, керамических или пластмассовых трубах. Концы труб должны выступать в траншею из стены здания или фундамента (при наличии отмостки - за линию последней) не менее чем на 0,6 м, и иметь уклон в сторону траншеи.

Должны быть предусмотрены меры, исключаяющие проникновение из траншеи в здания, кабельные сооружения и другие помещения воды и мелких животных.

7.2.12 Для защиты кабеля при пересечении дорог, инженерных сооружений и естественных препятствий, а также для изготовления кабельных блоков должны быть применены асбоцементные, керамические, пластмассовые трубы или трубы из иного изоляционного немагнитного материала.

Допускается применение труб из магнитных материалов при прокладке кабельной линии в трубе треугольником вплотную. В последнем случае следует учитывать снижение пропускной способности КЛ, связанное с намагничиванием металлической трубы.

Прокладка кабелей двух фаз в одну трубу не допускается из-за снижения длительно допустимой токовой нагрузки кабельной линии.

Прокладка кабеля одной фазы в металлической трубе из магнитного материала **запрещается**.

Внутренний диаметр трубы при прокладке одного кабеля должен быть не менее $1,5 \cdot D_H$ (но не менее 50 мм при длине труб до 5 м и не менее 100 мм при большей длине труб). Внутренний диаметр трубы при прокладке трех кабелей треугольником вплотную должен быть не менее $3 \cdot D_H$ (но не менее 150 мм).

Трубы должны быть соединены муфтами или манжетами из немагнитного материала, если они будут охватывать замкнутым контуром кабель одной фазы, проложенной в соединяемых трубах.

Запрещается использовать для соединения труб стальные патрубки.

7.2.13 При прокладке кабеля под железными дорогами, трамвайными путями, шоссейными магистралями укладка асбоцементных, керамических или пластмассовых труб, предназначенных для кабеля, производится в металлической трубе. Свободное пространство в металлической трубе между асбоцементными, керамическими или пластмассовыми трубами заполняется бетоном. Диаметр, длина и способ прокладки металлической трубы определяются проектом.

7.2.14 При прокладке кабеля с изоляцией из СПЭ и оболочкой из горючего полиэтилена на воздухе в кабельных сооружениях и производственных помещениях проектом должно быть предусмотрено нанесение влагостойких огнезащитных покрытий на оболочку. Срок службы покрытий должен быть не менее 40 лет.

7.2.15 Кабели в кабельных сооружениях рекомендуется прокладывать целыми строительными длинами, избегая применения соединительных муфт.

Соединительные муфты кабелей, прокладываемых в блоках, должны быть расположены в колодцах.

На трассе, состоящей из проходного туннеля, переходящего в полупроходной туннель или непроходной канал, соединительные муфты должны быть расположены в проходном туннеле.

7.2.16 Каналы кабельных блоков, трубы, выход из них, а также их соединения должны иметь обработанную и очищенную поверхность для предотвращения механических повреждений оболочек кабелей при протяжке. На выходах кабелей из блоков в кабельные сооружения и камеры должны предусматриваться меры, предотвращающие повреждение оболочек от истирания и растрескивания.

Для уменьшения усилий тяжения при протягивании кабелей через трубы и блочные каналы следует покрывать поверхности кабелей смазкой, не содержащей веществ, вредно действующих на защитную оболочку кабелей.

При протяжке в трубу или канал блока трех фаз кабелей однофазного исполнения запрещается последовательная протяжка отдельных кабелей с использованием стального троса из-за возможности повреждения тросом уже

проложенных кабелей. При длине труб до 20 м возможна последовательная протяжка отдельных кабелей вручную с использованием веревки.

7.2.17 Для обеспечения требуемой эксплуатационной надежности и электромагнитной совместимости подводных КЛ с ихтиофауной пересекаемых водоемов конструкция КПИ, способы подводной прокладки и режим их эксплуатации определяются на стадии проектирования КЛ с учетом конкретных условий прокладки и должны быть согласованы с предприятием-изготовителем кабеля.

7.3 Прокладка кабельных линий в земле

7.3.1 При прокладке КЛ непосредственно в земле кабели должны прокладываться в траншеях и иметь снизу подсыпку, а сверху засыпку слоем мелкой земли, не содержащей камней, строительного мусора и шлака. Толщина слоя засыпки определяется проектом.

При рытье траншеи землеройным механизмом с шириной фрезы менее 250 мм, а также для одного кабеля (вдоль трассы кабельной линии) кабели на всем протяжении линии должны быть защищены от механических повреждений. Для защиты следует применять:

- железобетонные плиты толщиной не менее 50 мм;
- пластиковые защитно-сигнальными щиты;
- глиняные обыкновенные кирпичи в один слой поперек трассы кабелей.

Применение силикатного, а также глиняного пустотелого или дырчатого кирпича не допускается.

7.3.2 При прокладке на глубине 1-1,2 м кабели напряжением 10-20 кВ допускается не защищать от механических повреждений.

Асфальтовые покрытия улиц рассматриваются как места, где разрывы производятся в редких случаях. Для КЛ напряжением 10-20 кВ, кроме линий, питающих электропринимающие установки I категории, допускается в траншеях с количеством кабельных линий не более двух применять вместо кирпича сигнальные пластмассовые ленты.

7.3.3 Глубина заложения кабельных линий от планировочной отметки должна быть не менее 0,7 м для КЛ напряжением 10-20 кВ; 1 м - для КЛ напряжением 35 кВ; при пересечении улиц и площадей независимо от напряжения - 1 м.

Допускается уменьшение глубины до 0,5 м на участках длиной до 5 м при вводе кабельных линий в здания, а также в местах пересечения их с подземными сооружениями при условии защиты кабелей от механических повреждений.

Прокладка КЛ напряжением 10 кВ по пахотным землям должна производиться на глубине не менее 1 м, при этом полоса земли над трассой может быть занята под посеvy.

7.3.4 Расстояние в свету от кабеля, проложенного непосредственно в земле, до фундаментов зданий и сооружений должно быть не менее 0,6 м.

Прокладка кабелей непосредственно в земле под фундаментами зданий и сооружений не допускается.

7.3.5 При параллельной прокладке КЛ расстояние по горизонтали в свету между кабелями должно быть не менее:

- 100 мм между силовыми кабелями 10 кВ, а также между ними и контрольными кабелями;
- 250 мм между кабелями 20-35 кВ и между ними и другими кабелями;
- 500 мм между кабелями, эксплуатируемыми различными организациями, а также между силовыми кабелями и кабелями связи;

Допускается в случаях необходимости по согласованию между эксплуатирующими организациями с учетом местных условий уменьшение указанных расстояний.

7.3.6 При прокладке КЛ в зоне насаждений расстояние от кабелей до стволов деревьев должно быть, как правило, не менее 2 м. Допускается по согласованию с организацией, в ведении которой находятся зеленые насаждения, уменьшение этого расстояния при условии прокладки кабелей в трубах.

При прокладке кабелей в пределах зеленой зоны с кустарниковыми посадками указанные расстояния допускается уменьшить до 0,75 м.

7.3.7 При параллельной прокладке расстояние по горизонтали в свету от кабельных линий до трубопроводов, водопровода, канализации и дренажа должно быть не менее 1 м; до газопроводов низкого (0,0049 МПа), среднего (0,294 МПа) и высокого давления (0,294-0,588 МПа) - не менее 1 м; до газопроводов высокого давления (0,588-1,176 МПа) - не менее 2 м.

