
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ «ЛЕНЭНЕРГО»



СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ЛЕНЭНЕРГО»

СТО XX-2012

**Руководящие указания по выбору, сооружению и
технологии эксплуатации кабельных линий
напряжением 6-110 кВ на основе кабелей с изоляцией
из сшитого полиэтилена**

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения стандарта организации – ГОСТ Р.1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

Сведения о стандарте

- 1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Болид»
- 2 УТВЕРЖДЁН И ВВЕДЁН В ДЕЙСТВИЕ приказом ОАО «Ленэнерго» от
_____.2012 № ____.
- 3 ВВЕДЁН ВПЕРВЫЕ.

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведён, тиражирован и распространён в качестве официального издания без разрешения ОАО «Ленэнерго»

СОДЕРЖАНИЕ

1	Область применения	5
2	Нормативные ссылки	5
3	Термины и определения	8
4	Обозначения и сокращения	9
5	Выбор кабелей	10
5.1	Основные требования.....	10
5.2	Выбор номинального напряжения кабеля	10
5.3	Выбор марки кабеля в зависимости от области применения.....	12
5.4	Выбор сечения жилы кабеля 6-110 кВ	13
5.5	Выбор сечения экрана и способа его заземления.....	21
6	Прокладка и монтаж кабельных линий.....	31
6.1	Приемка и входной контроль кабельной продукции.....	31
6.2	Общие требования к прокладке	34
6.3	Прокладка кабелей в земле (траншеях).....	36
6.4	Прокладка кабелей методом горизонтально-направленного бурения.....	37
6.5	Прокладка кабелей по кабельным эстакадам	38
6.6	Прокладка кабелей в кабельных блоках, трубах и железобетонных лотках..	39
6.7	Прокладка кабелей в кабельных сооружениях и производственных помещениях.....	40
6.8	Прокладка кабелей в особых условиях	42
6.9	Крепление кабелей	43
6.10	Приёмка трассы.....	45
6.11	Хранение и транспортирование барабанов с кабелем	46
6.12	Подготовительные работы к протяжке кабелей	47
6.13	Протяжка кабелей	49
6.14	Одновременная протяжка трех кабелей	51
6.15	Протяжка кабелей в трубах и блоках.....	52
6.16	Отрезка концов кабеля, подготовка к хранению кабелей на трассе.....	52
6.17	Герметизация концов кабелей	53
6.18	Раскатка кабеля	54
6.19	Засыпка траншеи грунтом, маркировка.....	55
6.20	Правила пожарной безопасности при прокладке кабеля.....	55
7	Выбор и монтаж кабельных муфт и арматуры для кабелей с СПЭ-изоляцией	58
7.1	Требования по выбору кабельной арматуры	58
7.2	Требования по монтажу кабельной арматуры и используемому инструменту	64
8	Защита кабельных линий от перенапряжений.....	68
8.1	Грозовые и коммутационные перенапряжения	68
8.2	Перенапряжения при однофазных замыканиях на землю.....	73
8.3	Рекомендации по настройке устройств релейной защиты и автоматики	76
9	Эксплуатация и техническое обследование кабельных линий	80

9.1 Общие положения и методические основания	80
9.2 Анализ технической документации на КЛ	82
9.3 Визуальный осмотр, контроль заземления и тепловизионный контроль КЛ	83
9.4 Импульсный рефлектометрический контроль КЛ	85
9.5 Испытания кабельных линий повышенным напряжением	89
9.6 Диагностирование кабельных линий методами интегральной оценки состояния изоляции и локализации ЧР	96
9.7 Критерии отбраковки кабельных линий в эксплуатации	103
9.8 Определение мест повреждений и поиск трассы кабельных линий	105
9.9 Рекомендации по ремонту кабельных линий	107
9.10 Технология и материалы ремонта оболочек кабелей	108
9.11 Надзор за состоянием кабельных линий	111
Приложение 1 (Справочное) Пример расчета защит от замыканий на землю подстанции с резисторами в нейтрали	114
Приложение Б (Справочное) Марки и основные области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена	116
Приложение В (Справочное) Условные обозначения кабелей с изоляцией СПЭ	125
Приложение Г (Справочное) Выбор сечения жилы кабеля с учетом способа заземления экрана	129
Приложение Д (Справочное) Коэффициенты, учитывающие изменение токов кабелей	132
Приложение Е (Рекомендуемое) Примеры прокладки кабелей	134
Приложение Ж (Рекомендуемое) Классы пожаробезопасности	137
Приложение З (Справочное) Характеристики кабельных муфт для кабелей с СПЭ-изоляцией	139
Приложение И (Рекомендуемое) Примеры крепления кабеля	154
Приложение К (Рекомендуемое) Применение ОПН для защиты экранов кабелей 35-110 кВ	158
Приложение Л (Рекомендуемое) Перечень приемо-сдаточной документации на кабельную линию	159
Приложение М (Справочное)	160
Пример 1. Расчет токов и напряжений в экранах одножильных силовых кабелей 35 кВ при различных способах заземления экранов	160
Пример 2. Расчет варианта транспозиции экранов одножильных силовых кабелей 10 кВ для ограничения токов в экранах	167
Приложение Н (Справочное) Пример выбора номинальных сечений токоведущей жилы и экрана кабеля напряжением 110 кВ	171
Приложение О (Справочное) Пример выбора номинальных сечений токоведущей жилы и экрана кабеля напряжением 10 кВ	174

1 Область применения

1.1 Настоящий Стандарт устанавливает требования к выбору параметров и характеристик, прокладке, монтажу и технологии эксплуатации (в том числе к испытаниям повышенным напряжением и техническому диагностированию) КЛ напряжением 6-110 кВ на основе кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

1.2 Настоящий Стандарт распространяется на все объекты (подстанции) 6-110 кВ ОАО «Ленэнерго», на которых применяются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

1.3 Настоящий Стандарт предназначен для непосредственного использования в ОАО «Ленэнерго». Стандарт является Руководящим документом и носит обязательный характер.

1.5 Требования Стандарта являются обязательными для всех филиалов и производственных отделений ОАО «Ленэнерго», а также организаций, осуществляющих на договорной основе проектирование, строительство, реконструкцию, наладку и эксплуатацию кабельных сетей напряжением 6 – 110 кВ с кабелями с СПЭ-изоляцией на объектах ОАО «Ленэнерго».

2 Нормативные ссылки

2.1 В тексте настоящего Стандарта использованы ссылки на следующие нормативные документы:

- ГОСТ 24183-80 «Кабели силовые для стационарной прокладки»;
- ГОСТ 16442-80 «Кабели силовые с пластмассовой изоляцией»;
- ГОСТ 20074-83 «Электрооборудование и электроустановки. Методы измерения характеристик частичных разрядов»;
- ГОСТ 13781.0-86 «Муфты для силовых кабелей на напряжение до 35 кВ включительно. Общие технические условия».
- ГОСТ 1516.2-97 «Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции»;
- ГОСТ Р 53315-2009 «Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности»;
- ГОСТ Р МЭК 60332-2007 «Испытания электрических и оптических кабелей в условиях воздействия пламени»;
- ГОСТ 12.1.044-89 «Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»;
- ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) «Стандартные напряжения»;
- ГОСТ 18690-82 «Кабели, провода, шнуры и кабельная арматура. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение»;
- ГОСТ 24297-87 Входной контроль продукции. Основные положения.

- НПБ 242-97 «Классификация и методы определения пожарной опасности электрических кабельных линий»;
- СТО 56947007-29.060.20.020-2009 (ОАО «ФСК ЕЭС») «Методические указания по применению силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 кВ и выше»;
- СТО 0101-154.1-2009 (ОАО «МРСК Центра и Приволжья»). Стандарт по входному контролю продукции, закупаемой для нужд Компании.
- СТО НОСТРОЙ 2.27.17-2011 «Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения» (утвержден и введен в действие решением Совета Национального объединения строителей от 05.12.2011, протокол №22).
- РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования»
- РД 153-34.0-20.262-2002 «Правила применения огнезащитных покрытий кабелей на энергетических предприятиях»;
- Правила устройства электроустановок, 7-е изд.;
- Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ;
- Циркуляр Ц-5-98 (э) РАО ЕЭС России «О защите от коммутационных перенапряжений при использовании вакуумных выключателей в сетях собственных нужд 6 кВ энергообъектов»;
- ТУ 16.К71-343-2004 «Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена не распространяющие горение на напряжение 6-10 кВ»;
- ТУ 16.К71-335-2004 с дополнением №1 от 2006 г. «Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10, 20, 35 кВ».
- ТУ 16-705-495-2006 с дополнением от 2009 г. «Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 64/110 кВ»;
- ТУ 16.К71-051-89 «Оконцеватели кабельные термоусаживаемые»;
- ФЗ РФ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (вступил в действие 1.05.2009);
- МУ 1.2.4.10.006.0014-2007 «Методические указания по проведению испытаний повышенным напряжением и контролю технического состояния силовых кабельных линий на атомных станциях» (введен в действие Указанием ФГУП концерна "Росэнергоатом" № 14-ук от 15.02.2008 г.)
- МЭК (IEC) 60183:1984 «Рекомендации по выбору кабелей высокого напряжения»;
- МЭК (IEC) 60502-2:2005 «Силовые кабели с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальные напряжения от 1 кВ ($U_m = 1,2$ кВ) до 30 кВ ($U_m = 36$ кВ)»;
- МЭК (IEC) 61442:2005 «Методика испытаний кабельной арматуры напряжением от 3,6/6 кВ ($U_m = 7,2$ кВ) до 20,8/36 кВ ($U_m = 42$ кВ)».
- МЭК (IEC) 60840:1999 «Силовые кабели с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальные напряжения свыше 30 кВ ($U_m = 36$ кВ) до 150 кВ ($U_m = 170$ кВ). Методы испытания и требования»;

- МЭК (IEC) 61238-1:2003 «Соединители опрессованные и механические для силовых кабелей на номинальные напряжения до 30 кВ ($U_m = 36$ кВ). Часть 1: Методы испытаний и требования»;
- МЭК (IEC) 62271-209:2007 «Аппаратура распределения и управления высоковольтная. Часть 209. Соединения кабелей для элегазовой аппаратуры распределения в металлической оболочке на номинальные напряжения выше 52 кВ».
- МЭК (IEC) 60859:1986 «Кабельные соединения для комплектных распределительных устройств в металлической оболочке с газовой изоляцией на номинальное напряжение 72,5 кВ и выше»
- CENELEC HD 620 «Распределительные кабели с экструдированной изоляцией на номинальные напряжения от 3,6/6 (7,2) кВ до 20,8/36 (42) кВ включительно»;
- CENELEC HD 632 «Силовые кабели с экструдированной изоляцией и арматура к ним на номинальные напряжения свыше 36 кВ ($U_m = 42$ кВ) до 150 кВ ($U_m = 170$ кВ)»;
- IEEE Std. 400.2-2004 Руководство по полевым испытаниям экранированных силовых кабельных линий с использованием напряжения сверхнизкой частоты (СНЧ)/ Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF).

2.2 В настоящем Стандарте приведены ссылки на следующие внутренние нормативные документы Общества:

- «Объем и нормы щадящих и неразрушающих методов испытания и диагностики кабельных линий 6-110 кВ» (введены в действие приказом ген. дир. ОАО «Ленэнерго» №313 от 20.07.2010);
- СТО 01-2011 ОАО «Ленэнерго» «Управление документацией».

3 Термины и определения

В тексте настоящего Стандарта использованы термины по ГОСТ 27.002, ГОСТ 20911, а также следующие термины с соответствующими определениями и сокращениями:

- 3.1. **горизонтальное направленное бурение, ГНБ:** Многоэтапная технология бестраншейной прокладки подземных инженерных коммуникаций при помощи специализированных мобильных буровых установок, позволяющая вести управляемую проходку по криволинейной траектории, расширять скважину, протягивать трубопровод.
- 3.2. **заземляющее устройство; ЗУ:** Совокупность заземлителя и заземляющих проводников.
- 3.3. **кабельная линия электропередачи; КЛ:** Линия для передачи электроэнергии или отдельных ее импульсов, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями.
- 3.4. **рефлектограмма:** Графическое отображение зондирующих и отраженных импульсов в тестируемой линии.
- 3.5. **сшитый полиэтилен; СПЭ:** Изоляционный материал, получаемый путем применения пероксидной или силановой технологии для улучшения технических характеристик полиэтиленовой изоляции, используется при производстве современных силовых кабелей.
- 3.6. **тепловизионный контроль:** Определение теплового режима объекта с отображением распределения температуры по его поверхности и в объеме (теплового поля) в виде термограмм.
- 3.7. **термограмма:** Графическое отображение температурного распределения на исследуемом объекте.
- 3.8. **критерий:** Признак, на основании которого производится определение соответствия диагностического параметра требованиям нормативной и технической документации.
- 3.9. **частичный разряд; ЧР:** Локализованный электрический разряд, частично шунтирующий изоляцию между проводниками, который может происходить как вблизи, так и вдали от проводника.
- 3.10. **эксплуатация:** Стадия жизненного цикла энергетического оборудования или энергетических сооружений, на которой реализуется, поддерживается или восстанавливается его качество.

4 Обозначения и сокращения

В тексте настоящего Стандарта использованы следующие обозначения и сокращения:

ЗУ	— заземляющее устройство;
КЗ	— короткое замыкание;
КЛ	— кабельная линия;
ВЛ	— воздушная линия;
ГНБ	— горизонтально-направленное бурение
НПБ	— нормы пожарной безопасности;
ОЗЗ	— однофазное замыкание на землю;
ОМП	— определение места повреждения;
ОПН	— нелинейный ограничитель перенапряжений;
ППБ	— правила пожарной безопасности;
ПВХ	— поливинилхлорид
ППР	— проект (план) производства работ
ПС	— подстанция;
ПТБ	— правила техники безопасности при эксплуатации;
ПТЭ	— правила технической эксплуатации;
ПУЭ	— правила устройства электроустановок;
РЗиА	— релейная защита и автоматика
РП	— распределительный пункт;
СПЭ	— сшитый полиэтилен;
ТЗН	— трансформатор для заземления нейтрали
ТП	— трансформаторная подстанция.
ТСН	— трансформатор собственных нужд
ТТНП	— трансформатор тока нулевой последовательности
ФМЗО	— фильтр масляный заземляющий однофазный
ЭМО	— электромагнитная обстановка
ЭТЛ	— электротехническая лаборатория

5 Выбор кабелей

5.1 Основные требования

5.1.1. При выборе кабеля основными параметрами являются:

- номинальное и наибольшее рабочее напряжение кабеля, в том числе в зависимости от длительности эксплуатации в режиме однофазного замыкания на землю;
- марка в зависимости от области применения;
- сечение жил кабеля в зависимости от способа заземления экрана, длительно допустимых токов кабеля, допустимых токов односекундного короткого замыкания и времени его отключения;
- сечение экрана и способы его заземления.

5.1.2. Следует обращать внимание на используемую заводом-производителем технологию сшивания изоляции СПЭ (силановая или пероксидная). Предпочтение следует отдавать кабелям, изготовленным с использованием технологии пероксидной сшивки.

5.1.3. Кабели, изготовленные с использованием технологии силановой сшивки, могут использоваться только в сетях напряжением до 10 кВ включительно и только при предоставлении изготовителем протоколов квалификационных двухгодичных испытаний конкретных марок кабелей на ускоренное старение.

5.2 Выбор номинального напряжения кабеля

5.2.1. Выбор номинального напряжения кабеля 6-35 кВ связан с режимом нейтрали сети, физическими свойствами сшитой полиэтиленовой изоляции и длительностью существования режима однофазного замыкания на землю.

5.2.2. С точки зрения характера электрического пробоя монолитная полимерная изоляция кабеля (в том числе СПЭ) не восстанавливает свои свойства после однофазного повреждения и «заплывания» канала пробоя не происходит, что имеет место в бумажно-пропитанной изоляции в 60-70% случаев.

5.2.3. По оценкам эксплуатации дуговое замыкание на землю в кабелях с изоляцией СПЭ за время до 1 минуты может переходить в устойчивую фазу с термическим разложением полимера и вероятным развитием аварийной ситуации. Переход однофазного замыкания в КЗ возможен и при пофазной раскладке кабелей в плоскости. Это обуславливает целесообразность организации релейной защиты от замыканий на землю на отключение в сетях на основе кабелей с полимерной изоляцией, с чем и связан вопрос выбора номинального напряжения кабеля $U_{ном}$.

5.2.4. Согласно международному стандарту МЭК (IEC) 60502:2005, электрические сети среднего напряжения, в зависимости от допустимой длительности существования режима однофазного замыкания, делятся на три категории:

- категория «А» включает сети, в которых любое ОЗЗ отключается от питающей системы за время менее одной минуты;
- категория «В» включает сети, которые могут эксплуатироваться с одной заземленной фазой в течение времени не более 1 часа согласно МЭК 60183: 1984, суммарная продолжительность замыканий за год не должна превышать 125 часов;
- категория «С» включает сети, где длительность замыканий на землю не ограничивается.

5.2.5. В табл. № 1 приведены рекомендованные номинальные напряжения кабеля для сетей 6-35 кВ.

Табл. № 1 – Рекомендованные номинальные напряжения кабелей с изоляцией СПЭ

Номинальное напряжение сети, кВ	Максимальное длительное напряжение, кВ	Рекомендуемое номинальное напряжение U , кВ	
		для сетей категорий «А» и «В»	для сетей категории «С»
6	7,2	6	10
10	12	10	15
20	24	20	30
35	42	35	-
110	126	110	-

5.2.6. Для сети 6-35 кВ, выполненной кабелями с изоляцией СПЭ, рекомендуется оснащение присоединений защитой от замыкания на землю, действующей на отключение поврежденного фидера. В случае ограничения времени существования режима однофазного замыкания (менее 1 минуты или от 1 минуты до 1 часа) $U_{ном}$ кабеля всегда соответствует номинальному напряжению сети.

5.2.7. Удержание ОЗЗ на время до 1 часа приводит к ускоренному старению СПЭ-изоляции по сравнению с нормальным эксплуатационным режимом.

5.2.8. При отсутствии защиты, отключающей поврежденный фидер при замыкании на землю в сети 6-35 кВ, номинальное напряжение кабеля, как правило, должно быть на ступень выше номинального напряжения сети.

5.2.9. Допускается применение кабеля класса напряжения, равного номинальному напряжению сети, если средняя за 3-5 лет суммарная длительность замыканий в год не превышает 125 часов, либо максимальная допустимая длительность единичного неотключенного ОЗЗ – не более 1 часа.

5.2.10. Подавляющее большинство распределительных сетей 6-35 кВ, а также сетей электроснабжения промышленных предприятий, где допускается длительное существование режима однофазного замыкания на землю, относится к категории «С». Поэтому кабели с изоляцией СПЭ, применяемые в этих сетях, должны выбираться с уровнем изоляции выше, чем номинальное напряжение сети. В противном случае должен решаться вопрос о переводе сети в другую категорию и об организации релейной защиты от замыканий на землю, действующей на отключение.

5.2.11. Сети 35 кВ, в соответствии со стандартом МЭК 60502-2005, не относятся к категории «С», поэтому однофазное замыкание на землю в таких сетях должно безусловно отключаться.

5.2.12. В сети 110 кВ, эксплуатируемой с эффективно заземленной нейтралью и отключением однофазных коротких замыканий, номинальное напряжение кабеля соответствует номинальному напряжению сети.

5.2.13. Максимальное линейное (наибольшее рабочее) напряжение кабеля и кабельной арматуры классов 6, 10, 20 кВ должно соответствовать наибольшему рабочему напряжению сети – 7,2; 12; 24 кВ соответственно по ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83). Заказчик имеет право требовать у производителя указания такого соответствия в паспорте кабельного изделия.

5.2.14. Максимальное линейное (наибольшее рабочее) напряжение, при котором могут длительно работать кабели и кабельная арматура номинальным напряжением 35 кВ, может быть принято равным 36 кВ по ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) и МЭК (IEC) 60502-2:2005.

5.2.15. Максимальное линейное (наибольшее рабочее) напряжение, при котором могут длительно работать кабели номинальным напряжением 110 кВ, может быть принято равным 123 кВ по ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83), МЭК (IEC) 60183 и МЭК (IEC) 60840:1999.

5.2.16. Конструкция кабелей и кабельной арматуры на номинальные напряжения 35 и 110 кВ, технические требования и результаты испытаний, как правило, должны позволять использовать их в сетях с максимальным напряжением 40,5 и 126 кВ соответственно.

5.3 Выбор марки кабеля в зависимости от области применения

5.3.1. Выбор марки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой оболочке на напряжения 6-35 кВ в зависимости от области применения приведен в Приложении Б (табл. № Б.1).

5.3.2. Выбор марки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката на напряжения 6-35 кВ в зависимости от области применения приведен в Приложении Б (табл. № Б.2).

5.3.3. Кабели при эксплуатации являются стойкими к воздействию температуры окружающей среды до плюс 50°C.

5.3.4. Кабели марок ПвВнг-LS, АпвВнг-LS, ПвБВнг-LS, АпвБВнг-LS, АпвВ, ПвВ, АпвБВ, ПвБВ должны быть стойкими к воздействию пониженной

температуры окружающей среды до минус 50°C, марок ПвП, АпвП, ПвПу, АпвПу, ПвПг, АпвПг, ПвПуг, АпвПуг, ПвП2г, АпвП2г, ПвПу2г, АпвПу2г, АпвБП, ПвБП, АпвБПг, ПвБПг – до минус 60°C, т.е. соответствуют виду климатического исполнения У, УХЛ, категории размещения 1 и 2 по ГОСТ 15150.

5.3.5. Для кабелей марок ПвВнг-LS, АпвВнг-LS, ПвБВнг-LS, АпвБВнг-LS, ПвКВнг-LS, АпвКВнг-LS, ПвКаВнг-LS, АпвКаВнг-LS, ПвКсВнг-LS, АпвКсВнг-LS в зависимости от предела распространения горения по классификации НПБ-248 к обозначению марки добавляются индексы: А – предел распространения горения ПРГП 1, например ПвВнг(А)-LS; В – предел распространения горения ПРГП 2, например АпвБВнг(В)-LS.

5.3.6. Выбор марки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ в зависимости от области применения приведен в Приложении Б (табл. № Б.3).

5.3.7. Выбор марки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжения 6-35 кВ производства «Южкабель» (Украина) в зависимости от области применения приведен в Приложении Б (табл. № Б.4).

5.3.8. Выбор марки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжения 6-35 кВ производства «Nexans» (Германия) в зависимости от области применения приведен в Приложении Б (табл. № Б.5).

5.3.9. Выбор марки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжения 10-110 кВ производства «Reka Kabel» (Финляндия) в зависимости от области применения приведен в Приложении Б (табл. № Б.6).

5.3.10. Условные обозначения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена приведены в Приложении В.

5.4 Выбор сечения жилы кабеля 6-110 кВ

5.4.1. При выборе сечения жилы кабеля необходимо учесть:

- способ заземления экранов: двустороннее или одностороннее, один или два полных цикла транспозиции экранов.
- длительно допустимые токи кабеля;
- допустимые токи односекундного короткого замыкания.

Выбор сечения жилы кабеля с учетом способа заземления экрана приведен в Приложении Г, пример выбора номинального сечения токопроводящей жилы и экрана кабеля с учетом поправочных коэффициентов для 110 кВ приведен в Приложении Н, для 10 кВ – в Приложении О.

5.4.2. Длительно допустимые токи для каждой кабельной линии должны устанавливаться с учетом конкретных условий, в которых они работают:

- вид прокладки;
- температура окружающей среды (земли, воздуха);

- количество рядом проложенных кабелей;
- тепловое сопротивление грунта для участка трассы с наихудшими условиями охлаждения;
- прокладка кабелей в земле в трубах на длине более 10 м.

5.4.3. Длительно допустимые токи кабелей в зависимости от сечения медной или алюминиевой жилы при различных способах прокладки в земле и воздухе приводятся каждым производителем кабелей для своей номенклатуры изделий для температуры окружающей среды 15°C при прокладке в земле и 25°C при прокладке на воздухе. При других расчетных температурах окружающей среды и при различных режимах работы кабельных линий (нормальный режим - температура жилы 90°C, режим перегрузки - температура жилы 130°C) необходимо применять поправочные коэффициенты, указанные в табл. № 2.

Табл. № 2 Поправочные коэффициенты на температуру окружающей среды по отношению к длительно допустимым токам нормального режима (температура жилы 90°C) и режима перегрузки

Расчетная температура окружающей среды, °C	Температура жилы, °C	Поправочные коэффициенты при температуре окружающей среды, °C											
		-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
15	90	1,13	1,1	1,06	1,03	1,0	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82	0,77	0,73
25	90	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,0	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
15	130	1,08	1,06	1,04	1,02	1,0	0,98	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,83
25	130	1,13	1,11	1,09	1,07	1,05	1,02	1,0	0,98	0,95	0,93	0,90	0,87

5.4.4. Сезонные расчетные температуры грунта на глубине прокладки кабелей 0,7-0,8 м и удельном термическом сопротивлении почвы 1,20 °C м/Вт приведены в табл. № 3 (напряжение 6-35 кВ)

Табл. № 3 - Сезонные расчетные температуры грунта

Наименование	Расчетные температуры грунта, °C	
	В летний сезон	В осенне-зимний сезон
1	2	3
Ленэнерго	15	5

5.4.5. Допустимые токи кабеля в режиме перегрузки при прокладке в земле и на воздухе могут быть рассчитаны путем умножения соответствующих значений, указанных в инструкциях производителя, на коэффициент 1,17 при прокладке в земле и на коэффициент 1,20 при прокладке в воздухе.

5.4.6. Продолжительность перегрузки не должна превышать 8 ч в сутки и быть не более 1000 ч за срок службы.

5.4.7. Допустимые токи кабелей, проложенных в земле в трубах длиной более 10 м, должны быть уменьшены путем умножения соответствующих значений токов, указанных в инструкциях производителя, на коэффициент 0,94, если одножильные кабели проложены в отдельных трубах, и на коэффициент 0,9, если три одножильных кабеля проложены в одной трубе.

5.4.8. Расположение кабелей, в кабельных сооружениях может осуществляться треугольником вплотную или в плоскости с расстояниями между кабелями, равными диаметру кабеля. Поправочные коэффициенты, уточняющие изменение токов для кабелей в зависимости от количества линий и их расположения в кабельных сооружениях и на стенах, приведены Приложении Д (табл. № Д.1).

5.4.9. Допустимый нагрев жил и металлических экранов кабелей в эксплуатации не должен превышать следующих значений:

допустимый нагрев жилы в нормальном режиме нагрузки	90 °С
допустимый нагрев жилы в режиме перегрузки при продолжительности перегрузки не более 8 ч в сутки и не более 1000 ч за срок службы	130 °С
предельная допустимая температура жил кабеля при коротком замыкании	250 °С
предельная допустимая температура жил кабеля при коротком замыкании по условию невозгораемости, при протекании тока КЗ не более 4 с	400 °С
предельно допустимая температура медного экрана при КЗ	350 °С

Сечение кабеля выбирается для участка с худшими условиями охлаждения.

5.4.10. Допустимые токи нескольких кабелей проложенных в земле, включая проложенные в трубах, должны быть уменьшены путем умножения соответствующих значений токов, указанных в инструкциях производителя на коэффициенты приведенные в табл. № 4а и табл. № 4б.

Табл. № 4а Поправочные коэффициенты для пересчета допустимых токов нескольких кабелей 6-35 кВ

Расстояние между кабелями в свету, мм	Поправочные коэффициенты при количестве кабельных линий, шт				
	2	3	4	5	6
100	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Табл. № 46 Поправочные коэффициенты для пересчета допустимых токов нескольких кабелей 110 кВ, проложенных в земле

Расстояние между кабелями в свету, мм	Поправочные коэффициенты при количестве кабельных линий, шт				
	2	3	4	5	6
100	0,87	0,79	0,74	0,70	0,67
300	0,90	0,83	0,79	0,75	0,73
500	0,92	0,85	0,82	0,79	0,77
700	0,93	0,87	0,84	0,82	0,80
900	0,94	0,89	0,86	0,84	0,83
1200	0,95	0,91	0,89	0,87	0,86
1500	0,96	0,92	0,91	0,89	0,89
1800	0,96	0,93	0,92	0,91	0,91
2000	0,97	0,94	0,93	0,92	0,92
3000	0,98	0,96	0,96	0,95	0,95
4000	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97
5000	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98

5.4.11. Поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов в зависимости от глубины прокладки кабелей приведены в табл. №5а и табл. №5б

Табл. № 5а Поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов в зависимости от глубины прокладки кабелей 110 кВ

Глубина прокладки, м	Поправочный коэффициент
1,0	1,04
1,2	1,02
1,4	1,01
1,5	1,00
1,6	0,99
1,8	0,98
2,0	0,97
2,5	0,93
3,0	0,88
4,0	0,8
5,0	0,73

Табл. № 5б Поправочные коэффициенты для пересчета длительно допустимых токов в зависимости от глубины прокладки кабелей 6-35 кВ

Глубина прокладки, м	Одножильные кабели с номинальным сечением жилы, мм ²		Трехжильные кабели
	≤ 185 мм ²	> 185 мм ²	
0,50	1,04	1,06	1,04
0,60	1,02	1,04	1,03
0,80	1,00	1,00	1,00
1,00	0,98	0,97	0,98
1,25	0,96	0,95	0,96
1,50	0,95	0,93	0,95
1,75	0,94	0,91	0,94
2,00	0,93	0,90	0,93
2,50	0,91	0,88	0,91
3,00	0,90	0,86	0,90

5.4.12. Расчетные значения удельных тепловых сопротивлений грунтов и поправочные коэффициенты к длительно допустимым токам для кабелей в зависимости от удельного теплового сопротивления грунта приведены в табл. № 6 а и табл. №6 б соответственно.

Табл. № 6а Расчетные значения удельных тепловых сопротивлений грунтов

Характер токовой нагрузки	Коэффициент предварительной нагрузки для кабелей	Количество кабелей в траншее	Удельное тепловое сопротивление, °С·см/Вт	
			для нормальных грунтов	для гидрозащитных и дренирующих грунтов
1	2	3	4	5
Длительная и стабильная нагрузка в течение года	0,8 и более	3 и более	150	250
		1 или 2	120	200
	менее 0,8	3 и более	120	200
		1 или 2	80	120
Нагрузка с максимумом в летний период	0,8 и более	3 и более	120	200
		1 или 2	100	150
	менее 0,8	3 и более	100	150
		1 или 2	80	120
Нагрузка с максимумом в зимний период	0,8 и более	3 и более	100	150
		1 или 2	80	120
	менее 0,8	3 и более	80	120
		1 или 2	80	120

Примечания к табл. №6а:

1. К нормальным грунтам относятся пески с зернами 0,05 - 2,0 мм и различные смеси глины с песком; к гидрозащитным - грунты из глины и мела с зернами менее 0,05 мм; к дренирующим - грунты, состоящие из гравия с зернами более 2 мм.
2. Размер зерен в пробе грунта, взятой непосредственно с кабельной трассы, определяется просеиванием через сито.

Табл. № 6б Поправочные коэффициенты к длительно допустимым токам в зависимости от теплового сопротивления грунта

Удельное тепловое сопротивление грунта, °С·см/Вт	Поправочный коэффициент
250	0,80
200	0,85
150	0,93
120	1,00
100	1,05
80	1,13

5.4.13. Проверка кабелей на нагрев токами КЗ должна производиться для:

- одиночных кабелей одной строительной длины, исходя из КЗ в начале кабеля;
- одиночных кабелей со ступенчатыми сечениями по длине, исходя из КЗ в начале каждого участка нового сечения;
- пучка из двух и более параллельно включенных кабелей, исходя из КЗ непосредственно за пучком (по сквозному току КЗ).