Допускается уменьшение указанных расстояний при прокладке КЛ в стесненных условиях до 0,5 м без специальной защиты кабелей и до 0,25 м при прокладке кабелей в трубах (за исключением расстояний до трубопроводов с горючими жидкостями и газами).

7.3.8 При прокладке кабельной линии параллельно с теплопроводом расстояние в свету между кабелем и стенкой канала теплопровода должно быть не менее 2 м или теплопровод на всем участке сближения с КЛ должен иметь такую тепловую изоляцию, чтобы дополнительный нагрев земли теплопроводом в месте прохождения кабелей в любое время года не превышал 10 °С для КЛ напряжением 10 кВ и 5 °С - для КЛ напряжением 20-35 кВ.

7.3.9 При прокладке кабельной линии параллельно с железными дорогами кабели должны прокладываться, как правило, вне зоны отчуждения дороги.

7.3.10 При прокладке кабельной линии параллельно с трамвайными путями расстояние от кабеля до оси трамвайного пути должно быть не менее 2,75 м. В стесненных условиях допускается уменьшение этого расстояния при условии, что кабели на всем участке сближения будут проложены в изолирующих блоках или трубах.

7.3.11 При прокладке кабельной линии параллельно с автомобильными дорогами категорий I и II кабели должны прокладываться с внешней стороны

кювета или подошвы насыпи на расстоянии не менее 1 м от бровки или не менее 1,5 м от бордюрного камня (смотри таблицу 6). Уменьшение указанного расстояния допускается в каждом отдельном случае по согласованию с соответствующими управлениями дорог.

7.3.12 Расстояние в свету от КЛ до заземленных частей и заземлителей опор ВЛ выше 1 кВ должно быть не менее 5 м. В стесненных условиях расстояние от КЛ до подземных частей и заземлителей отдельных опор ВЛ 1 кВ и выше допускается не менее 2 м; при этом расстояние от кабеля до вертикальной плоскости, проходящей через провод ВЛ, не нормируется.

Расстояние в свету от КЛ до опоры ВЛ 1 кВ и ниже должно быть не менее 1 м, а при прокладке кабеля на участке сближения в изолирующей трубе 0,5 м.

Т а б л и ц а 6 - Автомобильные дороги в зависимости от категории имеют следующие размеры

Категория дорог	Ширина элементов дорог, м			
	проезжей части	обочины	разделительной полосы	земляного полотна
Ia	15 и более	3,75	6,0	28,5 и более
Iб	15 и более	3,75	5,0	27,5 и более
II	7,5	3,75	-	15

7.3.13 При пересечении кабельными линиями других кабелей они должны быть разделены слоем земли толщиной не менее 0,5 м; это расстояние в стесненных условиях может быть уменьшено до 0,15 м при условии разделения кабелей на всем участке пересечения плюс по 1 м в каждую сторону плитами или трубами из бетона или другого равнопрочного материала; при этом кабели связи должны быть расположены выше силовых кабелей.

7.3.14 При пересечении кабельными линиями трубопроводов, в том числе, нефте- и газопроводов, расстояние между кабелями и трубопроводом должно быть не менее 0,5 м. Допускается уменьшение этого расстояния до 0,25 м при условии прокладки кабеля на участке пересечения плюс не менее чем по 2 м в каждую сторону в трубах.

7.3.15 При пересечении КЛ напряжением до 35 кВ теплопроводов расстояние между кабелями и перекрытием теплопровода в свету должно быть не менее 0,5 м, а в стесненных условиях - не менее 0,25 м. При этом теплопровод на участке пересечения плюс по 2 м в каждую сторону от крайних кабелей должен иметь такую теплоизоляцию, чтобы температура земли не повышалась более чем на 10 °С по отношению к высшей летней температуре и на 15 °С по отношению к низшей зимней.

В случаях, когда указанные условия не могут быть соблюдены, допускается выполнение одного из следующих мероприятий:

- заглубление кабелей до 0,5 м вместо 0,7 м;
- применение кабельной вставки большего сечения;

- прокладка кабелей под теплопроводом в трубах на расстоянии от него не менее 0,5 м, при этом трубы должны быть уложены таким образом, чтобы замена кабелей могла быть выполнена без производства земляных работ (например, ввод концов труб в камеры).

7.3.16 При пересечении кабельными линиями железных и автомобильных дорог кабели должны прокладываться в туннелях, блоках или трубах по всей ширине зоны отчуждения на глубине не менее 1 м от полотна дороги и не менее 0,5 м от дна водоотводных канав. При отсутствии зоны отчуждения указанные условия прокладки должны выполняться только на участке пересечения плюс по 2 м по обе стороны от полотна дороги.

При пересечении кабельными линиями электрифицированных и подлежащих электрификации на постоянном токе железных дорог блоки и трубы должны быть изолирующими. Место пересечения должно находиться на расстоянии не менее 10 м от стрелок, крестовин и мест присоединения к рельсам отсасывающих кабелей. Пересечение кабелей с путями электрифицированного рельсового транспорта должно производиться под углом 75-90° к оси пути.

В случае перехода КЛ в ВЛ кабель должен выходить на поверхность на расстоянии не менее 3,5 м от подошвы насыпи или от кромки полотна.

7.3.17. При пересечении кабельными линиями трамвайных путей кабели должны прокладываться в изолирующих блоках или трубах. Пересечение должно выполняться на расстоянии не менее 3 м от стрелок, крестовин и мест присоединения к рельсам отсасывающих кабелей.

7.3.18 При пересечении кабельными линиями въездов для транспорта во дворы, гаражи и т. д. прокладка кабелей должна производиться в трубах.

7.3.19 При установке на кабельных линиях кабельных муфт расстояние в свету между корпусом кабельной муфты и ближайшим кабелем должно быть не менее 250 мм.

7.4 Прокладка кабельных линий в кабельных сооружениях

7.4.1 Для изготовления кабельных блоков, а также для прокладки кабелей в трубах допускается применять стальные, чугунные асбестоцементные, бетонные, керамические и тому подобные трубы. При выборе материала для блоков и труб следует учитывать уровень грунтовых вод и их агрессивность, а также наличие блуждающих токов.

7.4.2 Каждый кабельный блок должен иметь до 15 % резервных каналов, но не менее одного канала.

7.4.3 Глубина заложения в земле кабельных блоков и труб должна приниматься по местным условиям. Глубина заложения кабельных блоков и труб на закрытых территориях и в полах производственных помещений не нормируется.

7.4.4 При прокладке труб для КЛ непосредственно в земле наименьшие расстояния в свету между трубами и между ними и другими кабелями и сооружениями должны приниматься, как для кабелей, проложенных без труб.

При прокладке кабельных линий в трубах в полу помещения расстояния между ними принимаются, как для прокладки в земле.

7.4.5 В местах, где изменяется направление трассы кабельных линий, проложенных в блоках, и в местах перехода кабелей и кабельных блоков в землю должны сооружаться кабельные колодцы, обеспечивающие удобную протяжку кабелей и удаление их из блоков.

Колодцы должны сооружаться также на прямолинейных участках трассы на расстоянии один от другого, определяемом предельно допустимым значением тяжения кабелей. При числе кабелей до 10 переход кабелей из блоков в землю допускается осуществлять без кабельных колодцев.

7.4.6 При высоком уровне грунтовых вод на территории ОРУ следует отдавать предпочтение надземным способам прокладки кабелей. Надземные лотки и плиты для их покрытия должны быть выполнены из железобетона. Лотки должны быть уложены на специальных бетонных подкладках с уклоном не менее 0,2 % по спланированной трассе таким образом, чтобы не препятствовать стоку ливневых вод.