5.4.14. Допустимые токи односекундного короткого замыкания приведены в табл. № 7

Табл. № 7 Допустимые токи односекундного короткого замыкания

Номинальное сечение жилы, мм ²	Допустимый ток односекундного короткого замыкания кабеля, кА	
	медная жила	алюминиевая жила
10	1,36	0,87
16	2,16	1,40
25	3,46	2,24
35	5,0	3,3
50	7,15	4,7
70	10,0	6,6
95	13,6	8,9
120	17,2	11,3
120	17,2	11,3
150	21,5	14,2
185	25,5	17,5
240	34,3	22,7
300	42,9	28,2
400	57,2	37,6
500	71,5	47,0
630	90,1	59,2
800	114,4	75,2

Токи короткого замыкания рассчитаны при температуре жилы до начала короткого замыкания 90°C и предельной температуре жилы при коротком замыкании 250°C.

5.4.15. Допустимые токи односекундного короткого замыкания в медных экранах приведены в табл. № 8

Табл. № 8 Допустимые токи односекундного короткого замыкания в медных экранах

Номинальное сечение медного экрана, мм ²	Допустимый ток односекундного короткого замыкания, кА
16	3,3
25	5,1
35	7,1
50	10,2
70	14,2
95	19,3
120	24,4

5.4.16. Для других значений сечения медного экрана допустимый ток односекундного короткого замыкания рассчитывают по формуле:

$$I_{кз} = 0,203 \cdot S_{экр}, \quad (1)$$

где

$I_{кз}$ - допустимый ток односекундного короткого замыкания в медном экране, кА;

$S_{экр}$ - номинальное сечение медного экрана, мм².

Для продолжительности короткого замыкания, отличающейся от 1 с, значения тока короткого замыкания, указанные в табл. № 7 и 8, необходимо умножить на поправочный коэффициент K , рассчитанный по формуле:

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

где t — продолжительность короткого замыкания, с.

5.4.17. При определении пропускной способности кабелей при прокладке их в одной плоскости следует учитывать неравномерность распределения токов по отдельным кабелям.

5.4.18. При неравномерности распределения токов более 10%, когда отдельные кабели лимитируют пропускную способность группы кабелей, должны быть приняты меры по выравниванию токов по фазам одним из следующих способов:

- перекладка кабелей;
- пересоединение (перезаводка) концов кабелей.

5.4.19. Расчетные длительно допустимые значения токов и допустимые значения перегрузок должны быть записаны в паспорте кабельной линии.

5.4.20. Измерение температуры окружающего воздуха в кабельных сооружениях и в производственных помещениях, температуры грунта в местах пересечения кабелей с теплопроводами производится в сроки, устанавливаемые местными инструкциями.

5.4.21. Если в результате измерений и проверок будет обнаружено превышение допустимых токов или температур, то рекомендуется:

- улучшить вентиляцию в туннелях и каналах;
- заменить траншейные прокладки с большим количеством кабелей прокладками в туннелях и каналах хотя бы простейших типов (с технико-экономическим обоснованием);
- применить вставки кабелей большего сечения, применить дополнительную теплоизоляцию теплопроводов в местах пресечений их с кабелями;
- увеличить расстояния между кабелями в траншеях для уменьшения взаимного теплового влияния;
- засыпать траншеи более теплопроводящим грунтом.

5.5 Выбор сечения экрана и способа его заземления

5.5.1. Высокий уровень напряжения токопроводящей жилы кабеля приводит к необходимости использования металлического экрана для выравнивания поля в кабеле и исключения проникновения поля за его внешнюю оболочку.

5.5.2. Выбор и обоснование сечения и способа заземления экранов однофазных силовых кабелей с изоляцией СПЭ на напряжение 6 кВ и выше, расчеты токов и потерь мощности в экранах, напряжений на разземленных оболочках, выбор количества и мест расстановки транспозиций экранов (для кабелей 110 кВ и выше) с примерами представлены в [Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ / М.В. Дмитриев. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. – 154 с.]

5.5.3. Сечение экрана должно соответствовать токам короткого замыкания I_K и длительности t_K их протекания. При выборе сечения экрана $F_{\text{э}}$ следует использовать зависимости сечения $F_{\text{э}}$ от величины односекундного тока короткого замыкания I_{K1} , приведенные в каталогах производителя кабеля и табл. № 8. При отсутствии таких зависимостей допустимо пользоваться выражением (3).

$$F_{\text{э}} \geq \frac{I_K}{A_{\text{э}}} \cdot \sqrt{t_K}, \quad (3)$$

где I_K – ток короткого замыкания; $A_{\text{э}}$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции кабеля и используемых материалов и рассчитываемый в общем случае как отношение тока односекундного к.з. для конкретного сечения экрана к этому сечению экрана:

$$A_{\text{э}} = I_{K1} / F_{\text{э}}. \quad (4)$$

Типовое значение $A_{\text{э}}$ составляет 0,18-0,21 кА/мм² и тем выше, чем меньше сечения жилы и экрана.

5.5.4. Если время работы релейной защиты на отключение к.з. превышает $t_K = 1$ с, то сечение F_{Σ} должно соответствовать току $I_K = I_{K1} / \sqrt{t_K}$. В качестве I_K используют ток по табл. №9.

Табл. № 9 – Основные расчетные случаи для выбора сечения экрана кабеля

Класс напряжения сети	Способ заземления нейтрали	Ток I_K , который используется для выбора сечения экрана по (3)
1	2	3
6-35 кВ	Изолированная, компенсированная	$0.87 \cdot I_{K(3)}$
	Высокоомный резистор	$0.87 \cdot I_{K(3)}$
	Низкоомный резистор (отключение замыкания на землю)	$I_R = \frac{(U_{НОМ} / \sqrt{3})}{R_N}$ или $D_I \cdot I_{K(3)}$
110 кВ	Эффективно заземленная, глухо-заземленная	$I_{K(1)}$

В таблице использованы следующие обозначения:

$I_{K(1)}$ – ток однофазного короткого замыкания сети,

$I_{K(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания сети,

$U_{НОМ}$ – номинальное напряжение сети,

R_N – сопротивление резистора в нейтрали сети,

D_I – доля тока в экране.

5.5.5. При выборе сечения экрана и при выборе способа заземления экранов (расчета напряжения на экране относительно земли) используются разные значения токов короткого замыкания, что показано ниже.

5.5.6. При выборе сечения экрана используется суммарный ток короткого замыкания сети. Если этот ток короткого замыкания при повреждении изоляции вблизи от начала кабеля отличается от тока при повреждении изоляции вблизи от конца кабеля, то используют наибольшее из двух значений тока. В частности, для радиальной сети (нагрузка получает питание от шин через кабель) в расчеты закладывается суммарный ток короткого замыкания при повреждении на шинах, так как он больше тока короткого замыкания при повреждении на нагрузке.

5.5.7. При выборе способа заземления экранов в расчеты наведенного на экране напряжения закладывается не суммарный ток короткого замыкания сети, а лишь та его часть, которая проходит по жиле (жилам) рассматриваемого кабеля и подпитывает место повреждения изоляции сети,

находящееся вне кабеля. В частности, для радиальной сети (нагрузка получает питание от шин через кабель) в расчеты напряжения закладывается ток короткого замыкания при повреждении на нагрузке, так как только такое повреждение приводит к протеканию в жилах кабеля токов КЗ.

5.5.8. В первом приближении номинальное сечение экрана выбирается исходя из длительности и величины допустимого тока короткого замыкания. Возможно изготовление экранов сечением 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120 мм² – для кабелей на напряжение до 35 кВ включительно и от 50 до 120 мм² – для кабелей на напряжение 110 кВ.

5.5.9. Для базового расчета и выбора сечения экрана одножильного кабеля, независимо от класса напряжения, рекомендуется принимать значения согласно табл. № 10, в зависимости от номинального сечения токопроводящей жилы.

Табл. № 10 – Рекомендуемые для предварительных расчетов сечения экранов кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-110 кВ

Номинальное сечение жилы, мм ²	Номинальное сечение экрана, мм ²
50	25
70	25
95	25
120	35
150	35
185	35
240	50
300	50
400	50
500	70
630	70
800	70

5.5.10. Сечение экрана кабеля уточняется при расчете токов к.з., токов, протекающих в экране и потерь в нем в симметричных режимах работы КЛ (нормальный режим и трехфазное к.з.) с учетом способа заземления экрана и в итоге определяется либо равным указанному в табл. №10 либо значению, отличающемуся от него на одну ступень (реже две ступени).

5.5.11. Применение кабелей 6-110 кВ с сечением экрана менее 25 мм² и более 70 мм² требует технико-экономического обоснования с учетом способа прокладки КЛ, способа заземления экрана кабеля и соответствующих термической стойкости экрана и технологических потерь энергии в нем в нормальном режиме эксплуатации КЛ.

5.5.12. Основным назначением металлического экрана является устранение электрического поля на поверхности кабеля. Для снижения напряжения на экране выполняется его заземление в одной или нескольких точках.

5.5.13. Наибольшее напряжение на экране при его одностороннем разземлении следует ожидать на разземленном «конце», однако в нормальном режиме эксплуатации оно не опасно для изоляции экрана.

5.5.14. В случае если экран кабеля заземлен и в «начале», и в «конце», наибольшие напряжения на экране будут в его средней части, но они также не опасны.

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

5.5.16. 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.

5.5.17. Способ заземления экрана кабеля влияет:

- на величину тока в экране в нормальных и аварийных режимах и при неправильном заземлении экрана может привести к повреждению кабеля;
- на величину напряжения на экране в нормальных и аварийных режимах, т.е. на надежность работы кабеля и безопасность его обслуживания;
- на электрические потери в кабеле (в экране), а значит, на его тепловой режим и пропускную способность;
- на основные электрические параметры кабеля (активное и индуктивное сопротивления).

5.5.18. Экраны кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена выполнены из хорошо проводящего материала (алюминия или меди), их заземление более чем в одной точке ведет к появлению значительных токов, сопоставимых с током жилы кабеля. Если по условиям ограничения напряжения на экране обязательно его заземление в нескольких точках, то для снижения токов в экранах трехфазной группы однофазных кабелей может быть применена транспозиция экранов. Физически этот метод применяется только для КЛ 110 кВ и выше.

5.5.19. Выбор числа циклов транспозиций производится исходя из обеспечения условия

$$\frac{U_3}{N} \leq U^{\text{дон}}_3, \quad (5)$$

где $U^{\text{дон}}_3$ – допустимое напряжение промышленной частоты для изоляции экрана,

U_3 – напряжение на экране относительно земли,

N – число полных циклов транспозиции экранов.

5.5.20. Узлы транспозиции следует размещать в местах соединения строительных длин кабеля.

5.5.21. Одностороннее разземление экранов однофазных кабелей или транспозиция экранов не являются основанием для снижения сечения экранов, выбранных по условию термической стойкости при к.з. согласно формуле (3) и табл. № 9.

5.5.22. Напряжения (табл. № 11) и токи (табл. № 12) в экранах кабеля определены в двух расчетных случаях: в нормальном симметричном установившемся режиме работы (табл. № 11а) и в аварийном квазиустановившемся режиме однофазного короткого замыкания в сети вне кабеля (табл. № 11б).

5.5.23. С помощью табл. № 11а вычисляется напряжение на экране кабеля относительно земли:

- а) коэффициент в строке 1 надо умножить на фазное значение напряжения сети, питающей кабель ($U_{ж}$);
- б) коэффициенты в строках 2–4 надо умножить на длину кабеля и ток, протекающий в его жиле (в нормальном режиме – это ток нагрузки, а в аварийном режиме – ток однофазного короткого замыкания сети).

Табл. № 11а – Напряжение, наводимое на экран кабеля относительно земли в нормальном режиме работы

№	Состояние экрана	Нормальный режим работы	
		коэффициент	сомножитель
1	Разземлен	$\frac{C_{жэ}^*}{C_{жэ}^* + C_э^*}$	$U_{ж}$
2	Заземлен с одной стороны	$\dot{Z}_{жэ}^* - \dot{Z}_к^*$	$I_{жс} \cdot l$
3	Заземлен с двух сторон	≈ 0	
4	Применена транспозиция экранов (N полных циклов)	$\frac{1}{3N}(\dot{Z}_{жэ}^* - \dot{Z}_к^*)$	

Табл. № 11б – Напряжение, наводимое на экран кабеля относительно земли в аварийном режиме однофазного короткого замыкания вне кабеля

№	Состояние экрана	Нормальный режим работы	
		коэффициент	сомножитель
1	Разземлен	$\frac{C_{жэ}^*}{C_{жэ}^* + C_{э}^*}$	$U_{жс}$
2	Заземлен с одной стороны	$\dot{Z}_{жэ}^*$	$I_{жс} \cdot l$
3	Заземлен с двух сторон	≈ 0	
4	Применена транспозиция экранов (N полных циклов)	$\frac{2}{9N}(\dot{Z}_{жэ}^* - \dot{Z}_к^*)$	

Табл. № 12 – Токи в экранах фаз кабеля

№	Состояние экрана	Нормальный режим работы	Режим однофазного короткого замыкания вне кабеля
1	Разземлен	≈ 0	
2	Заземлен с одной стороны	$\dot{I}_{эА} = j\omega(C_{жэ}^* \cdot l) \cdot \dot{U}_{жА}; \quad \dot{I}_{эВ} = j\omega(C_{жэ}^* \cdot l) \cdot \dot{U}_{жВ};$ $\dot{I}_{эС} = j\omega(C_{жэ}^* \cdot l) \cdot \dot{U}_{жС}$	
3	Заземлен с двух сторон	$\dot{I}_{эА} = -\frac{\dot{Z}_{жэ}^* - \dot{Z}_к^*}{\dot{Z}_э^* - \dot{Z}_к^*} \dot{I}_{жА}$ $\dot{I}_{эВ} = -\frac{\dot{Z}_{жэ}^* - \dot{Z}_к^*}{\dot{Z}_э^* - \dot{Z}_к^*} \dot{I}_{жВ}$ $\dot{I}_{эС} = -\frac{\dot{Z}_{жэ}^* - \dot{Z}_к^*}{\dot{Z}_э^* - \dot{Z}_к^*} \dot{I}_{жС}$	$\dot{I}_{эА} = -\frac{\dot{Z}_{жэ}^* - \dot{Z}_к^* \cdot \frac{\dot{Z}_{жэ}^* + 2\dot{Z}_к^*}{\dot{Z}_э^* + 2\dot{Z}_к^*}}{\dot{Z}_э^* - \dot{Z}_к^*} \dot{I}_{жА}$ $\dot{I}_{эВ} = -\frac{\dot{Z}_к^* \cdot (\dot{Z}_э^* - \dot{Z}_{жэ}^*)}{(\dot{Z}_э^* - \dot{Z}_к^*)(\dot{Z}_э^* + 2\dot{Z}_к^*)} \dot{I}_{жА}$ $\dot{I}_{эС} = -\frac{\dot{Z}_к^* \cdot (\dot{Z}_э^* - \dot{Z}_{жэ}^*)}{(\dot{Z}_э^* - \dot{Z}_к^*)(\dot{Z}_э^* + 2\dot{Z}_к^*)} \dot{I}_{жА}$
4	Применена транспозиция экранов (N полных циклов)	$I_{эА} = \dot{I}_{эА} =$ $= \omega \cdot \frac{C_{жэ}^* l}{2N\sqrt{3}} U_{жА}$	$\dot{I}_{эА} = \dot{I}_{эВ} = \dot{I}_{эС} = -\frac{\dot{Z}_{жэ}^* + 2\dot{Z}_к^*}{\dot{Z}_э^* + 2\dot{Z}_к^*} \frac{\dot{I}_{жА}}{3}$

В таблицах 11а, 11б, 12 использованы следующие обозначения:

$C_{жэ}^*$ – емкость между жилой и экраном,

$C_{э}^*$ – емкость между экраном и землей,

$U_{ЖА}, U_{ЖВ}, U_{ЖС}$ – напряжение жилы кабеля соответствующей фазы,
 $\dot{Z}_{жэ}^*$ – взаимное сопротивление между жилой и экраном одного и того же кабеля,
 $\dot{Z}_к^*$ – взаимное сопротивление жилы (экрана) и соседнего кабеля,
 $\dot{I}_{ЖА}, \dot{I}_{ЖВ}, \dot{I}_{ЖС}$ – ток в жиле кабеля в соответствующей фазе,
 l – длина кабеля,
 $\dot{I}_{ЭА}, \dot{I}_{ЭВ}, \dot{I}_{ЭС}$ – ток в экране кабеля в соответствующей фазе,
 $\dot{Z}_э^*$ – собственное сопротивление экрана.