При применении кабельных лотков для прокладки кабелей должны обеспечиваться проезд по территории ОРУ и подъезд к оборудованию машин и механизмов, необходимых для выполнения ремонтных и эксплуатационных работ. Для этой цели должны быть устроены переезды через лотки установкой железобетонных плит с учетом нагрузки от проходящего транспорта. При применении кабельных лотков не допускается прокладка кабелей под дорогами и переездами в трубах, каналах и траншеях, расположенных ниже лотков.

Выход кабелей из лотков к шкафам управления и защиты должен выполняться в трубах, не заглубляемых в землю. Прокладка кабельных перемычек в пределах одной ячейки ОРУ допускается в траншее, причем применение в этом случае труб для защиты кабелей при подводке их к шкафам управления и релейной защиты не рекомендуется.

7.4.7 Кабельные сооружения всех видов должны выполняться с учетом возможности дополнительной прокладки кабелей в размере 15 % количества кабелей, предусмотренного проектом (замена кабелей в процессе монтажа, дополнительная прокладка в последующей эксплуатации).

7.4.8 Кабельные этажи, туннели, галереи, эстакады и шахты должны быть отделены от других помещений и соседних кабельных сооружений негоряемыми перегородками и перекрытиями с пределом огнестойкости не менее 0,75 ч. Такими же перегородками протяженные туннели должны разделяться на отсеки длиной не более 150 м при наличии силовых и контрольных кабелей. Площадь каждого отсека двойного пола должна быть не более 600 м².

Двери в кабельных сооружениях и перегородках с пределом огнестойкости 0,75 ч должны иметь предел огнестойкости не менее 0,75 ч.

Выходы из кабельных сооружений должны предусматриваться наружу или в помещения с производствами категорий Г и Д. Количество и расположение выходов из кабельных сооружений должно определяться,

исходя из местных условий, но их должно быть не менее двух. При длине кабельного сооружения не более 25 м допускается иметь один выход.

Проходные кабельные эстакады с мостиками обслуживания должны иметь входы с лестницами. Расстояние между входами должно быть не более 150 м. Расстояние от торца эстакады до входа на нее не должно превышать 25 м.

Входы должны иметь двери, предотвращающие свободный доступ на эстакады лицам, не связанным с обслуживанием кабельного хозяйства. Двери должны иметь самозапирающиеся замки, открываемые без ключа с внутренней стороны эстакады.

Расстояние между входами в кабельную галерею должно быть не более 150 м.

Наружные кабельные эстакады и галереи должны иметь несущие строительные конструкции из железобетона с пределом огнестойкости не менее 0,75 ч или стального проката с пределом огнестойкости не менее 25 ч.

Кабельные галереи должны делиться на отсеки негорючими противопожарными перегородками с пределом огнестойкости не менее 0,75 ч. Длина отсеков галерей должна быть не более 150 м при прокладке в них кабелей до 35 кВ. На наружные кабельные галереи, закрытые частично, указанные требования не распространяются.

7.4.9 Кабельные каналы и двойные полы в распределительных устройствах и помещениях должны перекрываться съемными негорючими плитами. В электромашиных и тому подобных помещениях каналы рекомендуется перекрывать рифленой сталью, а в помещениях щитов управления с паркетными полами - деревянными щитами с паркетом, защищенными снизу асбестом и по асбесту жестью. Перекрытие каналов и двойных полов должно быть рассчитано на передвижение по нему соответствующего оборудования.

7.4.10 Кабельные каналы вне зданий должны быть засыпаны поверх съемных плит слоем земли толщиной не менее 0,3 м. На огражденных территориях засыпка кабельных каналов землей поверх съемных плит не обязательна. Масса отдельной плиты перекрытия, снимаемой вручную, не должна превышать 70 кг. Плиты должны иметь приспособление для подъема.

7.4.11 На участках, где могут быть пролиты расплавленный металл, жидкости с высокой температурой или же вещества, разрушающе действующие на металлические оболочки кабелей, сооружение кабельных каналов не допускается. На указанных участках не допускается также устройство люков в коллекторах и туннелях.

7.4.12 Подземные туннели вне зданий должны иметь поверх перекрытия слой земли толщиной не менее 0,5 м.

7.4.13 При совместной прокладке кабелей и теплопроводов в сооружениях дополнительный нагрев воздуха теплопроводом в месте расположения кабелей в любое время года не должен превышать 5 °С, для чего должны быть предусмотрены вентиляция и теплоизоляция на трубах.

7.4.14 В кабельных сооружениях кабели рекомендуется прокладывать целыми строительными длинами.

На наружных кабельных эстакадах и в наружных закрытых частично кабельных галереях установка разделительных перегородок не требуется. При этом взаимно резервирующие силовые КЛ (за исключением линий к электропринимающим установкам особой группы I категории) следует прокладывать с расстоянием между ними не менее 600 мм и рекомендуется располагать: на эстакадах по обе стороны пролетной несущей конструкции (балки, фермы); в галереях по разным сторонам от прохода.

7.4.15 В местах, насыщенных подземными коммуникациями, допускается выполнение полупроходных туннелей высотой не менее 1,5 м, при условии выполнения следующих требований: напряжение кабельных линий должно быть не выше 10 кВ; протяженность туннеля должна быть не более 100 м; на концах туннеля должны быть выходы или люки.

7.4.16 Высота кабельных колодцев должна быть не менее 1,8 м; высота камер не нормируется.

Береговые колодцы на подводных переходах должны иметь размеры, обеспечивающие размещение резервных кабелей.

7.4.17 Люки кабельных колодцев и туннелей должны иметь диаметр не менее 650 мм и закрываться двойными металлическими крышками, из которых нижняя должна иметь приспособление для закрывания на замок, открываемый со стороны туннеля без ключа. Внутри помещений применение второй крышки не требуется.

7.4.18 На соединительных муфтах силовых кабелей в туннелях, кабельных этажах и каналах должны быть установлены специальные защитные кожухи для локализации пожаров и взрывов.

7.4.19 Кабельные сооружения, за исключением эстакад, колодцев для соединительных муфт, каналов и камер, должны быть обеспечены естественной или искусственной вентиляцией, причем вентиляция каждого отсека должна быть независимой.

7.4.20 Наименьшие расстояния в свету от кабельных эстакад и галерей до зданий и сооружений должны соответствовать приведенным в таблице 7 значениям.

Пересечение кабельных эстакад и галерей с воздушными линиями электропередачи, внутризаводскими железными и автомобильными дорогами, пожарными проездами, канатными дорогами, воздушными линиями связи и радиовещания и трубопроводами рекомендуется выполнять под углом не менее 30°.

При параллельном следовании эстакад и галерей с воздушными линиями связи и радиовещания наименьшие расстояния между кабелями и проводами линии связи и радиофикации определяются на основании расчета влияния кабельных линий на линии связи и радиовещания.

Наименьшая высота кабельной эстакады и галереи в непроезжей части территории промышленного предприятия должна приниматься из расчета возможности прокладки нижнего ряда кабелей на уровне не менее 2,5 м от планировочной отметки земли.

7.4.21 Вне кабельных сооружений допускается прокладка кабелей на недоступной высоте (не менее 2 м).

На меньшей высоте прокладка кабелей допускается при условии защиты их от механических повреждений.

Т а б л и ц а 7 - Наименьшее расстояние для кабельных сооружений

Расстояние	Наименьшие размеры при прокладке, м	
	в туннелях, галереях, кабельных этажах и на эстакадах	в кабельных каналах и двойных полах
Высота в свету	1,8	Не ограничивается, но не более 1,2 м
По горизонтали в свету между конструкциями при двустороннем их расположении (ширина прохода)	1,0	0,3 при глубине до 0,6 м; 0,45 при глубине 0,6-0,9 м; 0,6 при глубине более 0,9 м
По горизонтали в свету от конструкции до стены при одностороннем расположении (ширина прохода)	0,9	То же
По вертикали между горизонтальными конструкциями ¹⁾ : для силовых кабелей напряжением:		
10 кВ	0,20	0,15
20-35 кВ	0,25	0,20
Между опорными конструкциями (консолями) по длине сооружения	0,8-1,0	
По вертикали и горизонтали в свету между одиночными силовыми кабелями напряжением 10-35 кВ ²⁾	Не менее диаметра кабеля	
По горизонтали между контрольными кабелями и кабелями связи ²⁾	Не нормируется	
Примечание		
1) Полезная длина консоли должна быть не более 0,5 м на прямых участках трассы.		
2) В том числе для кабелей, прокладываемых в кабельных шахтах.		

7.4.22 Отдельные фазы кабелей при прокладке в плоскости или 3 фазы вместе при прокладке в треугольнике должны крепиться к несущим металлоконструкциям при помощи полимерных креплений, которые позволяют избежать повреждений кабелей от воздействия электродинамических сил при протекании токов КЗ.

Механические свойства креплений и частота их установки определяются исходя из токов КЗ. При прокладке в треугольник дополнительно допускается применение специальных армированных полимерных лент для скрепления фаз кабельной линии. При открытой прокладке, крепления должны обладать стойкостью к атмосферным воздействиям и солнечной радиации.

7.4.23 Несущие конструкции кабельных линий должны быть рассчитаны на воздействие электродинамических нагрузок при протекании токов КЗ.

Срок службы металлоконструкций должен соответствовать сроку службы кабельной линии, при условии сохранения несущей способности металлоконструкции. Для исключения коррозии рекомендуется применение оцинкованных металлоконструкций.

7.5 Подводная прокладка кабельных линий

7.5.1 При подводной прокладке кабельных линий и пересечении кабельными линиями рек, каналов и других водоёмов кабели должны прокладываться на участках с дном и берегами, мало подверженными размыванию. При прокладке кабелей через реки с неустойчивым руслом и берегами, подверженными размыванию, заглубление кабелей в дно должно быть сделано с учетом местных условий. Глубина заложения кабелей определяется проектом. Прокладка кабелей в зонах пристаней, причалов, гаваней, паромных переправ, а также зимних регулярных стоянок судов и барж не рекомендуется.

7.5.2 При прокладке (монтаже) кабельных линий должны учитываться данные о глубине, скорости и направлении перемещения воды в месте перехода, господствующих ветрах, профиле и химическом составе дна, химическом составе воды.

7.5.3 Прокладка кабельных линий должна производиться по дну таким образом, чтобы в неровных местах они не оказались на весу; острые выступы должны быть устранены. Отмели, каменные гряды и другие подводные препятствия на трассе следует обходить или предусматривать в них траншеи или проходы.

7.5.4 При пересечении кабельными линиями рек и каналов кабели, как правило, должны заглубляться в дно на глубину не менее 1 м на прибрежных и мелководных участках.

В водоемах, где периодически производятся дноуглубительные работы, кабели заглубляются в дно до отметки, определяемой по согласованию с организациями водного транспорта.

7.5.5 Расстояние между кабелями, заглубляемыми в дно рек, каналов с шириной водоема до 100 м, рекомендуется принимать не менее 0,25 м. Вновь сооружаемые подводные кабельные линии должны прокладываться на расстоянии от действующих кабельных линий не менее 1,25 глубины водоема, исчисленной для многолетнего среднего уровня воды.

При подводных прокладках на глубине более 15 м, а также при скоростях течения более 1 м/с расстояния между отдельными фазами и линиями принимаются в соответствии с проектом.

При параллельной прокладке кабельных линий под водой расстояние по горизонтали в свету должно быть не менее 1,25 глубины, исчисленной для многолетнего среднего уровня воды, но не менее 20 м.

Расстояние по горизонтали от кабелей, заглубляемых в дно рек, каналов и других водоемов, до нефтепроводов и газопроводов должно определяться

проектом в зависимости от вида работ по углублению дна, выполняемых при прокладках трубопроводов и кабелей, но быть не менее 50 м.

Допускается уменьшить эту величину до 15 м по согласованию с организациями, которые обслуживают кабельные линии и трубопроводы.

7.5.7 На берегах без усовершенствованных набережных в месте подводного кабельного перехода должен быть предусмотрен резерв кабельной линии в виде восьмёрки протяжённостью не менее 10 м при речной и 30 м при морской прокладке. На усовершенствованных набережных кабели должны прокладываться в трубах. В месте выхода кабелей, как правило, должны быть устроены кабельные колодцы. Верхний конец трубы должен входить в береговой колодец, а нижний находиться на глубине не менее 1 м от наименьшего уровня воды. На береговых участках трубы должны быть прочно заделаны.

7.5.8 В местах, где русло и берега подвержены размыву, необходимо принять меры против обнажения кабелей при ледоходах и наводнениях путем укрепления берегов.

7.5.9 Пересечение кабелей между собой под водой запрещается.

7.5.10 При прокладке в воде трех и более кабелей трехфазного исполнения до 35 кВ должен быть предусмотрен один резервный кабель на каждые три рабочих. При прокладке в воде кабельных линий из однофазных кабелей должен быть предусмотрен резерв: для одной линии - одна фаза, для двух линий - две фазы, для трех и более - по проекту, но не менее двух фаз. Резервные фазы должны быть проложены таким образом, чтобы они могли быть использованы взамен любой из действующих рабочих фаз.

7.6 Применение кабелей из сшитого полиэтилена во взрывоопасных зонах

7.6.1 Кабельные линии выполняются не распространяющими горение (смотри Нормы пожарной безопасности 242-97 «Классификация и методы определения пожарной опасности электрических кабельных линий»).

7.6.2 Кабели должны иметь сертификат пожарной безопасности с обязательным указанием категории по нераспространению горения.

7.6.3 Кабели из сшитого полиэтилена, которым присвоен индекс «нг» (не распространяющие горение), а так же «нг-LS» или «нг- HF» разрешается применять в кабельных сооружениях в пожароопасных и взрывоопасных зонах всех классов.

Так как негорючие кабели с индексом «нг», «нг-LS», «нг-HF» имеют разные классы распространения горения, поэтому крепление того или иного типа кабеля, в пожароопасных и взрывоопасных зонах, определяются проектом.

7.6.4 Производители кабелей из сшитого полиэтилена должны указывать допустимую нагрузку кабелей соответствующую допустимой температуре проводников, при одиночной прокладке на воздухе или в земле.

7.6.5 В соответствии с требованиями раздела 5.3 ГОСТ Р 51330.13 «Электрооборудование взрывозащищенное. Электроустановки во

взрывоопасных зонах» во взрывоопасных зонах опасных по газу максимальная температура любых элементов кабельных линий не должна превышать температуры самовоспламенения взрывоопасной смеси.

При отсутствии необходимых обоснований в пожароопасных и взрывоопасных зонах допустимые нагрузки для кабелей из сшитого полиэтилена следует принимать не выше, чем для кабелей с изоляцией из винилхлорида, установленных требованиями главы 1.3 «Правил устройства электроустановок» шестого издания или МЭК 60364-5-52.