5.5.24. В сетях с изолированной и компенсированной нейтралью 6-35 кВ однофазное повреждение изоляции сопровождается протеканием в кабеле токов, значительно меньших токов трехфазного короткого замыкания. Поэтому в сетях 6-35 кВ расчетным случаем, определяющим обустройство экранов, является режим трехфазного короткого замыкания.

5.5.25. Для кабелей 110 кВ в сетях с эффективно или глухозаземленной нейтралью расчетным случаем, определяющим обустройство экранов, является режим однофазного короткого замыкания.

5.5.26. В сетях 6-110 кВ в случае заземления экранов по концам кабеля в нормальном режиме в экранах протекают значительные токи, которые могут составлять десятки процентов от рабочих токов в жилах кабеля. Это представляет серьезную опасность с точки зрения термической стойкости экранов и сохранения теплового режима работы КЛ.

5.5.27. Наиболее простым и предпочтительным методом снижения токов в заземленных по концам экранах трехфазной группы однофазных кабелей является применение минимальных сечений экранов, обеспечивающих их термическую стойкость при к.з. при рекомендуемом варианте прокладки треугольником:

- а) прокладка трех однофазных кабелей сомкнутым треугольником вплотную друг к другу;
- б) применение трехфазных кабелей.

5.5.28. Эффективными способами снижения токов в экранах являются:

- а) заземление экранов только в одном из концов кабеля (рис. № 1);
- б) деление экрана на несоединенные друг с другом секции, в каждой из которых экран заземлен только один раз (рис. №2).
- в) деление экрана на секции и соединение секций через транспозиционные коробки (рис. № 3, 4).

5.5.29. При соответствующем техническом обосновании недопустимости двухстороннего заземления экранов однофазных кабелей в составе КЛ, выполненном на этапе проектирования, рекомендуемым для сетей 6-35 кВ является способ частичного разземления экранов без транспозиции.

При этом для случая, проиллюстрированного на рис. № 1 и рис. № 2 а, следует обеспечить недопустимость прикосновения к разземленным концам экрана персонала, обслуживающего электроустановку; а для случая на рис. № 2 а, б – возможность использования специальных соединительных муфт и электромонтажных коробок без соединения экранов или их частичной транспозиции при стыковке строительных длин кабеля.

5.5.30. При соответствующем обосновании выполнение одностороннего разземления экранов кабелей 6-35 кВ следует осуществлять со стороны потребительской сети, а не со стороны питающей подстанции. Это связано с обеспечением корректной работой релейной защиты от замыканий на землю на присоединениях с КЛ, экраны кабелей в составе которых разземлены с одной стороны.

5.5.31. При соответствующем техническом обосновании недопустимости двухстороннего заземления экранов однофазных кабелей в составе КЛ, выполненном на этапе проектирования, рекомендуемым для сетей 110 кВ является транспозиция экранов кабелей с включением в узлах транспозиции ОПН для защиты оболочки кабеля (рис. №4).

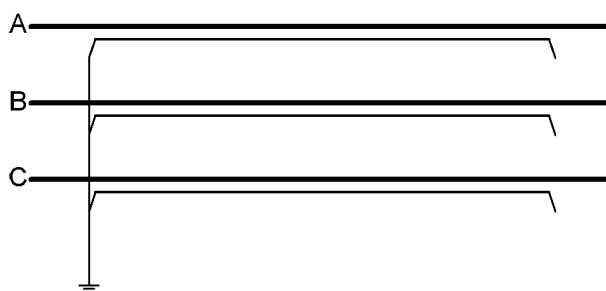


Рис. № 1 – Заземление экранов группы из трех однофазных кабелей с одной стороны (для кабелей класса напряжения не более 10 кВ)

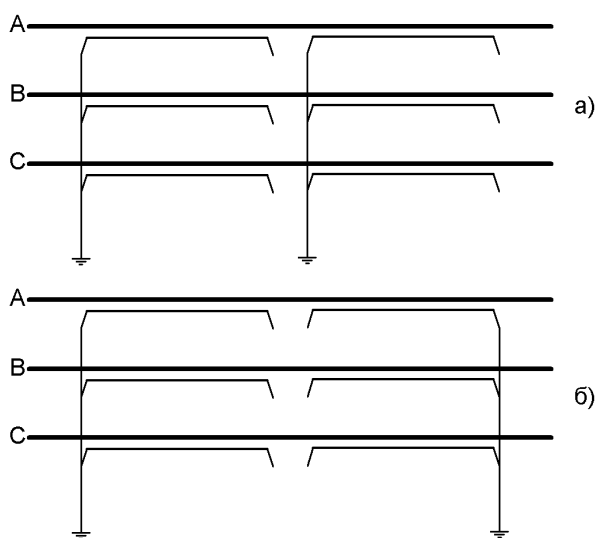


Рис. № 2 – Схема соединения экранов группы из трех однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в случае, когда экран разделен на секции, заземленный один раз (для кабелей класса напряжения не более 10 кВ)

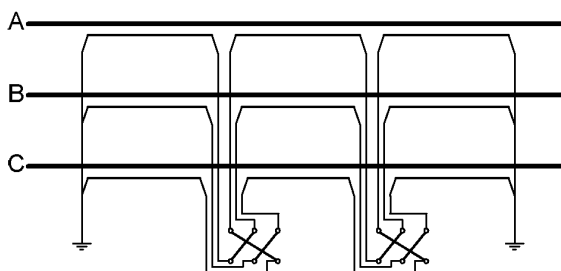


Рис. № 3 – Схема соединения экранов группы из трех однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в случае, когда экран разделен на секции, соединенные через узлы транспозиции (для кабелей 10 кВ и для кабелей 35 кВ при обосновании отказа от ОПН)

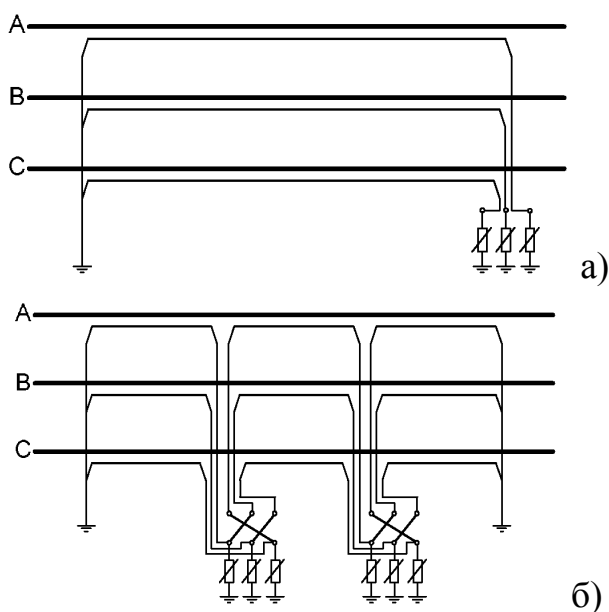


Рис. № 4 – Схема соединения экранов группы из трех однофазных кабелей 35-110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена в случае одностороннего разземления со стороны потребителя и установкой ОПН (а), и при разделении экрана на секции, соединенные через узлы транспозиции с установкой в этих узлах ОПН (б)

5.5.32. 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.

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

5.5.34. Пример расчета токов и напряжений в экранах одножильных силовых кабелей при разных способах заземления экранов представлен в Приложении М.

5.5.35. Транспонирование или частичное заземление экрана кабеля не влияют на внутренние 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.

5.5.36. Особенности различных вариантов заземления экранов кабелей 110 кВ:

- а) Металлические экраны заземлены на обоих концах линии. Применяется при длине линии не более 200 м, при этом сечение кабеля не должно превышать 630 мм^2 . Отличается простотой установки. Однако при таком способе заземления экрана наблюдается снижение пропускной способности.
- б) Металлический экран заземлен с одной стороны, а с другой стороны подключен к ОПН. Как правило, применяется при длине линии от 200 м до 1-2 километров. Отличается оптимальным использованием пропускной способности линии. Недостатками является наличие потенциала на экране вдоль всей линии и использование в конструкции заземления ОПН;
- в) Транспозиция экранов, металлические экраны заземляются непосредственно на обоих концах линии. Обязательно применяется при длине линии более 2 километров. Транспозиция экранов позволяет снизить общее индуцированное напряжение, наводимое в экране каждой фазы. Транспозиция осуществляется с помощью специального соединения металлических экранов с ОПН. Применяется при линиях большой длины, при этом сечения кабеля могут превышать 630 мм^2 , в связи с чем возможно обеспечить большую пропускную способность. При таком способе заземления экрана наблюдается подавление индуцированных токов в экранах. Недостатками является необходимость обслуживания линии и высокая стоимость установки заземления.

5.5.37. Любой вариант обустройства экранов однофазных кабелей должен быть обоснован расчетным путем (например, с помощью программы ЭКРАН), с выбором способа заземления экранов и, при необходимости, с оценкой числа узлов транспозиции и типов ОПН.

6 Прокладка и монтаж кабельных линий

6.1 Приемка и входной контроль кабельной продукции

6.1.1. Входной контроль кабельной продукции осуществляется в соответствии с ГОСТ 24297-87. Цель приемки – не допустить поступление в эксплуатацию кабельной продукции несоответствующего качества.

6.1.2. Входной контроль осуществляется вне зависимости от варианта поступления продукции (по договорам поставки, по договорам оказания услуг, по договорам купли-продажи/ приемки в собственность).

6.1.3. Входной контроль осуществляется на этапе приёмки кабельной продукции – а также перед монтажом, если разница во времени между этими процедурами составляет более 6 мес. До начала прокладки необходимо провести входной контроль на соответствие технологических (конструктивных) параметров кабеля и кабельной арматуры проектной документации и ТУ, используемыми заводом-изготовителем.

6.1.4. Перед вводом КЛ в эксплуатацию производится полный комплекс приемо-сдаточных испытаний, включающий диагностическое обследование смонтированной линии с оформлением соответствующих документов (например, диагностического паспорта КЛ).

6.1.5. Входной контроль на этапе приёмки может быть сплошным или выборочным в зависимости от важности и объёма кабельной продукции. Входной контроль проводит постоянно действующая комиссия, утверждённая распоряжением главного инженера филиала.

6.1.6. При входном контроле проводится:

- а) контроль соответствия количества, качества и комплектности кабельной продукции;
- б) проверка наличия соответствующей сопроводительной документации;
- в) визуальный осмотр кабеля на барабанах и кабельной арматуры в заводских упаковках;
- г) испытания в соответствии с требованиями настоящего стандарта, инструкциями и ТУ завода-изготовителя оборудования.

6.1.7. При визуальном осмотре кабеля на барабанах необходимо удостовериться, что оба конца кабеля на барабане герметично заделаны. Далее проверяется отсутствие механических повреждений внешней полимерной оболочки и изоляции кабеля – проколов, глубоких царапин, порезов, сквозных отверстий и т.д. Указанные повреждения недопустимы, при их обнаружении в значительном количестве барабан с кабелем бракуется и предъявляется рекламация транспортной компании, проводившей доставку кабеля, либо заводу-изготовителю.

6.1.8. При осмотре кабеля на барабане (либо образцов кабеля перед испытанием):

- а) оценивается качество изготовления оболочки: она не должна продавливаться при слабом механическом воздействии; твердость полиэтилена, используе-

мого в кабелях с усиленной оболочкой (в частности, марок ПвПу и АПвПу), должна быть не менее 55 ед. по Шору.

б) проверяются основные геометрические параметры кабеля – диаметр жил, толщина основной изоляции и оболочки. Токопроводящая жила должна быть круглой формы (без отклонения эксцентриситета), толщины изоляции и оболочки должны быть одинаковы по длине и поперечному сечению кабеля.

6.1.9. Номинальные геометрические параметры кабеля должны строго соответствовать ТУ 16. К71-335-2004 и заявленным заводом-изготовителем паспортным значениям, с допустимым отклонением.

6.1.10. Допускается проверка сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции для кабеля на барабане. Сопротивление изоляции нового кабеля должно быть не менее 100 ГОм, коэффициент абсорбции как отношение сопротивления изоляции, измеренного через 60 с и 15 с, должен быть не ниже 1,6.

6.1.11. Рекомендуется проверка целостности жил кабеля на барабане и отсутствия крупных дефектов основной изоляции с помощью рефлектометра. Критерием оценки является отсутствие искажений сигнала и его переотражений по всей заявленной длине кабеля на барабане.

6.1.12. Испытания на соответствие НТД проводятся на 10-метровых образцах кабелей выборочно либо с каждого барабана. Для разделки кабеля необходимо наличие специального кабельного инструмента согласно разделу 6.2 настоящего Стандарта.

6.1.13. На основании результатов испытаний констатируется нормальное состояние конкретной партии кабельной продукции либо партия бракуется. Рекомендуемый объем испытаний образцов кабелей включает следующие пункты:

а) определение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции (если не были определены для кабеля на барабане, критерии оценки приведены выше в п. 5.1.9);

б) испытание повышенным напряжением $U_{ном}$ частоты 50 Гц в течение 15 мин или напряжением $3U_0 = \sqrt{3}U_{ном}$ частоты 0,1 Гц в течение 30 мин. Критерий оценки: отсутствие пробоя образца;

в) определение уровня ЧР. Критерий оценки: измеренный кажущийся заряд ЧР не должен превышать 150-200 пКл (в условиях отсутствия помех) и 1200 пКл (в условиях сложной ЭМО на объекте);

г) измерение $tg\delta$. Критерий оценки: измеренное значение $tg\delta$ не должен превышать максимально допустимого значения, заявленного заводом-изготовителем, а при отсутствии таких данных – значения $8 \cdot 10^{-4}$;

д) измерение рабочей емкости кабеля и сравнение с заявленной заводом-изготовителем и отраженной в документации на кабель (по результатам заводских испытаний). Критерий оценки: измеренная емкость, приведенная к удельным величинам, не должна отличаться от результатов заводских

испытаний более чем на 5% для кабелей 35-110 кВ и более чем на 10% для кабелей 6-20 кВ.

6.1.14. Допускается проводить весь объем испытаний кабеля непосредственно на барабане при наличии «коренного» конца кабеля длиной 1,0- 1,5 м. При этом рекомендуемая длина разделки определяется из условия отсутствия поверхностного разряда по полупроводящему экрану кабеля при испытаниях и составляет примерно 40, 50 и 60 см для кабелей 10, 20 и 35 кВ соответственно. Свободный конец кабеля с барабана может быть вымотан любой необходимой длины.

6.1.15. Независимо от результатов входного контроля концы кабеля на барабане после проведения измерений и испытаний необходимо вновь загерметизировать специальными капами, если не принято решение о начале немедленной прокладки кабеля и по технологии производства работ его концы должны быть открыты.

6.1.16. Фактический объем испытаний и измерений при входном контроле кабеля может отличаться от рекомендуемого в зависимости от технической оснащенности служб ЭТЛ филиала, где этот контроль производится. Минимальный объем входного контроля силовых кабелей с изоляцией СПЭ 6-110 кВ определяется на основании настоящего Стандарта в зависимости от местных производственных условий и закрепляется Приказом технического руководителя предприятия.

6.1.17. По результатам выборочного или полного входного контроля каждой партии кабеля составляется «Протокол о пригодности кабеля к прокладке», при положительных результатах контроля действительный в течение 3-6 месяцев или более. Срок действия Протокола определяется техническим руководителем предприятия по согласованию с заводом-изготовителем кабеля.

6.1.18. В случае выявления несоответствий, поставки некачественной и некомплектной кабельной продукции возможна организация следующей процедуры:

- а) оформляется акт, который служит основанием для предъявления претензии и исков к поставщику продукции и/или транспортной организации;
- б) принимается решение о необходимости замены продукции или возможности устранения несоответствий собственными силами.
- в) Информация о принятом решении поступает в Департамент логистики и МТО, в случае принятия решения о замене продукции, организацию дальнейших действий осуществляет Департамент логистики и МТО совместно с Департаментом правового обеспечения.

6.1.19. По фактам неоднократной поставки некачественной кабельной продукции ОАО «Ленэнерго» вправе отказаться от дальнейших поставок продукции данного производителя.

6.1.20. Если закупка продукции осуществлялась филиалом, то претензионная работа ведётся в филиале. Все случаи поставки некачественной и некомплектной продукции фиксируются филиалами в специальном журнале.

6.2 Общие требования к прокладке

6.2.1. Прокладку кабеля разрешается начинать только после окончания строительных работ и приемки кабельных сооружений, при наличии проектной документации на кабельную линию и проекта производства работ (ППР), согласованного с предприятием-изготовителем кабеля и арматуры для данной КЛ.

6.2.2. Прокладка кабеля должна выполняться специализированной монтажной организацией, имеющей лицензию, соответствующее оборудование, приспособления, инструменты, материалы и прошедших обучение квалифицированных специалистов.

6.2.3. Все операции по прокладке должны быть указаны для одной строительной длины кабеля или для трех кабелей в связке.

6.2.4. Прокладка кабелей должна выполняться с учетом требований настоящего стандарта, а также действующих нормативных документов:

- а) СНиП 3.05.06-85 «Электротехнические устройства»;
- б) «Правила устройства электроустановок».

6.2.5. В случае, если при прокладке предусмотрен шеф-надзор, решения представителя шеф-монтажной организации предприятия-изготовителя кабеля, связанные с прокладкой, являются обязательными к исполнению.

6.2.6. Тяжение кабеля во время прокладки должно осуществляться при помощи проволочного кабельного чулка (или концевого захвата), закрепляющего на оболочке кабеля, или за токопроводящую жилу при помощи клинового захвата.

6.2.7. Усилия тяжения кабеля P , возникающие при прокладке, не должны превышать величин, рассчитываемых по формуле:

$$P = \sigma \cdot S, \quad (6)$$

где P – усилие тяжения кабеля, Н (кГс);

S – площадь сечения жилы кабеля, мм²;

σ – предельно допускаемое при растяжении механическое напряжение в жиле кабеля определяется заводом изготовителем в технических условиях или равно:

- а) 30 Н/мм² (3,06 кГс/мм²) для кабеля с многопроволочной алюминиевой жилой;
- б) 50 Н/мм² (5,1 кГс/мм²) для кабеля с многопроволочной медной жилой.

6.2.8. Усилия тяжения кабеля при прокладке должны быть рассчитаны при проектировании кабельной линии и учтены при заказе строительных длин кабеля.

6.2.9. Радиус изгиба кабеля при прокладке должен быть не менее 15D, где D – наружный диаметр кабеля. При монтаже с использованием

специального шаблона и при необходимости предварительного подогрева допускается минимальный радиус изгиба кабеля 7,5D.

6.2.10. Количество изгибов кабеля под углом 90° на трассах прокладки не должно быть более 8 на строительную длину кабеля.

6.2.11. 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 (лотков) запрещается.

6.2.12. Кабельные металлические конструкции должны быть заземлены в соответствии со СНиП 3.05.06-85 и ПУЭ.

6.2.13. Кабели с оболочкой из полиэтилена могут быть проложены без предварительного подогрева при температуре окружающей среды не ниже минус 20°C, кабели с оболочкой из ПВХ пластика - не ниже минус 15°C. При более низкой температуре (до минус 40°C) прокладка должна осуществляться только после прогрева кабеля. При температуре ниже минус 40°C прокладка кабелей не разрешается.

6.2.14. Обеспечить защиту силовых кабелей, проложенных открыто по эстакадам и другим опорным конструкциям, от солнечной радиации с помощью специальных козырьков или иных конструкций согласно требованиям п. 2.3.19 ПУЭ («Открытая прокладка кабельных линий должна производиться учетом непосредственного действия солнечного излучения. При прокладке кабелей на географической широте более 65° защита от солнечного излучения не требуется»).

6.2.15. Независимо от класса напряжения и способа прокладки запрещается прокладка силовых и контрольных кабелей в непосредственной близости на одних и тех же опорных конструкциях.

6.2.16. При необходимости совместной прокладки КЛ 110 кВ и технологических кабелей в кабельных сооружениях и производственных помещениях следует отделять силовые кабели 110-220 кВ друг от друга и от прочих кабелей сплошными негорючими перегородками (полимерными, асбестовыми и пр.).

6.2.17. Следует исключить совместную прокладку в кабельных сооружениях кабелей 110-220 кВ с кабелями других сетей более низкого напряжения (6 – 35 кВ) и контрольными кабелями, за исключением технологических кабелей и кабельных линий подземного сооружения.

6.2.18. Проектом на КЛ должен быть предусмотрен и обоснован один из следующих способов прокладки линии:

- а) прокладка в земле (траншеях), в том числе с использованием трубопроводов, проложенных методом горизонтального направленного бурения (ГНБ);
- б) прокладка по кабельным эстакадам;
- в) прокладка в кабельных блоках, трубах и железобетонных лотках;
- г) прокладка в кабельных сооружениях и производственных помещениях;
- д) прокладка в особых условиях (подводная; на стальных канатах; по специальным сооружениям – дамбам, плотинам, причалам и т.п.; на пересечениях с теплотрассами, трубопроводами, дорогами и пр.).

6.3 Прокладка кабелей в земле (траншеях)

6.3.1. Бестраншейная прокладка кабелей с помощью ножевых кабелеукладчиков не допускается.

6.3.2. Глубина заложения кабеля в земле (в траншее) должна быть не менее 0,7 м для кабелей на напряжение до 20 кВ включительно и не менее 1 м для кабелей на более высокое напряжение. При этом под кабелем должна быть сделана подсыпка толщиной не менее 100 мм, а сверху него – засыпка толщиной не менее 100 мм слоем песчано-гравийной смеси.

6.3.3. На всем протяжении трассы кабели в траншее должны быть защищены от повреждений: кабели на напряжение выше 35 кВ – железобетонными плитами, кабели на напряжение до 35 кВ – железобетонными плитами, кирпичами или эластомерными плитами типа ПЗК, ЛПЗС и др. При прокладке на глубине 1 – 1,2 м кабели на напряжение 20 кВ и ниже (кроме кабелей городских электросетей) допускается не защищать от механических повреждений. В этом случае над кабелями должны быть проложены пластмассовые сигнальные ленты на расстоянии 0,25 м от кабелей.

6.3.4. При прокладке в траншее нескольких кабелей места соединений могут располагаться в один ряд или со сдвигом между соседними кабелями не менее чем на 2 м.

6.3.5. При прокладке кабеля в местах соединений должен быть оставлен запас длиной, достаточной для монтажа муфты, а также для укладки дуги компенсатора (длиной на каждом конце не менее 350 мм для кабелей на напряжение до 10 кВ включительно и не менее 400 мм для кабелей на более высокое напряжение).

В стесненных условиях при большом количестве кабелей допускается располагать компенсаторы в вертикальной плоскости ниже уровня прокладки кабелей. Муфта при этом остается на уровне прокладки кабелей.

6.3.6. В местах соединения кабелей должны быть подготовлены котлованы, соосные с траншеей, шириной не менее 1,5 м для кабелей на напряжение до 10 кВ включительно и не менее 1,7 м для кабелей на более высокое напряжение (для одноцепных линий). Глубина котлована определяется глубиной залегания кабеля в траншее, длина – количеством и расположением муфт (для монтажа трех муфт вразбежку требуется не менее 5 м для кабелей на напряжение до 10 кВ и 7 м – для кабелей на более высокое

напряжение. Для многоцепных линий размеры котлованов определяются при проектировании с учетом конкретных условий.

Не рекомендуется располагать соединения кабелей над и под коммуникациями, а также над перекрытиями подземных сооружений.

6.3.7. При сооружении траншей необходимо избегать мест, содержащих вещества или мусор, разрушительно действующие на оболочку кабеля, в т.ч. насыпной грунт, содержащий шлак или строительный мусор, участки, расположенные ближе 2 м от выгребных и мусорных ям.

6.3.8. При невозможности обхода этих мест кабель должен быть проложен в трубах (асбоцементных, покрытых снаружи и внутри битумным составом, или поливинилхлоридных трубах с герметичными стыками), или траншея должна быть расширена с обеих сторон на 0,5 – 0,6 м, углублена на 0,3 – 0,4 м и засыпана чистым нейтральным грунтом.

6.3.9. Примеры прокладки кабелей в траншее приведены в Приложении Е (рис. №Е.1).

6.4 Прокладка кабелей методом горизонтально-направленного бурения

6.4.1. При прокладке инженерных коммуникаций для прокладки силовых кабелей методом горизонтального направленного бурения (ГНБ) следует руководствоваться положениями СТО НОСТРОЙ 2.27.17-2011.

6.4.2. Прокладка силовых кабелей методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ) выполняется там, где открытый или траншейный способ прокладки сети невозможен, а также в сложных геологических и гидрогеологических условиях (в частности под водными преградами).

6.4.3. Областями эффективного применения метода ГНБ является прокладка закрытым способом инженерных коммуникаций в условиях плотной городской застройки и наличия преград, а именно:

- а) под реками, озерами, каналами, болотами, оврагами, лесными и парковыми массивами;
- б) под действующими авто- и железными дорогами, трамвайными путями, ВПП аэропортов;
- в) на территории промышленных предприятий в условиях действующего производства;
- г) в охранных зонах метрополитена, высоковольтных воздушных линий электропередач, магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов;
- д) вблизи или на территории памятников истории и архитектуры.

6.4.4. К геологическим условиям, в которых применение метода ГНБ затруднено или невозможно, относятся: подземные воды с большим напором, глинистые грунты текучей консистенции, плывуны, валунные и гравийно-галечниковые грунты, грунты с включениями искусственного происхождения

(обломки железобетонных плит, отходы металлургического производства и т.п.), неустойчивые площадки (карст, оползни, подрабатываемые территории).

6.4.5. Прокладка силовых кабелей методом ГНБ должна производиться в строгом соответствии с проектом на КЛ и ППР, с использованием специальных механизированных установок ГНБ и буровых комплексов.

6.4.6. На первом этапе ГНБ осуществляется проходка пилотной скважины диаметром 80 – 150 мм по заданной траектории. Форма траектории ограничивается максимальными предельными нагрузками на изгиб для применяемых буровых штанг и физико-механическими свойствами грунта.

6.4.7. Контроль за параметрами бурения должен осуществляться с помощью локационной системы, определяющей координаты породоразрушающего инструмента и его ориентацию в пространстве.

6.4.8. На втором этапе ГНБ осуществляется однократное или последовательно-многократное расширение пилотной скважины до образования бурового канала, позволяющего протягивать трубопровод (футляр) проектного диаметра.

6.4.9. На третьем этапе ГНБ происходит протягивание коммуникационного трубопровода (защитного футляра) через буровой канал, по направлению от точки выхода бура на поверхность к буровой установке.

6.4.10. В качестве трубопроводов (защитных футляров) при прокладке высоковольтного кабеля следует по возможности применять полиэтиленовые трубы диаметром не менее $1,5D$, где D – внешний диаметр кабеля. Использование стальных труб для пофазной прокладки одножильных кабелей не допускается.

6.4.11. На третьем этапе происходит протяжка силового кабеля в полиэтиленовой трубе-футляре. Усилия тяжения и общие условия протяжки приведены в разделе 6.2.

6.5 Прокладка кабелей по кабельным эстакадам

6.5.1. Прокладка кабелей по специальным одно- и двух-секционным, проходным и непроходным кабельным эстакадам может предусматриваться, как правило, для КЛ номинальным напряжением до 35 кВ включительно.

6.5.2. Прокладка кабелей по эстакадам имеет следующие основные преимущества:

- а) длительная сохранность внешних оболочек в связи с отсутствием разрушающего воздействия грунта и грунтовых вод различной кислотности;
- б) удобство монтажа и эксплуатации (возможность непрерывного контроля качества протяжки кабеля и монтажа муфт и целостности оболочки, не требуется проводить высоковольтные испытания внешней оболочки);
- в) меньшая вероятность механических повреждений (при использовании специальных эластичных прокладок в местах протяжки и крепления).

6.5.3. Для защиты кабелей от солнечной радиации и УФ-излучения, несмотря на наличие специальных сажесодержащих добавок в материал

оболочки, при прокладке кабелей на географической широте менее 65^0 следует использовать солнцезащитные козырьки согласно требованиям п. 2.3.19 ПУЭ.

6.5.4. Вводы кабелей в электротехнические помещения производится непосредственно через проемы в стенах с помощью отрезков немагнитных труб, с уплотнением специальными прокладками.

6.5.5. Силовые кабели взаиморезервируемых электроприемников и электроприемников особой группы I по надежности электроснабжения прокладываются по разным трассам, по противоположным сторонам кабельной эстакады, по разным полкам на одной стороне эстакады. Расстояние между ними по горизонтали должно быть не менее значений 600 мм для кабелей 10 кВ.

6.5.6. При прокладке силовых кабелей по совмещенным эстакадам между трубопроводами и кабельной трассой устанавливаются специальные огнезащитные перегородки с пределом огнестойкости не менее 0,75 часа. Для проходных кабельных эстакад должны быть предусмотрены входы с лестницами каждые 150 м. Входы на кабельные эстакады должны иметь двери с замками, предотвращающие свободный доступ лицам, не связанным с обслуживанием кабельного хозяйства. При двухстороннем расположении кабелей на проходных эстакадах ширина прохода должна составлять не менее 1,0 м; при одностороннем расположении кабелей – не менее 0,9 м.

6.6 Прокладка кабелей в кабельных блоках, трубах и железобетонных лотках

6.6.1. Для защиты кабелей в местах пересечений с инженерными сооружениями и естественными препятствиями, а также для изготовления кабельных блоков должны быть применены асбоцементные, керамические или пластмассовые трубы.

6.6.2. Применение труб из магнитных материалов (стали, чугуна) для прокладки одной фазы кабеля запрещается. При пересечении кабельной линии с железными дорогами, трамвайными путями, шоссейными магистралями рекомендуется располагать асбоцементные, пластмассовые или керамические трубы, через которые прокладываются кабели, в общей металлической трубе (гильзе). Свободное пространство в этой металлической трубе заполняется бетоном.

6.6.3. Внутренний диаметр трубы для прокладки одного кабеля должен быть не менее $1,5D$, где D – наружный диаметр кабеля, но не менее 50 мм при длине труб до 5 м и 100 мм при любой длине труб.

6.6.4. Внутренний диаметр трубы для прокладки трех кабелей (укладка в треугольник) должен быть не менее $3D$, где D – наружный диаметр кабеля, но не менее 150 мм.

6.6.5. Длина и диаметр труб для прокладки кабеля определяется при проектировании кабельной линии. Длина зависит от необходимой пропускной способности кабельной линии, конструктивных особенностей трассы, наличия

изгибов трубы по трассе, диаметра и состояния внутренней поверхности трубы.

6.6.6. Трубы должны быть соединены муфтами или манжетами и, в случае необходимости, скреплены цементным раствором. Применение труб, манжет и муфт из материалов, имеющих свойства намагничивания (например, листовой стали), не допускается. Запрещается использовать для соединения труб стальные патрубки и иные устройства из магнитных материалов, охватывающие одножильные КЛ по замкнутому контуру.