7.6.6 Применение кабелей из сшитого полиэтилена не имеющих индекса «нг» в пожароопасных и взрывоопасных зонах не допускается.

7.6.7 Для соединения кабелей из сшитого полиэтилена следует использовать кабельные муфты, не распространяющие горение. Не распространение горения должно подтверждаться сертификатом пожарной безопасности.

7.6.8 При расчете значений допустимых нагрузок кабелей рекомендуется использовать временные указания Ассоциации «Росэлектромонтаж» по выбору сечения проводников по нагреву.

8 Требования к выбору, монтажу и эксплуатации кабеля

8.1 Требования к выбору кабеля

8.1.1 Для кабелей, хранящихся на складах более 6 месяцев, не имеющих технического паспорта, а также для всех кабелей зарубежных фирм, применимость кабелей для прокладки в сети с определенным уровнем изоляции решается на основании осмотра, измерения элементов образцов и проведения испытаний.

8.1.2 Для кабельных линий, проходящих в различных грунтах и условиях окружающей среды, выбор конструкции и сечения кабелей следует производить по участку с наиболее тяжелыми условиями, если длина участков с более легкими условиями не превышает строительной длины кабеля.

При значительной длине отдельных участков трассы с различными условиями прокладки для каждого из них следует выбирать соответствующие конструкции и сечения кабелей.

8.1.3 Для кабельных линий, проходящих в грунтах с различными условиями охлаждения, сечения кабелей должны выбираться по участку трассы с худшими условиями охлаждения, если длина его составляет более 10 м.

8.1.4 Кабели должны обладать необходимой стойкостью к механическим воздействиям при прокладке во всех видах грунтов, при протяжке в блоках и трубах, а также стойкостью по отношению к тепловым и механическим воздействиям при эксплуатационно-ремонтных работах.

8.1.5 В местах пересечения кабельными линиями болот кабели должны выбираться с учетом геологических условий, а также химических и механических воздействий.

8.1.6 Для прокладки в почвах, подверженных смещению, должны приниматься меры по устранению усилий, действующих на кабель при смещении почвы (укрепление грунта шпунтовыми или свайными рядами).

8.1.7 Сечение одножильных кабелей должно выбираться с учетом дополнительного нагрева токами, наводимыми в экранах.

Должны быть также выполнены мероприятия по обеспечению равного распределения тока между параллельно включенными кабелями и безопасного прикосновения к их экранам, исключению нагрева находящихся в непосредственной близости металлических частей и надежному закреплению кабелей в изолирующих клицах.

8.2 Требования к монтажу кабеля

8.2.1 Соединительные и концевые муфты для кабелей

8.2.1.1 При соединении и оконцевании силовых кабелей следует применять конструкции и марки муфт, соответствующие условиям их работы и окружающей среды. Концевые и соединительные муфты на КЛ должны быть выполнены так, чтобы кабели были защищены от проникновения в них влаги и других вредно действующих веществ из окружающей среды и чтобы муфты выдерживали испытательные напряжения для КЛ и соответствовали требованиям нормативно-технической документации.

8.2.1.2 Для кабельных линий концевые и соединительные муфты должны применяться в соответствии с действующей технической документацией на муфты, утвержденной в установленном порядке.

8.2.1.3 Число соединительных муфт на 1 км вновь строящихся кабельных линий с использованием одножильных кабелей должно быть не более 2 штук.

Использование маломерных отрезков кабелей для сооружения протяженных кабельных линий не допускается.

8.3 Требования к арматуре для прокладки кабеля

8.3.1 При сооружении КЛ необходимо применять соединительные и концевые кабельные муфты, электрические и механические свойства которых соответствуют аналогичным параметрам кабеля.

8.3.2 Материалы, применяемые для кабельной арматуры, должны быть устойчивыми к воздействию внешних факторов среды, в которой проходит кабельная линия (устойчивость к трингу и эрозии, обладать высокими диэлектрическими свойствами) и предназначены для прокладки в любых климатических и производственных условиях.

Срок службы кабельной арматуры должен быть не менее 30 лет.

8.3.3 Монтаж концевых и соединительных муфт должен производиться в соответствии с инструкцией по их монтажу заводов-изготовителей.

Установка муфт должна обеспечивать герметичность и отсутствие воздушных включений.

Применение муфт различных фирм-изготовителей должно быть согласовано с предприятием-изготовителем кабеля.

8.3.4 Элементы соединительных муфт, восстанавливающие медный экран, должны быть термически устойчивы к токам короткого замыкания, а также иметь хороший контакт с экраном кабеля. Материал зажимов и соединителей должен обеспечивать электрическое сопротивление, не превышающее удельное электрическое сопротивление материала экрана.

8.4 Требования к методам и устройствам диагностики кабеля

Для диагностики кабелей с изоляцией из СПЭ следует:

- применять неразрушающие методы испытаний и диагностики технического состояния изоляционной системы кабеля;
- прогнозировать остаточный ресурс и проводить профилактические испытания кабеля на основе мониторинга технического состояния изоляции кабеля.

9 Особенности проектирования кабельных линий электропередачи с кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена

9.1 Над кабельными линиями в соответствии с действующими правилами охраны электрических сетей должны устанавливаться охранные зоны в размере площадки над кабелями по 1 м с каждой стороны от крайних кабелей и на 1 м в сторону проезжей части улицы.

9.2 Для подводных кабельных линий в соответствии с действующими правилами охраны электрических сетей должна быть установлена охранный зона, определяемая параллельными прямыми на расстоянии 100 м от крайних кабелей.

Охранные зоны кабельных линий используются с соблюдением требований правил охраны электрических сетей.

9.3 Трасса кабельной линии должна выбираться с учетом наименьшего расхода кабеля, обеспечения его сохранности при механических воздействиях, перегрева и от повреждений соседних кабелей электрической дугой при возникновении короткого замыкания на одном из кабелей. При размещении кабелей следует избегать перекрещивания их между собой и с трубопроводами.

9.4 Кабельные линии должны выполняться так, чтобы в процессе монтажа и эксплуатации было исключено возникновение в них опасных механических напряжений и повреждений, для чего:

- кабели должны быть уложены с запасом по длине, достаточным для компенсации возможных смещений почвы и температурных деформаций самих кабелей и конструкций, по которым они проложены; укладывать запас кабеля в виде колец (витков) запрещается;
- кабели, проложенные горизонтально по конструкциям, стенам и перекрытиям должны быть жестко закреплены в конечных точках, непосредственно у концевых заделок, с обеих сторон изгибов и у соединительных и стопорных муфт;
- кабели, проложенные вертикально по конструкциям и стенам, должны быть закреплены так, чтобы была предотвращена деформация оболочек и не

нарушались соединения жил в муфтах под действием собственного веса кабелей;

- конструкции, на которые укладываются кабели, должны быть выполнены таким образом, чтобы была исключена возможность механического повреждения оболочек кабелей; в местах жесткого крепления оболочки этих кабелей должны быть предохранены от механических повреждений;

- кабели, расположенные в местах, где возможны механические повреждения (передвижение автотранспорта, механизмов и грузов, доступность для посторонних лиц), должны быть защищены по высоте на 2 м от уровня пола или земли и на 0,3 м в земле;

- при прокладке кабелей рядом с другими кабелями, находящимися в эксплуатации, должны быть приняты меры для предотвращения повреждения последних;

- кабели должны прокладываться на расстоянии от нагретых поверхностей, предотвращающем нагрев кабелей выше допустимого, при этом должна предусматриваться защита кабелей от прорыва горячих веществ в местах установки задвижек и фланцевых соединений.