6.6.7. Прокладка кабеля в строительных основаниях без труб не допускается.

6.6.8. В процессе стыковки труб и сооружения блоков в трубы (каналы блоков) рекомендуется затягивать проволоку, которая впоследствии будет использована для протягивания стального каната (троса), предназначенного для прочистки трубы (канала) и затягивания кабеля.

6.6.9. До затяжки кабеля трубу (канал блока) необходимо очистить от остатков бетонного раствора, строительного мусора, земли, песка и т.д.

6.6.10. При прочистке трассы к последнему ершу прикрепляют стальной канат, который одновременно затягивают в канал для последующей протяжки кабеля.

6.6.11. Примеры прокладки кабелей в трубах приведены в Приложении Е (рис. №Е.2).

6.7 Прокладка кабелей в кабельных сооружениях и производственных помещениях

6.7.1. К применению в кабельных сооружениях и производственных помещениях, в том числе в пожаро- и взрывоопасных зонах всех классов, разрешаются кабели напряжением 6-110 кВ с индексом «нг» и «нг-LS». Кабели должны иметь сертификат пожарной безопасности с обязательным указанием категории по нераспространению горения.

6.7.2. Прокладка кабелей общепромышленного исполнения с оболочкой из полиэтилена (кабели, не распространяющие горение при одиночной прокладке) в кабельных сооружениях и производственных помещениях не допускается. Исключение составляют случаи «комбинированной» прокладки, когда соответствующие участки КЛ, проходящие в пожаро- и взрывоопасных зонах, должны быть покрыты специальными огнезащитными составами:

а) КЛ по всей длине трассы прокладывается в траншее или открыто на воздухе с последующим вводом в кабельные сооружения или производственные помещения;

б) на протяжении трассы КЛ имеются участки, где прокладка производится в кабельных сооружениях или производственных помещениях.

6.7.3. Внутри кабельных сооружений и установок кабели взаиморезервируемых потребителей прокладываются по разным кабельным трассам, ка-

бельным полкам (на разных уровнях) с установкой разделительных огнезащитных перегородок между ними.

6.7.4. Кабели разных уровней напряжения, контрольные кабели и кабели связи также прокладываются на разных кабельных полках (на разных уровнях) с установкой разделительных огнезащитных перегородок между ними.

6.7.5. Разделительные огнезащитные перегородки должны быть несгораемыми с пределом огнестойкости не менее 0,25 часа.

6.7.6. Выполнять раскладку кабелей напряжением 110 кВ следует на расстоянии не менее 250 мм друг от друга, но не более двух фаз на полке.

6.7.7. Кабели в кабельных сооружениях рекомендуется прокладывать целыми строительными длинами, избегая, по возможности, применения в них соединительных муфт.

6.7.8. Соединительные муфты кабелей, прокладываемых в блоках, должны быть расположены в колодцах. Расположение соединительных муфт на эстакадах не рекомендуется.

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

6.7.10. Перед прокладкой в тоннеле (галерее) должны быть установлены конструкции для крепления кабелей и каркасы противопожарных перегородок. Сварка в тоннеле (галерее) после прокладки кабелей не допускается. Кирпичная кладка перегородок может быть выполнена после прокладки кабелей.

6.7.11. Расстояние между опорными конструкциями принимаются в соответствии с рабочими чертежами и требованиями ПУЭ. Конструкции, на которые укладывают кабели, должны иметь исполнение, исключающее возможность механического повреждения оболочек кабелей.

6.7.12. При установке соединительных муфт в кабельных сооружениях (помещениях), необходимы отдельные полки на опорной конструкции для каждой муфты.

6.7.13. Кабели внутри помещений и снаружи в местах, где возможны механические повреждения (передвижение автотранспорта, грузов и механизмов, доступность для неквалифицированного персонала), должны быть защищены до безопасной высоты, но не менее 2 м от уровня земли или пола и на глубине 0,3 м в земле.

6.7.14. Проходы кабелей через стены, перегородки и перекрытия в производственных помещениях и кабельных сооружениях должны быть осуществлены через отрезки неметаллических труб (асбоцементных безнапорных, пластмассовых и т.п.), отфактурованные отверстия в железобетонных конструкциях или открытые проемы.

6.7.15. Зазоры в отрезках труб, отверстиях и проемы после прокладки кабелей должны быть заделаны несгораемым материалом (например, цементом с песком по объему 1:10, глиной с песком – 1:3, глиной с цементом

и песком – 1,5:1:11, перлитом вспученным со строительным гипсом – 1:2 и т.п.) по всей толщине стены или перегородки.

6.7.16. Зазоры в проходах через стены допускается не заделывать, если стены не являются противопожарными преградами.

6.7.17. Вводы кабелей 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.

6.7.18. Должны быть предусмотрены меры, исключающие проникновение из траншей в здания, кабельные сооружения и другие помещения воды и мелких животных.

6.8 Прокладка кабелей в особых условиях

6.8.1. При особых условиях прокладки: при подводной прокладке, прокладке на стальных канатах, прокладке на пересечениях (с теплотрассами, трубопроводами, автомобильными и железными дорогами и т.д.), прокладке по специальным сооружениям (мостам, плотинам, дамбам, причалам, пирсам), должны соблюдаться специальные требования к трассе и условиям прокладки, приведенные в ПУЭ и СНиП 3.05.06-85, а также общие требования, приведенные в настоящем Стандарте.

6.8.2. При подводной прокладке, прокладке на стальных канатах и в других особых условиях, (например, в трубах и блоках большой протяженности, на эстакадах, подверженных значительным температурным деформациям, на сложных пересечениях с теплотрассами и коммуникациями), ППР должен быть обязательно согласован с предприятием-изготовителем кабеля.

6.8.3. При температуре воздуха ниже допустимой (см.5.1.14) прокладка кабелей допускается только после предварительного подогрева кабелей и при выполнении прокладки в сжатые сроки (не более 30 мин).

6.8.4. При невозможности прокладки кабеля в указанный срок в процессе прокладки должен обеспечиваться постоянный подогрев кабеля или прокладка должна производиться с перерывами, во время которых кабель дополнительно подогревают.

6.8.5. После прокладки кабель должен быть немедленно засыпан первым слоем разрыхленного грунта и песчано-гравийной смеси. Окончательно засыпать траншею грунтом и уплотнять засыпку следует после охлаждения кабеля.

6.8.6. Рекомендуется подогрев кабеля выдержкой в обогреваемом помещении или в тепляке или палатке с обогревом (с температурой до 40 °С). Продолжительность прогрева кабелей на барабане в обогреваемом помещении или тепляке:

- при температуре воздуха в помещении или тепляке от 5 до 10 °С - не менее 72 ч;
- при температуре воздуха в помещении или тепляке от 10 до 25 °С - не менее 24 ч;
- при температуре воздуха в помещении или тепляке от 25 до 40 °С - не менее 18 ч.

6.9 Крепление кабелей

6.9.1. Кабели, прокладываемые в траншее, не должны менять своего положения при засыпке грунтом. При необходимости следует выбрать шаг скрепления и скрепить их.

6.9.2. Материал крепления должен обладать хорошими характеристиками по стойкости к температурным (от -60 до +120 °С) и атмосферным воздействиям, с воздействием масел и других нефтепродуктов, озона, УФ-излучения.

6.9.3. Предпочтительным вариантом является применение не поддерживающих горение полимерных кабельных креплений, например, на основе армированного полиамида.

6.9.4. При возникновении КЗ не должно происходить необратимой деформации крепления: крепление должно выдерживать динамические ударные нагрузки, вызванные протеканием токов КЗ.

6.9.5. При параллельной прокладке в плоскости (в земле и на воздухе) расстояние по горизонтали в свету между кабелями отдельной кабельной линии должно быть не менее величины наружного диаметра прокладываемого кабеля.

6.9.6. Кабели, прокладываемые горизонтально по конструкциям, стенам, перекрытиям, фермам и т.п., следует жестко закреплять в конечных точках, непосредственно у концевых муфт, на поворотах трассы (с обеих сторон изгибов на расстоянии не более 0,5 м), у соединительных муфт, на остальных участках трассы – в местах, расположенных по длине кабельной линии с шагом от 1 до 1,5 м. а также по трассе.

6.9.7. Кабели, проложенные горизонтально по конструкциям на открытых эстакадах, кроме крепления в местах, указанных выше, должны быть дополнительно закреплены во избежание смещения под действием ветровых нагрузок на прямых горизонтальных участках трассы в соответствии с указаниями, приведенными в проекте.

6.9.8. Кабели, прокладываемые вертикально по конструкциям и стенам, должны быть закреплены на каждой кабельной конструкции. Для предотвращения сползания кабеля необходимо использовать силиконовые прокладки.

6.9.9. При укладке кабелей на консоли кабели должны быть закреплены на каждой консоли. Расстояние между консолями должно быть не более 1 м, полезная длина консоли на прямых участках трассы – не более 500 мм.

6.9.10. Кабели, проложенные на воздухе, должны быть скреплены с шагом 1,0 – 1,5 м по длине кабельной линии и на расстоянии не более 0,5 м от каждого изгиба кабельной линии. Скрепление с указанным шагом должно быть по всей кабельной линии, за исключением участков около соединительных и концевых муфт.

6.9.11. При прокладке кабелей треугольником они должны быть скреплены лентами, стяжками, хомутами или скобами, рассчитанными на действие электродинамических усилий при к.з. и не допускающих при этом разрывов и повреждений участков КЛ.

6.9.12. Для скрепления кабелей трех фаз одной кабельной линии в треугольник или крепления трехжильных кабелей допускается использование хомутов или скоб из магнитных материалов (например, стали). При этом обязательно использование эластичных прокладок для защиты оболочки кабеля. Стальные крепления должны иметь эффективное антикоррозионное покрытие, рассчитанное на весь срок эксплуатации кабельной линии.

6.9.13. Отдельные одножильные кабели, не связанные в треугольник, должны прокладываться так, чтобы вокруг каждого из них не было замкнутых металлических контуров из магнитных материалов. В связи с этим, запрещается использование магнитных материалов для бандажей, крепежных или иных изделий (скоб, хомутов, манжет, экранов), охватывающих кабель по замкнутому контуру. Бирки на кабель рекомендуется крепить капроновыми, пластмассовыми нитками или проволоками из немагнитных металлов (например, из меди).

6.9.14. В случае, если кабели скреплены в треугольник с шагом 1 – 1,5 м и уложены на сплошные полки, крепление к полкам, например, металлическими хомутами с эластичными прокладками, требуется примерно через каждые 8 – 10 м.

6.9.15. Кабели, прокладываемые по конструкциям на открытых эстакадах, могут быть на отдельных участках трассы дополнительно закреплены во избежание смещения под действием ветровых нагрузок.

6.9.16. Крепление кабелей должно быть выполнено таким образом, чтобы была предотвращена деформация кабелей и муфт под действием собственного веса кабеля, а также в результате действия механических напряжений, возникающих при циклах нагрева и охлаждения и при магнитных взаимодействиях во время коротких замыканий.

6.9.17. В местах жесткого крепления кабелей на конструкциях должны быть проложены прокладки из эластичного материала (листовая резина, листовая поливинилхлорид, неопрен и т.д.). Прокладки должны выступать за края хомутов или скоб по ширине на 5 - 8 мм. Крепление кабелей при помощи специальных скоб и хомутов без прокладок должно быть согласовано с изготовителем кабеля.

6.9.18. Возможно использование на трассе кабельной линии разных способов крепления.

6.9.19. При выборе способа крепления на отдельных участках трассы следует руководствоваться тем, что наиболее прочное крепление должно быть обеспечено на вертикальных участках, около муфт, на углах поворота; на остальных участках трассы – не реже, чем через каждые 8 – 10 м.

6.9.20. Примеры крепления кабелей на металлоконструкциях приведены в Приложении И на рис. № И.1 – И.4

6.10 Приёмка трассы

6.10.1. Перед началом прокладки кабеля трасса должна быть принята от строителей по акту. Допускается приёмку трассы производить участками от муфты до муфты.

6.10.2. Приёмку трассы должны производить представителями заказчика, монтажной организации и шефмонтажной организации.

6.10.3. При приемке трассы необходимо обратить особое внимание на соответствие её проектной документации и требованиям методических указаний.

6.10.4. До прокладки кабеля должны быть:

- установлены опорные стойки для концевых муфт;
- выполнены пересечения с другими коммуникациями;
- подготовлены проходы для вводов и здания через фундаменты, стены, и в них вставлены трубы;
- в кабельных сооружениях смонтированы опорные конструкции, предусмотренные проектом;
- из траншеи откачана вода, удалены камни и прочие посторонние предметы, спланировано дно траншеи;
- сделана подсыпка толщиной 100 мм на дне траншеи или в лотках песчано-гравийной смесью или песка;
- заготовлена вдоль трассы песчано-гравийная смесь (песок с размером зерен не более 2 мм и гравий с размерами частиц от 5 до 15 мм и соотношении 1:1) или песка;
- заготовлены железобетонные плиты или кирпичи для укрытия кабелей, предусмотренные проектом;
- подготовлены котлованы для монтажа соединительных муфт;
- при необходимости, на заходах в котлованы и колодцы вырыты прямки для укладки кабелей после монтажа муфт.
- в случае использования лотков, они должны быть уложены на дно траншеи на ненарушенную структуру грунта и состыкованы так, чтобы не было смещения лотков относительно друг друга в горизонтальной и вертикальной плоскостях.
- на углах поворотов стыки между лотками должны быть скреплены бетоном.

– на участках с сыпучими или влажными грунтами стенки траншеи должны быть раскреплены, при этом крепления не должны мешать последующей прокладке кабеля.

6.10.5. Асбоцементные, керамические, полиэтиленовые или другие трубы должны быть уложены прямолинейно, без отклонений от оси труб. Заходы труб с внутренней стороны должны быть округлены с радиусом не менее 5 мм и не иметь выступов, изломов, заусенцев. Соединения труб должны иметь обработанную и очищенную поверхность для предотвращения механических повреждений оболочки кабеля при прокладке и эксплуатации. Проверка прямолинейности и отсутствия пробок производится при помощи просвечивания зажженной электролампой или фонарем на противоположной стороне перехода.

6.10.6. Проверить траншеи перед входами труб. Для предотвращения попадания песка и гравия в трубы, при тяжении кабеля, дно траншей перед входами труб должно быть ниже труб на 10÷15 см.

6.10.7. Трассы блочной канализации для прокладки кабелей должны быть подготовлены с учетом следующих требований:

- выдержана проектная глубина заложения блоков от планировочной отметки;
- обеспечена правильность укладки и гидроизоляция стыков железобетонных блоков и труб;
- обеспечены чистота и соосность каналов (каналы должны быть очищены от крошек бетона, песка, камней, мусора и не должны иметь выступов внутри);
- выполнены двойные крышки (нижняя с запором) люков колодцев, металлические лестницы или скобы для спуска в колодец.

6.10.8. Согласно ППР должны быть выполнены и тщательно спланированы площадки для установки барабанов с кабелем и устройства для протяжки кабеля.

6.11 Хранение и транспортирование барабанов с кабелем

6.11.1. Барабаны с кабелями надлежит транспортировать и хранить в соответствии с ГОСТ 18690 и нормативно-технической документацией предприятия-изготовителя кабеля.

6.11.2. При хранении и транспортировании концы кабелей должны быть герметически заделаны термоусаживаемыми капами.

6.11.3. Порядок погрузки, выгрузки и перевозки барабанов с кабелем определяется ППР.

6.11.4. Погрузка и разгрузка барабанов с кабелем, а также пустых барабанов, должны производиться кранами или другими грузоподъемными механизмами с соблюдением требований правил техники безопасности при работе с грузоподъемными механизмами.

6.11.5. Барабаны при подготовке к транспортированию должны быть надежно закреплены чалками или установлены в специальные клетки в грузовом отсеке транспортного средства (в кузове автомобиля, на прицепе, железнодорожной платформе, барже и т. д.). Запрещается перевозка барабанов с кабелем плашмя (на щеке).