9.5 Конструкции подземных кабельных сооружений должны быть рассчитаны с учетом массы кабелей, грунта, дорожного покрытия и нагрузки от проходящего транспорта.

9.6 Кабельные сооружения и конструкции, на которых укладываются кабели, должны выполняться из несгораемых материалов. Запрещается выполнение в кабельных сооружениях каких-либо временных устройств, хранение в них материалов и оборудования. Временные кабели должны прокладываться с соблюдением всех требований, предъявляемых к кабельным прокладкам, с разрешения эксплуатирующей организации.

9.7 Открытая прокладка КЛ должна производиться с учетом непосредственного действия солнечного излучения, а также тепловых излучений от различного рода источников теплоты. При прокладке кабелей на географической широте более 65° защита от солнечного излучения не требуется.

9.8 Радиусы внутренней кривой изгиба кабелей должны иметь по отношению к их наружному диаметру кратности, указанные в стандартах или технических условиях на соответствующие марки кабелей.

9.9 Радиусы внутренней кривой изгиба жил кабелей при выполнении кабельных заделок должны иметь по отношению к приведенному диаметру жил кратности, указанные в стандартах или технических условиях на соответствующие марки кабелей.

9.10 Усилия тяжения при прокладке кабелей и протягивании их в трубах определяются механическими напряжениями, допустимыми для жил и оболочек (экранов).

9.11 Кабельная линия должна иметь свой номер или наименование. Если кабельная линия состоит из нескольких параллельных кабелей, то каждый из них должен иметь тот же номер с добавлением букв А, Б, В и т. д. Открыто

проложенные кабели, а также все кабельные муфты должны быть снабжены бирками с обозначением на бирках кабелей и концевых муфт марки, напряжения, сечения, номера или наименования линии; на бирках соединительных муфт - номера муфты и даты монтажа. Бирки должны быть стойкими к воздействию окружающей среды. На кабелях, проложенных в кабельных сооружениях, бирки должны располагаться по длине не реже чем через каждые 50 м.

9.12 На трассе кабельной линии, проложенной в незастроенной местности, должны быть установлены опознавательные знаки, в том числе, в местах изменения направления трассы.

9.13 Выбор сечения токопроводящей жилы кабеля выполняется по величине допустимого длительного тока в нормальном режиме с учетом поправок на количество кабелей, допустимую перегрузку в послеаварийном режиме, температуру и тепловое сопротивление грунта.

При этом необходимо выполнить расчеты кабеля на термическую стойкость при коротком замыкании и, при необходимости, - на потери и отклонение напряжения в линии.

Сечение жилы кабеля должно выбираться из условия роста электрических нагрузок потребителей на срок не менее 30 лет.

9.14 На стадии проектирования сечение экранов кабеля должны быть проверены расчетом на термическую стойкость при коротком замыкании с учетом развития сети на перспективу на срок не менее 30 лет.

Приложение А
(Справочное)

Длительно допустимые токи нагрузки при коэффициенте нагрузки 1

Таблица А1 - Длительно допустимые токи нагрузки одножильных кабелей на напряжение 10 кВ при прокладке в нормализованном грунте

Сечение ТПЖ, мм ²	Ток при прокладке кабеля в земле, А			
	с медными ТПЖ		с алюминиевыми ТПЖ	
	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником
50	250	225	195	170
70	310	275	240	210
95	336	326	263	253
120	380	370	298	288
150	416	413	329	322
185	466	466	371	364
240	531	537	426	422
300	590	604	477	476
400	633	677	525	541
500	697	759	587	614
630	762	848	653	695
800	825	933	719	780

Таблица А2 - Длительно допустимые токи одножильных кабелей на напряжение 10 кВ при прокладке на воздухе

Сечение жилы, мм ²	Ток при прокладке кабеля на воздухе, А			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником
50	290	240	225	185
70	360	300	280	230
95	448	387	349	300
120	515	445	403	346
150	574	503	452	392
185	654	577	518	450
240	762	677	607	531
300	865	776	693	609
400	959	891	787	710
500	1081	1025	900	822
630	1213	1166	1026	954
800	1349	1319	1161	1094

Таблица А3 - Длительно допустимые токи нагрузки кабелей напряжение 20-35 кВ при прокладке в нормализованном грунте

Сечение жилы, мм ²	Ток при прокладке кабеля в земле, А			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником
50	230	225	185	175
70	290	270	225	215
95	336	326	263	253
120	380	371	298	288
150	417	413	330	322
185	466	466	371	365
240	532	538	426	422
300	582	605	477	476
400	635	678	526	541
500	700	762	588	615
630	766	851	655	699
800	830	942	722	782

Таблица А4 - Длительно допустимые токи одножильных кабелей на напряжение 20 и 35 кВ при прокладке на воздухе

Сечение жилы, мм ²	Ток при прокладке кабеля на воздухе, А			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	в плоскости	треугольником	в плоскости	треугольником
50	290	250	225	190
70	365	310	280	240
95	446	389	348	301
120	513	448	402	348
150	573	507	451	394
185	652	580	516	452
240	760	680	605	533
300	863	779	690	611
400	957	895	783	712
500	1081	1027	897	824
630	1213	1172	1023	953
800	1351	1325	1159	1069

Т а б л и ц а А 5 - Длительно допустимые токи трехжильных бронированных и небронированных кабелей при прокладке в земле для кабелей на напряжение 10, 20 и 35 кВ

Сечение жилы мм ²	Ток при прокладке кабеля в земле А			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	10 кВ	20 и 35 кВ	10 кВ	20 и 35 кВ
50	207	207	156	161
70	253	248	193	199
95	300	300	233	233
120	340	341	265	265
150	384	384	300	300
185	433	433	338	339
240	500	500	392	392

Т а б л и ц а А 6 - Длительно допустимые токи трехжильных бронированных и небронированных кабелей при прокладке на воздухе для кабелей на напряжение 10, 20 и 35 кВ

Сечение жилы, мм ²	Ток при прокладке кабеля на воздухе, А			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	10 кВ	20 и 35 кВ	10 кВ	20 и 35 кВ
50	206	215	159	163
70	255	264	196	204
95	329	331	255	256
120	374	376	291	292
150	423	426	329	333
185	479	481	374	375
240	562	564	441	442

Приложение Б
(Справочное)

Сравнительные характеристики кабелей с изоляцией из СПЭ, бумажной изоляцией и маслонаполненных кабелей высокого давления напряжением до 35 кВ

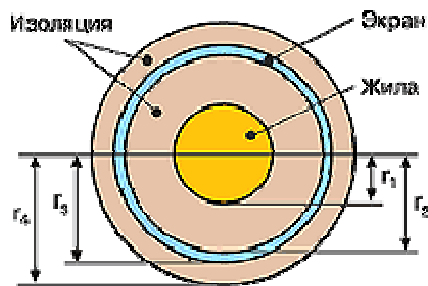
Параметр	Кабель с изоляцией из СПЭ	Маслонаполненный кабель высокого давления	Кабель с бумажной изоляцией
Длительно-допустимая температура, °С	90	85	70
Допустимый нагрев в аварийном режиме, °С	130	90	100
Предельно-допустимая температура при протекании тока КЗ, °С	250	200	200
Температура при прокладке без предварительного подогрева, не ниже, °С	– 20		0
Плотность 1 - секундного тока КЗ, А/мм ² : - медная жила - алюминиевая жила	144 93	101 67	
Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ при 20 °С	2,4	3,3	4,0
Коэффициент диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ при 20 °С	0,001	0,004	0,008
Разность уровней на трассе прокладки, м	Не ограничена		15

Приложение В
(Справочное)

Пример расчёта токов в экранах одножильных кабелей в сети напряжением 10 кВ с изолированной нейтралью

Расчёт значений тока $\dot{I}_{ЖА1}$ двойного короткого замыкания на землю (первое повреждение - в фазе А кабеля, второе повреждение - в фазе В или С в другом месте сети) выполнен для кабеля 240/50 мм².

Геометрия кабеля может быть определена при известных сечениях жилы $F_{Ж}$ и экрана $F_{Э}$, а также толщине $d_{ЖЭ}$ изоляции «токопроводящая жила-экран»:



Расчётные формулы (1):

$$r_1 = (F_{Ж}/\pi)^{1/2}$$

$$r_2 = r_1 + d_{ЖЭ}$$

$$r_3 = (r_2^2 + F_{Э}/\pi)^{1/2}$$

$$r_4 = r_3 + d_{ЭЭ}$$

Рисунок В1 - Однофазный кабель

Для кабеля напряжением 10 кВ, толщины основной изоляции $d_{ЖЭ} = 5$ мм и толщины оболочки экрана $d_{ЭЭ} = 5$ мм.

В расчетах необходимо выявить влияние способа прокладки кабелей, то есть соотношение s/d (s - расстояние между осями соседних фаз, $d = 2r_4$ - диаметр фазы) на токи в экранах. Так, случай $s = d$ означает, что три фазы кабеля проложены вплотную треугольником; случай $s = 10d$ рассмотрен для иллюстрации зависимостей.

На рисунке В2 приведены результаты расчетов модулей комплексных токов по формулам 3-5 в зависимости от соотношения $L_{К1}/L_{К}$ при удельном сопротивлении грунта $R_3 = 100$ Ом·м.

На рисунке В2 видно, что заземленные экраны неповрежденных фаз по мере приближения точки повреждения изоляции «токопроводящая жила-экран» к концу кабеля (от центра питания) снижают ток в поврежденном экране. Точки с наибольшим (расчетным) током КЗ, когда весь ток КЗ попадает в экран, находятся в начале кабеля:

$$|\dot{I}_{ЭА1}| = |\dot{I}_{ЖА1}| \quad (2)$$

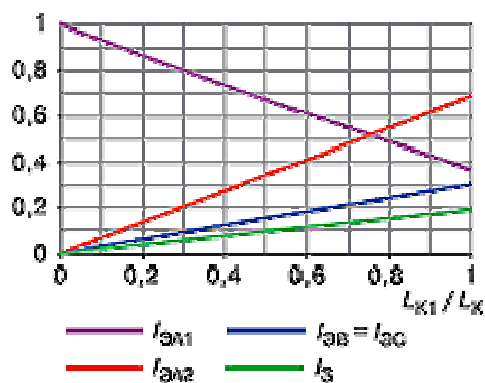


Рисунок В2 - Изменение тока $I_{ЖА1}$ (в относительных единицах) в экране кабеля 240/50 мм² в зависимости от соотношения L_{K1}/L_K при $s = d$

На рисунке В3 проанализировано влияние расстояния между фазами на растекание токов КЗ в экранах.

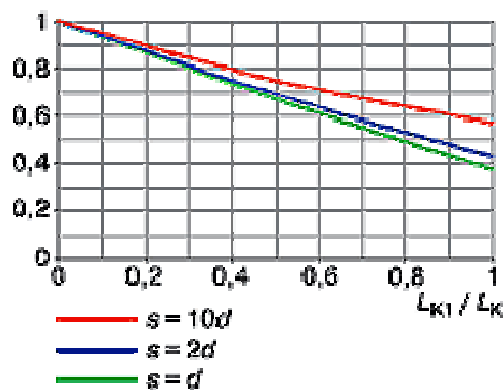


Рисунок В3 - Изменение тока $I_{ЖА1}$ (в относительных единицах) в экране кабеля 240/50 мм² в зависимости от соотношения L_{K1}/L_K при изменении соотношения s/d

При увеличении расстояния зависимость $| I_{ЭА1} / I_{ЖА1} | = f(L_{K1}/L_K)$ смещается в область больших токов. В результате усиливается неравномерность распределения тока по различным участкам экрана поврежденной и неповрежденной фаз и, как следствие, усиливается термическое воздействие на наиболее нагруженный участок экрана поврежденной фазы. Для снижения термической нагрузки на экраны нужно прокладывать однофазные кабели вплотную друг к другу треугольником.

Вне зависимости от способа прокладки кабелей сечение экрана должно соответствовать наибольшему току короткого замыкания К(1,1) в сети с изолированной нейтралью. В противном случае возможно термическое разрушение экрана на участке длиной L_{K1} .

Приложение Г
(Справочное)

Расчёт короткого замыкания в начале линии

Расчёт КЗ для группы из трех однофазных кабелей с двумя строительными длинами (одна соединительная муфта с объединенными, но не заземленными в ней экранами). Система уравнений для падений напряжения на экранах кабеля с учетом $\dot{I}_{\text{ЭВ}2} = \dot{I}_{\text{ЭС}2}$ имеет вид:

$$\Delta \dot{U}_{\text{Э}A2} = \dot{Z}_{\text{Э}2} \dot{I}_{\text{Э}A2} + 2 \dot{Z}_{K2} \dot{I}_{\text{ЭВ}2} \quad (1)$$

$$\Delta \dot{U}_{\text{ЭВ}2} = \dot{Z}_{K2} \dot{I}_{\text{Э}A2} + (\dot{Z}_{\text{Э}2} + \dot{Z}_{K2}) \dot{I}_{\text{ЭВ}2} \quad (2)$$

где индекс 2 у сопротивлений означает, что они относятся к участку кабеля длиной $L_{K2} = 0,5L_K$ от соединительной муфты до его конца.

Поскольку экраны объединены, справедливо:

$$\Delta \dot{U}_{\text{Э}A2} = \Delta \dot{U}_{\text{ЭВ}2} = \Delta \dot{U}_{\text{ЭС}2} \quad (3)$$

и тогда из системы уравнений найдем $\dot{I}_{\text{Э}A2} = \dot{I}_{\text{ЭВ}2} = \dot{I}_{\text{ЭС}2}$.

По 2-му закону Кирхгофа для конца кабеля:

$$I_3 + \dot{I}_{\text{Э}A2} + \dot{I}_{\text{ЭВ}2} + \dot{I}_{\text{ЭС}2} = 0.$$

Так как токи в землю относительно невелики, то есть $I_3 \sim 0$, получим $\dot{I}_{\text{Э}A2} = \dot{I}_{\text{ЭВ}2} = \dot{I}_{\text{ЭС}2} = 0$. Отсюда получается справедливость соотношения (3).

Отсутствие заземления экранов в соединительной муфте, напряжение в ней на экранах в относительно земли ничем не отличается от напряжения на конце кабеля.

Следовательно, экраны в соединительной муфте можно считать заземленными, что позволяет рассматривать процессы в кабеле рисунки Г1-Г2 как процессы в кабеле длиной $0,5L_K$.