6.11.6. Погрузка, разгрузка и перевозка барабанов с кабелем без обшивки или с нарушенной обшивкой запрещается.

6.11.7. При погрузке и разгрузке барабанов с кабелем рекомендуется применять грузозахватное приспособление, которое крепится в осевом отверстии щёк барабана.

6.11.8. Скорость транспортирования должна обеспечивать сохранность барабанов с кабелем при резком торможении. Перемещения и установку барабанов с кабелем следует производить, не допуская их ударов.

6.11.9. Разгрузка барабанов сбрасыванием с автомобилей и других транспортных средств запрещается. Запрещаются также разгрузка барабана с кабелем скатыванием с автомобилей и других транспортных средств, а также погрузка барабанов в транспортные средства накатом, за исключением случаев, когда дно кузова автомобиля (или дно железнодорожной платформы и т.д.) находится на одном уровне с полом эстакады, на которую разгружается (или с которой загружается) барабан с кабелем.

6.11.10. При перекатывании барабанов с кабелем следует соблюдать направление вращения, указанное стрелкой на щеке барабана. Перекатка барабанов с выступающими концами кабеля запрещается. Концы кабеля должны быть закреплены на барабане.

6.12 Подготовительные работы к протяжке кабелей

6.12.1. Доставлять на трассу барабаны с кабелем рекомендуется не более чем за один день до прокладки, чтобы не подвергать кабель возможным повреждениям при длительном хранении на трассе.

6.12.2. Подготовить необходимые помещения для размещения бригад рабочих, инженерно-технических работников, производственной базы, а также для складирования материалов и инструмента с обеспечением мероприятий по охране труда, противопожарной безопасности и охране окружающей среды в соответствии со СНиП 3.01.01-85.

6.12.3. Произвести внешний осмотр барабанов с кабелем, подлежащих прокладке. Убедиться в том, что обшивка барабанов не нарушена и не повреждена механическая защита внутренних концов кабеля (капы). Проверить записи, которые велись при хранении барабанов с кабелем.

6.12.4. Привести и установить на трассе барабаны с кабелем, механизмы и приспособления для прокладки в соответствии с ППР.

6.12.5. Барабаны с кабелем установить на отдающее устройство так, чтобы при размотке конец кабеля сходил сверху барабана. Закладные втулки барабанов должны быть плотно посажены (закреплены) в теле барабана, для этого необходимо подтянуть гайки на шпильках.

6.12.6. На участке трассы между барабанами и устройством для протяжки кабелей установить ролики так, чтобы при протяжке кабель не провисал. Расстояние между роликами на прямолинейных участках должно быть не более 4 м. На поворотах трассы должны быть установлены угловые ролики, обеспечивающие плавный поворот кабеля с радиусом изгиба не менее $15 D$, где D - наружный диаметр кабеля.

6.12.7. Ролики не должны иметь острых граней и заусенцев, которые могут повредить наружное покрытие кабеля. В местах поворота трассы установить и надежно закрепить угловые ролики. Оси роликов должны быть тщательно смазаны смазкой, ролики должны свободно и легко вращаться.

6.12.8. При прокладке кабеля в блоках, в тоннеле протяжка кабеля так же производится по роликам.

6.12.9. Для обеспечения плавного спуска кабеля в траншею у барабана установить направляющие ролики, ширина первого из них должна быть не меньше ширины барабана.

6.12.10. На торцах асбоцементных, полиэтиленовых или керамических труб в переходах установить входные воронки или специальные направляющие ролики. Для предотвращения образования острых кромок от прохода троса на выходах из труб установить специальные направляющие ролики.

6.12.11. Установить устройство для протяжки кабелей у конца трассы или за кабельным колодцем. Устройство для протяжки кабелей должно:

- контролировать усилие тяжения кабеля;
- производить запись этого усилия на диаграмму в течение всего процесса тяжения кабеля;
- производить автоматическое отключение устройства для протяжки, если усилие тяжения превысит заданную величину.

6.12.12. В случае если требуется одновременная протяжка одним тросом нескольких кабелей, трос устройства для протяжки должен быть снабжен противозакручивающим устройством.

6.12.13. Установить телефонную или радиосвязь связь между местами расположения барабанов, устройства для протяжки кабелей, поворотов, перегородок и переходов трассы.

6.12.14. Установить барабан с кабелем на домкраты, стойки (отдающее устройство), снять обшивку, вытащить из щек барабанов гвозди и скобы, которые могут повредить кабель при протяжке.

6.12.15. Проверить крепление нижнего конца кабеля (при необходимости закрепить его дополнительно).

6.12.16. Установить тормозное устройство для регулирования скорости вращения барабана при протяжке (для предотвращения инерционного раскручивания барабана).

6.12.17. При подготовке к тяжению проволочным чулком или концевым захватом необходимо проволочный чулок или захват закреплять так, чтобы не повредить защитную капу на конце кабеля.

6.12.18. При подготовке к тяжению клиновым захватом капа на конце кабеля снимается и на жилу кабеля монтируется клиновой захват.

6.12.19. Для предотвращения сползания чулка (концевого захвата) с кабеля он должен быть забандажирован тонкой стальной проволокой и липкой ПВХ лентой.

6.12.20. Растянуть канат устройства для протяжки кабелей по трассе и прикрепить его к петле для тяжения на проволочном чулке или захвате.

6.12.21. Подготовить инструменты и материалы, необходимые для прокладки.

6.13 Протяжка кабелей

6.13.1. Кабели на всем протяжении должны быть защищены от механических повреждений путем покрытия железобетонными плитами, кирпичами, плитами ПЗК или иными эластомерными плитами.

6.13.2. Устройство для протяжки кабелей должно удовлетворять условиям, приведенным в п. 5.10.11.

6.13.3. На сложных трассах прокладки при усилиях тяжения, превышающих допустимые, возможно применение дополнительных синхронизированных тяговых устройств.

6.13.4. Оборудование для протяжки должно позволять плавно регулировать скорость тяжения (вплоть до остановки) и измерять метраж протянутого кабеля.

6.13.5. В случае, если усилие тяжения превышает допустимую величину, необходимо остановить работы и проверить правильность установки и исправность роликов, натяжение троса по трассе, в переходах и на углах поворотов, наличие смазки (воды) в трубах (каналах блоков), а также проверить возможность заклинивания кабеля в трубах.

6.13.6. Решение о возможности дальнейшей протяжки кабеля принимает представитель шеф-монтажной организации.

6.13.7. Скорость тяжения не должна превышать 18 м/мин и должна быть выбрана руководителем прокладки в зависимости от характера трассы, погодных условий и усилий тяжения.

6.13.8. Расстановка рабочих у механизмов и по трассе прокладки, вид связи между ними и руководителем работ должны определяться ППР.

6.13.9. Рекомендуемая примерная схема расстановки рабочих при протяжке кабеля:

- у барабана, на тормозе – 2 человека;
- на сходе кабеля с барабана – 2 человека;
- у спуска кабеля в траншею (входа, выхода из туннеля) – 1 человек;
- сопровождение конца кабеля – 2 человека;
- у лебедки – 1 или 2 человека;
- на каждом углу поворота – 1 человек;
- на каждом проходе в трубах через перегородки или перекрытия, у входа в камеру или здание – 1 человек;
- на прямых участках трассы – по необходимости.

Руководитель работ должен сопровождать движение конца кабеля по трассе.

6.13.10. Команду на включение лебедки дает только руководитель работ после расстановки рабочих и опробования связи. Команду на отключение лебедки «стоп» может дать любой, заметивший неполадки при протяжке.

6.13.11. Если протягивание прервано, то повторное включение лебедки должно быть с малым ускорением, чтобы избежать большого усилия тяжения.

6.13.12. Барабан с кабелем необходимо подтормаживать так, чтобы не было набегания, ослабления и провисания витков кабеля, и в то же время не создавалось чрезмерное усилие торможения. При ослаблении нижнего конца кабеля необходимо остановить протяжку и закрепить его.

6.13.13. На спуске кабеля в траншею или в туннель необходимо следить, чтобы кабель сходил по роликам и не терся о трубы и стенки в проходах.

6.13.14. На входе в трубу необходимо следить за тем, чтобы оболочка кабеля не повредилась о край трубы.

6.13.15. При повреждении кабеля необходимо остановить протяжку и осмотреть место повреждения. Шеф-инженер принимает решение о необходимости и возможности ремонта оболочки до окончания его прокладки с составлением акта о повреждении.

6.13.16. На углах поворота рабочие должны находиться с внешней стороны кабеля или троса во избежание травмы при соскальзывании кабеля (троса) с роликов. Поправлять ролики, кабель или трос руками во время протяжки запрещается.

6.13.17. У лебедки рабочий должен следить за работой лебедки, контролировать усилие тяжения и по командам включать или выключать лебедку.

6.13.18. Сопровождающие конец кабеля должны следить за тем, чтобы кабель шел по роликам, при необходимости поправлять ролики и направлять конец кабеля. Для направления кабеля или троса необходимо использовать специальные крюки. Использовать крюки с острым концом запрещается.

6.13.19. Перед окончанием тяжения конец кабеля должен быть вытянут в сторону протягивания так, чтобы при укладке его по проекту расстояние от верха концевой муфты или условной середины соединительной муфты до конца кабеля было не менее 2 м. Решение о запасе кабеля принимает шеф-

инженер. При определении запаса следует учитывать, сколько кабеля осталось на барабане, с тем, чтобы после схода оставшегося конца кабеля с барабана его длины хватило для монтажа муфты.

6.13.20. Отсоединить канат тяговой лебедки, снять проволочный чулок или захват. Отрезать конец кабеля, на котором был смонтирован захват. Место обреза определяет шеф-инженер. Кабель после отрезки конца немедленно герметизировать капой. После снятия чулка проверить находившуюся под ним капю. В случае повреждения капы снять ее и заменить новой.

6.13.21. При необходимости конец кабеля завести через предназначенное для этого отверстие в камеру, колодец, помещение, через перекрытие или в стойку концевой муфты. При этом контролировать радиус изгиба кабеля. У отверстия, в которое заведен кабель, краской сделать надпись, в которой указать фазу и номер линии.

6.13.22. Снять кабель с роликов, уложить, связать (если требуется) и закрепить его по проекту.

6.14 Одновременная протяжка трех кабелей

6.14.1. Для одновременного тяжения трех кабелей на каждый кабель должен быть смонтирован отдельный проволочный чулок или захват, у которых петли для тяжения должны быть механически соединены между собой и присоединены к одному канату (тросу) с противозакручивающим устройством, предназначенному для тяжения всех трех кабелей, (при этом кабельные чулки или захваты могут быть установлены на трех кабелях в разбежку или рядом).

6.14.2. Одновременная протяжка трех кабелей тремя канатами (тросами), соединенными с проволочными чулками или захватами, установленными на каждом отдельном кабеле, не допускается в связи со сложностью синхронизации скорости тяжения трех кабелей и опасностью повреждения оболочки кабелей канатами (тросами).

6.14.3. При одновременном тяжении трех кабелей кабели на сходе с барабанов должны собираться вместе с помощью устройства для группирования кабелей и скрепляться в треугольник в соответствии с соответствующими требованиями, при этом скорость тяжения должна выбираться такой, чтобы была обеспечена возможность связывания кабелей в треугольник до попадания кабелей на трассу. Кабели в связке, также как и одиночные кабели, на трассе при тяжении должны перемещаться по роликам (за исключением участков в трубах и каналах блоков).

6.14.4. Одновременно протяжка трех кабелей для укладки по трассе в одной плоскости не допускается в связи со сложностью обеспечения равномерного распределения усилия тяжения на три несвязанных кабеля, а также опасностью схода с роликов и перекреста кабелей на поворотах.

6.15 Протяжка кабелей в трубах и блоках

6.15.1. При протяжке в трубу или канал блока трех фаз кабеля запрещается последовательная протяжка отдельных кабелей с использованием стального каната (троса) из-за опасности повреждения канатом (тросом) или кабельным чулком (захватом) оболочек уже проложенных кабелей.

6.15.2. Возможна одновременная протяжка нескольких кабелей в связке, при этом способ протяжки должен быть согласован с предприятием-изготовителем кабеля.

6.15.3. При длине труб до 20 м, по согласованию с предприятием-изготовителем кабеля, возможна последовательная протяжка отдельных кабелей вручную с использованием веревки.

6.15.4. При прокладке кабеля в блочной канализации, исходя из конструктивных параметров кабеля и условий прокладки, должна быть определена общая длина канала блока по условиям предельно допустимых усилий тяжения. Требуемые усилия на протягивание кабеля через блочную канализацию и предельная длина канала блока, через который будет производиться протяжка, определяются при составлении ППР.

6.15.5. Для уменьшения усилия тяжения при протягивании кабеля через каналы или трубы его следует покрывать смазкой, не содержащей веществ, вредно действующих на оболочку кабеля (тавот, солидол). Ориентировочный расход смазки составляет $8 \div 10$ кг на каждые 100 м кабеля.

6.15.6. Кабели рекомендуется протягивать со скоростью не более 18 м/мин и по возможности без рывков и остановок, для исключения больших начальных усилий тяжения.

6.16 Отрезка концов кабеля, подготовка к хранению кабелей на трассе

6.16.1. В случае, если на барабане находится кабель для нескольких участков трассы, или если длина кабеля существенно больше, чем необходимо для монтажа муфт, целесообразно обрезать излишнюю часть кабеля, при этом подложить под виток кабеля доску. Длину кабеля необходимо контролировать по мерным знакам на оболочке, при обрезке необходимо следить за тем, чтобы не повредить оболочку кабеля за местом реза.

6.16.2. После резки кабеля на его концы должны быть смонтированы капы по технологии, представленной ниже в п. 5.15. Возможны дополнительные меры герметизации.

6.16.3. После окончания прокладки концы кабеля должны быть приподняты над дном траншеи и в таком положении закреплены.

6.16.4. В случае, если до монтажа муфт предусмотрено длительное хранение с засыпкой грунтом концы кабелей следует уложить на подсыпку из мелкого грунта или песчано-гравийной смеси засыпать сверху слоем мелкого грунта или песчано-гравийной смеси толщиной не менее 100 мм, закрыть

деревянными щитами и засыпать грунтом. Место нахождения засыпанных концов на трассе рекомендуется обозначить реперными отметками.

6.17 Герметизация концов кабелей

6.17.1. Капы для герметизации концов кабелей выбираются в зависимости от наружного диаметра кабеля. Следует использовать капы с клеевым составом, нанесенным на внутреннюю поверхность капы, или со специальными вкладышами из адгезивного материала.

6.17.2. Рекомендуется использовать капы по ТУ 16.К71-051-89 или капы ф. «Tusco Electronics Raychem GmbH» с усиленным уплотнением типа 102L (с термоплавким клеем). Размеры и параметры рекомендуемых кап приведены в Приложении 3. По согласованию с руководителем прокладки, шеф-инженером или производителем кабеля допускается использовать другие равноценные капы.

6.17.3. При выполнении монтажа кап следует придерживаться определенной последовательности действий:

- измерить длину цилиндрической части капы;
 - на оболочке кабеля на расстоянии от конца, превышающем длину цилиндрической части капы на 15-20 мм, отметить границу монтажа капы;
 - снять скребком все наплывы и выпуклые надписи в месте монтажа капы на поверхности оболочки. При необходимости обрезать конец кабеля таким образом, чтобы срез был ровным и прямым;
 - поверхность оболочки в месте монтажа капы зачистить шкуркой и обезжирить ацетоном (допускается использование бензина, нефраса или уайт-спирита);
 - надеть капу на конец кабеля (между капой и оболочкой должен быть клеевой слой);
 - легким пламенем газовой горелки осадить капу, начиная с торца. Горелка настраивается таким образом, чтобы получить мягкое синее пламя с желтым языком. **Следует избегать остроконечного синего пламени.** Направляйте горелку в сторону усадки для того, чтобы предварительно нагреть усаживаемый материал. Постоянно перемещайте пламя во избежание пережога материала.
- При прогреве капы и ее усадке на свободную оболочку кабеля должен выдавливаться клеевой состав в виде ровного валика. Поверхность капы должна быть ровной, гладкой, без морщин;
- дать остыть месту монтажа до температуры ниже 35 °С. До остывания любые механические воздействия на место монтажа капы не допускаются.