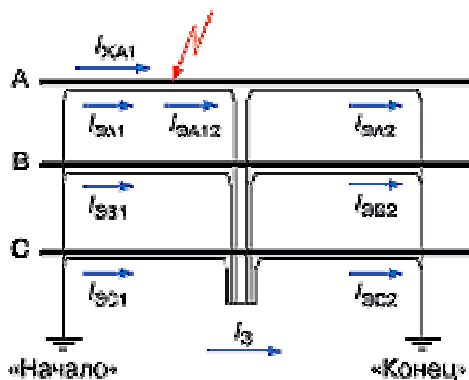


Рисунок Г1 - Повреждение изоляции в начале кабельной линии в фазе А, экраны кабелей которой объединены в соединительной муфте

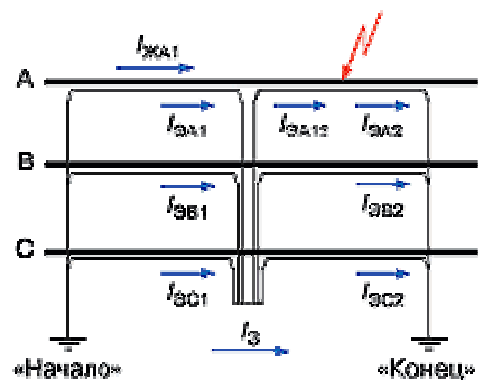


Рисунок Г2 - Повреждение изоляции в конце кабельной линии в фазе А, экраны кабелей которой объединены в соединительной муфте

Система уравнений для падений напряжения на экранах кабеля с учетом $I_{\text{ЭВ}1} = I_{\text{ЭС}1}$ примет вид:

$$\Delta \dot{U}_{\text{Э}A1} = \dot{Z}_{ЖЭ1} \dot{I}_{ЖА1} + \dot{Z}_{Э1} \dot{I}_{\text{Э}A1} + 2 \dot{Z}_{K1} \dot{I}_{\text{ЭВ}1} \quad (4)$$

$$\Delta \dot{U}_{\text{ЭВ1}} = \dot{Z}_{\text{К1}} \dot{I}_{\text{ЖА1}} + \dot{Z}_{\text{К1}} \dot{I}_{\text{ЭА1}} + (\dot{Z}_{\text{Э1}} + \dot{Z}_{\text{К1}}) \dot{I}_{\text{ЭВ1}} \quad (5)$$

где индекс 1 у сопротивлений означает, что они относятся к участку кабеля длиной $L_{\text{К1}} = 0,5L_{\text{К}}$ от начала кабеля до соединительной муфты.

Так как экраны объединены, то:

$$\Delta \dot{U}_{\text{ЭА1}} = \Delta \dot{U}_{\text{ЭВ1}} = \Delta \dot{U}_{\text{ЭС1}}.$$

Тогда соотношение между токами будет:

$$\dot{I}_{\text{ЖА1}} (\dot{Z}_{\text{ЖЭ1}} - \dot{Z}_{\text{К1}}) / (\dot{Z}_{\text{Э1}} - \dot{Z}_{\text{К1}}) + \dot{I}_{\text{ЭА1}} = \dot{I}_{\text{ЭВ1}} \quad (6)$$

Или

$$D \dot{I}_{\text{ЖА1}} + \dot{I}_{\text{ЭА1}} = \dot{I}_{\text{ЭВ1}} = \dot{I}_{\text{ЭС1}}, \quad (7)$$

где $D = (\dot{Z}_{\text{ЖЭ1}} - \dot{Z}_{\text{К1}}) / (\dot{Z}_{\text{Э1}} - \dot{Z}_{\text{К1}}) = (\dot{Z}_{\text{ЖЭ}} - \dot{Z}_{\text{К}}) / (\dot{Z}_{\text{Э}} - \dot{Z}_{\text{Л}})$ есть комплексный коэффициент, в точности равный соотношению тока в экране к току в жиле однофазного кабеля в нормальном симметричном режиме.

Из условия, что $I_3 \sim 0$ и что весь ток КЗ $\dot{I}_{\text{ЖА1}}$ возвращается по экранам, можно получить следующие соотношения:

$$\dot{I}_{\text{ЭА1}} / \dot{I}_{\text{ЖА1}} = - (1 + 2D) / 3 \quad (8)$$

$$\dot{I}_{\text{ЭВ1}} / \dot{I}_{\text{ЖА1}} = \dot{I}_{\text{ЭС1}} / \dot{I}_{\text{ЖС1}} = - (1 - D) / 3 \quad (9)$$

Таким образом, объединение экранов в соединительной муфте оказывается эффективным при повреждении за соединительной муфтой лишь при малых значениях D , которые имеют место при их прокладке вплотную друг другу треугольником.

При пренебрежении током в земле токи в экранах не зависят от конкретного значения удаленности $L_{\text{К1}}$ места повреждения изоляции от начала кабеля при $0,5L_{\text{К}} \leq L_{\text{К1}} \leq L_{\text{К}}$.

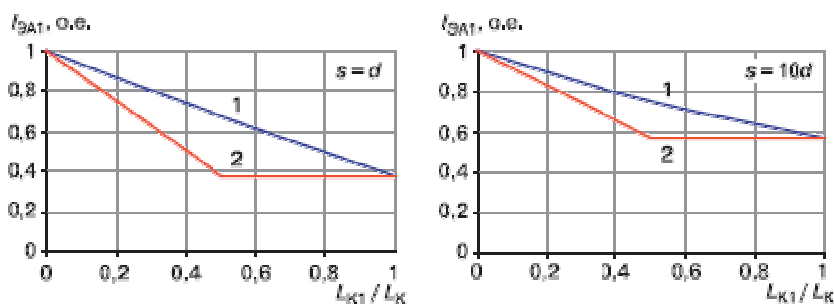


Рисунок Г3 - Эффективность снижения тока в экране аварийной фазы в результате объединения экранов кабеля в соединительной муфте

Целесообразность объединения (скрутки) экранов определяется площадью показанных на рисунках треугольников, образованных линиями 1 и 2.

Для кабеля 240/50 мм² объединение экранов дает результат при прокладке треугольником и фазы кабеля проложены не вплотную, а на расстоянии друг от друга.

Применение силовых однофазных кабелей требует повышенного внимания к обустройству их экранов. Если для кабелей с большим сечением жилы (условно $F_{\text{ж}} > 240 \text{ мм}^2$) специальные мероприятия необходимы прежде всего для радикального снижения токов и потерь в экранах в нормальном режиме работы, то для кабелей с малым сечением жилы специальные мероприятия могут потребоваться в том числе для повышения термической стойкости экранов и снижения риска повреждения экрана кабеля на протяженном по длине участке.

Библиография

- [1] СТО проект «Силовые кабельные линии напряжением 0,4-35 кВ. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования»
- [2] ТУ ТУ 16.К71-335-2004
- [3] ГОСТ 15845-80 Изделия кабельные. Термины и определения
- [4] ГОСТ 16442-80 Кабели силовые с пластмассовой изоляцией. Технические условия
- [5] ГОСТ 24183-80 Кабели силовые для стационарной прокладки. Общие технические условия
- [6] ГОСТ 12 176-89 Кабели, провода и шнуры. Методы проверки на нераспространение горения
- [7] ГОСТ 12.1.030-81 Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
- [8] МЭК 60287 Электрические кабели расчет номинального тока
- [9] МЭК 61443 Предельно допустимая температура при коротких замыканиях электрических кабелей на номинальное напряжение свыше 30 кВ
- [10] МЭК 60502-2 Силовые кабели с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальные напряжения от 1 кВ до 30 кВ. Часть 2. Кабели на номинальное напряжение от 6 кВ до 30 кВ. С изменениями №1, 1998
- [11] РД 153-34.0-20.262-2002 Правила применения огнезащитных покрытий кабелей на энергетических предприятиях
- [12] РД 34.03.304-87 Правила выполнения противопожарных требований по огнестойкому уплотнению кабельных линий