6.17.4. При необходимости особенно надежной герметизации концов кабелей возможно применение двойного капирования. При этом внутренняя капа осаживается на полупроводящий экран по изоляции кабеля

(герметизируется токопроводящая жила), а наружная капа осаждается на внутреннюю капю и оболочку кабеля. Возможна также дополнительная герметизация жилы и медного экрана кабеля расплавленным битумом, который наносится перед монтажом на срез кабеля до полного его перекрытия. Необходимость двойного капирования и дополнительной герметизации битумом определяет руководитель прокладки или шеф-инженер.

6.18 Раскатка кабеля

6.18.1. Раскатка кабеля может производиться с движущегося кабельного транспортера, автомобиля или трубоукладчика в тех случаях, когда механизм может свободно двигаться вдоль трассы и когда в траншее нет препятствий, требующих протяжки через них кабеля (трубы, блоки, поперечные подземные сооружения, поперечные крепления траншей и т. д.).

6.18.2. Раскатку кабеля с барабана, установленного на движущемся кабельном транспортере, следует производить путем буксировки транспортера автомобилем, трактором или тягачом. Для раскатки кабеля с автомобиля барабан устанавливают на кабельных домкратах либо на инвентарных подставках в кузове автомобиля.

6.18.3. Домкраты и подставки должны быть надежно закреплены в кузове автомобиля. Во время раскатки кабеля с транспортера или автомобиля барабан вращают вручную.

6.18.4. Для раскатки кабеля с движущегося трубоукладчика барабан устанавливают на специальной траверсе. При движении трубоукладчика барабан перемещается над траншеей и вращается под действием собственного веса сматывающегося с барабана кабеля. Кабель при этом укладывается на дно траншеи свободно (без натяжения).

6.18.5. Скорость передвижения транспортера, автомобиля или трубоукладчика при раскатке кабеля рекомендуется выбирать равной $0,6 \pm 1$ км/ч, при этом расстояние между краем траншеи и ободом колеса механизма должно быть не менее глубины траншеи, умноженной на коэффициент 1,25.

6.18.6. При раскатке кабеля с движущегося транспортера или автомобиля по дну траншеи вслед за кабелем должны передвигаться рабочие, которые должны принимать сматываемый с барабана кабель и укладывать его на дно траншеи.

6.18.7. После раскатки кабелей (с движущегося транспортера или автомобиля, с трубоукладчика) рабочие должны на дне траншеи уложить кабели на место и связать их по проекту.

6.18.8. При раскатке нельзя допускать рывков кабеля при сходе с барабана, которые могут привести к повреждению кабеля из-за появления механических нагрузок (статических и динамических), превышающих допустимые усилия тяжения кабеля. С целью предотвращения рывков необходимо следить за тем, чтобы кабель легко сматывался с барабана и

постоянно имел провис. Необходимо также следить, чтобы сматываемый кабель не терся о щеку барабана (особенно на поворотах трассы).

6.19 Засыпка траншеи грунтом, маркировка

6.19.1. После прокладки кабелей необходимо удалить из траншеи инструменты и оборудование, произвести засыпку кабеля песком или песчано-гравийной смесью толщиной не менее 100 мм.

6.19.2. После присыпки песком или песчано-гравийной смесью необходимо провести испытания оболочки кабеля.

6.19.3. После испытаний оболочек проложенный в траншее кабель должен быть присыпан первым слоем земли, уложена механическая защита (плиты, кирпичи либо эластомерные плиты ПЗК), и представителями электромонтажной и строительной организаций совместно с представителем заказчика должен быть произведен осмотр трассы с составлением акта на скрытые работы.

6.19.4. Засыпка трассы комьями мерзлой земли, грунтом, содержащим камни, куски металла и т. п., не допускается.

6.19.5. При засыпке кабеля нейтральным грунтом траншея должна быть дополнительно расширена с обеих сторон на 0,5-0,6 м и углублена на 0,3-0,4 м.

6.19.6. После полного монтажа всей кабельной линии проводятся ее испытания.

6.19.7. После прокладки с трассы кабельной линии должны быть вывезены мусор, отходы использованных материалов и кабеля, загрязняющие окружающую среду.

6.19.8. Каждая кабельная линия должна иметь свой номер или наименование и промаркирована в соответствии с требованиями ПУЭ. Также должен быть составлен паспорт на КЛ.

6.20 Правила пожарной безопасности при прокладке кабеля

6.20.1. Низковольтные кабели и провода систем противопожарной защиты, средств обеспечения деятельности подразделений пожарной охраны, систем обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, аварийного освещения на путях эвакуации, аварийной вентиляции и противодымной защиты, автоматического пожаротушения, внутреннего противопожарного водопровода, лифтов для транспортирования подразделений пожарной охраны в зданиях, сооружениях и строениях должны сохранять работоспособность в условиях пожара в течение времени, необходимого для полной эвакуации людей в безопасную зону. Такие кабели безопасности должны быть негорючи, не выделять вредных газов и способность длительное время противостоять воздействию пламени и высокой температуры.

6.20.2. Кабельные изделия, к которым предъявляются требования пожарной безопасности, должны удовлетворять требованию по нераспространению горения при одиночной или групповой прокладке в зависимости от условий их применения.

6.20.3. Кабели, прокладываемые открыто, должны быть не распространяющими горение.

6.20.4. Кабели из сшитого полиэтилена, которым присвоен индекс «нг» и «нг-LS», разрешаются к применению в кабельных сооружениях и производственных помещениях, в том числе в пожаро- и взрывоопасных зонах всех классов.

6.20.5. Кабели с оболочкой из ПВХ пластикатов пониженной пожароопасности (в обозначении присутствуют индексы «нг» или «нг-LS»), разрешается прокладывать без нанесения дополнительных огнезащитных покрытий по всей длине трассы, независимо от способа прокладки.

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

6.20.7. В маркировке кабельных изделий, к которым предъявляются требования по пожарной безопасности, должен быть указан тип исполнения в соответствии с показателями пожарной безопасности, указанными в стандарте ГОСТ Р 53315-2009.

6.20.8. Согласно ГОСТ Р 53315-2009, каждый кабель должен соответствовать какому-либо классу пожарной опасности, описываемому нанесенным буквенно-цифровым обозначением (например О2.4.1.2.2 или П1.6.1.3.3). Буква обозначает способ проведенного испытания на распространение горения: О – при одиночной прокладке, П – при групповой. Первая цифра соответствует пределу распространения горения при групповой (ПРГП) или одиночной (ПРГО) прокладке, который измеряется согласно ГОСТ Р МЭК 60332-1-2 и ГОСТ Р МЭК 60332-1-3. На втором месте – предел огнестойкости (ПО), соответствует времени, в течение которого кабель остается работоспособным в огне. На третьем – показатель коррозионной активности (ПКА) газообразных продуктов горения и тления изоляции. На четвертом – показатель токсичности продуктов горения (ПТПМ). На пятом – показатель дымообразования (ПД), соответствует минимальному значению светопропускаемости в процентах.

6.20.9. В обозначении марок кабельных изделий, предназначенных для групповой прокладки, в скобках должны добавляться буквенные индексы, указывающие на соответствие кабельных изделий требованиям по нераспространению горения:

- нг или нг(А) – класс пожарной опасности ПРГП 1 (категория А);
- нг(А F/R) – класс пожарной опасности ПРГП 1 (категория А F/R);
- нг(В) – класс пожарной опасности ПРГП 2 (категория В);
- нг(С) – класс пожарной опасности ПРГП 3 (категория С);
- нг(Д) – класс пожарной опасности ПРГП 4 (категория Д).

6.20.10. В нормативной документации на кабельное изделие должна быть указана область его применения с учетом показателей пожарной опасности и типа исполнения в соответствии с Приложением Ж (табл. Ж 1).

6.20.11. В Приложении Ж табл.Ж.2 приведены классы пожаробезопасности согласно европейской классификации.

6.20.12. Во взрывоопасных зонах, опасных по газу, максимальная температура любых элементов кабельных линий не должна превышать температуры самовоспламенения взрывоопасной смеси.

6.20.13. Применение кабелей из сшитого полиэтилена, не имеющих индекса «нг», в пожаро- и взрывоопасных зонах не допускается. В других случаях их применение возможно при использовании дополнительных мероприятий, предотвращающих распространение горения и растекание горящего плава пластика, например, прокладка в земле, засыпка песком, использование огнезащитных лотков. Применение огнезащитных кабельных покрытий допускается только на ограниченных участках кабельной трассы.

6.20.14. При прокладке кабелей общепромышленного исполнения с оболочкой из полиэтилена (марок ПвП, АПвП, ПвПу, АПвПу, ПвПу2г и АПвПу2г, ПвБП, АПвБП) открыто на воздухе, а также при их вводе в кабельные сооружения и производственные помещения, в проекте должно быть предусмотрено обеспечение дополнительных мер противопожарной защиты, например, нанесение огнезащитных покрытий по РД 153-34.0-20.262-2002.

7 Выбор и монтаж кабельных муфт и арматуры для кабелей с СПЭ-изоляцией

7.1 Требования по выбору кабельной арматуры

7.1.1. Нижеперечисленные положения относятся к выбору концевых, соединительных, переходных термоусаживаемых, по ряду пунктов эластомерных и штекерных муфт, а также механических соединителей и наконечников для кабелей с изоляцией СПЭ различных сечений на напряжение 6-110 кВ.

7.1.2. Для монтажа силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена следует применять концевые и соединительные муфты, кабельные вводы в КРУЭ современной конструкции с максимальной заводской готовностью к монтажу, а для соединения с маслонаполненными кабелями низкого давления – переходные муфты.

7.1.3. Кабельная арматура должна быть новой, не использованной ранее и представлять собой современные модели, адаптированные для различных производителей кабельной продукции (либо для нескольких типов кабелей и сечений жил), а также изготовленной с учётом климатических и эксплуатационных особенностей Сибирского региона.

7.1.4. Кабельная арматура должна соответствовать стандартам ГОСТ 13781.0-86, МЭК 62271-209, МЭК 60859 и др. Соответствие стандартам должно быть подтверждено сертификатами независимых российских (для ГОСТ) и международных (для МЭК, CENELEC) лабораторий и институтов.

7.1.5. При прокладке и монтаже кабельных линий с изоляцией СПЭ рекомендуется применять соответствующую кабельную арматуру на основе технологии термоусаживаемых либо эластомерных материалов (еще называемых материалами «холодной усадки»). При этом необходимо применять кабельные муфты, выполненные по технологии поперечно-сшитых полимеров с пластичной памятью формы, отвечающие требованиям ГОСТ 13781.0-86.

7.1.6. При выборе муфт для кабелей с СПЭ-изоляцией необходимо четко знать:

- назначение муфты (соединение или оконцевание кабеля);
- условия установки муфты (наружная, внутренняя, степень загрязнения);
- номинальное и наибольшее рабочее напряжение КЛ;
- марку, сечение жил кабеля, конструктивные особенности (толщина изоляции, тип экрана и пр.).

7.1.7. Материалы, применяемые для кабельной полимерной арматуры, должны быть устойчивы к воздействию солнечной радиации (ультрафиолетового излучения), атмосферных осадков, промышленных загрязнений; предназначенными для прокладки в определенных производственных условиях, в зависимости от назначения муфты и ее исполнения.

7.1.8. Независимо от исполнения (наружное, внутреннее) указанные материалы должны также обладать высокими диэлектрическими свойствами и не

терять своих свойств при воздействии колебаний температуры, поверхностного разряда.

7.1.9. Кабельная арматура должна поставляться в виде набора всех необходимых для монтажа материалов. Система соединения заземления и соединители жил (наконечники) должны входить в набор.

7.1.10. Один набор механических соединителей должен работать на три (или более) сечения кабеля в классах напряжения кабельной арматуры 6-35 кВ. Для кабелей 110 кВ конструкция соединителей (наконечников), как правило, рассчитана на одно конкретное сечение и должна изготавливается с отверстием строго по центру, с обязательным учетом толщины изоляции кабеля.

7.1.11. В набор поставки конкретной кабельной арматуры должна входить инструкция по монтажу на русском языке.

7.1.12. Комплекты муфт должны комплектоваться непаянной системой заземления с помощью роликовых пружин, применимой для любого типа экрана (проволочный, ленточный).

7.1.13. Комплекты муфт должны содержать универсальные механические наконечники и соединители со срывными головками, работающими как на медных, так и на алюминиевых жилах. Соединители должны обеспечить центрирование жил без эксцентриситета в соединительных муфтах независимо от класса напряжения кабельной линии.

7.1.14. Соединители и наконечники, которыми комплектуется кабельная арматура, на протяжении всего срока эксплуатации должны соответствовать следующим требованиям:

- стабильное переходное электрическое сопротивление;
- температура соединения должна быть меньше или равна температуре проводника;
- токи КЗ не должны влиять на ухудшение характеристик, указанных в пп. а) и б);
- осевая статическая прочность должна соответствовать области применения.

7.1.15. За отсутствием ГОСТ на механические соединители и наконечники для кабелей с изоляцией СПЭ, рекомендуется использовать механические соединители и наконечники, испытанные в соответствии с МЭК (IEC) 61238-1:2003, класс А.

7.1.16. Применяемые кабельные наконечники должны быть герметичными.

7.1.17. Комплекты концевых муфт должны поставляться в виде набора материалов для трёх фаз.

7.1.18. Комплекты концевых муфт для трёхжильных кабелей должны позволять варьировать длину разделки до 1200 мм.

7.1.19. Конструкция концевых муфт должна обеспечивать их минимальный геометрический размер. Концевые муфты внутренней установки не должны иметь дополнительных изоляционных юбок. Наружные

трубки концевых муфт независимо от их исполнения должны быть трекингостойкими.

7.1.20. Комплекты соединительных муфт должны иметь медную лужёную сетку для экранирования.

7.1.21. В конструкции переходных муфт должны быть предусмотрены специальные маслостойкие трубки, герметичность которых подтверждена испытаниями, а также маслостойкие заполнители пустот.

7.1.22. Все термоусаживаемые компоненты (трубки, перчатки) должны иметь маркировку стойкой невыгорающей краской, указывающей название, диапазон усадки и уникальный номер изделия.

7.1.23. Термоусаживаемые трубки должны иметь клеевой подслои, равномерно нанесённый на всю внутреннюю поверхность методом соэкструзии.

7.1.24. Восстановление и экранирование основной изоляции кабеля в соединительных муфтах должно осуществляться с помощью трёхслойной термоусаживаемой трубки с проводящим наружным слоем, что обеспечит максимально равномерное распределение напряженности электрического поля в муфте.

7.1.25. Для подключения кабелей с изоляцией СПЭ к элегазовым ячейкам РУ номинальным напряжением до 35 кВ включительно используются типовые концевые муфты для одно- и трехжильных кабелей сечением до 800 мм² и совместимые с ними адаптеры. Указанные системы подключения должны удовлетворять следующим требованиям:

- герметичность и влагозащищенность, подтвержденные циклическими испытаниями в водной среде;
- обеспечение надежного электрического соединения кабеля с ячейкой в диапазоне, перекрывающем три и более сечений медных или алюминиевых токоведущих жил;
- наличие элементов экранирования (модулей выравнивания напряженности поля, экранированных корпусов с внешним слоем полупроводящего полимера) для адаптеров, подключаемых в открытых кабельных отсеках;
- трекинг- и эрозионная стойкость внешнего корпуса;
- компактность, обеспечение возможности параллельного подключения 2-х и 3-х кабелей (при токах нагрузки свыше 630 А) с их надежным механическим креплением.

7.1.26. Для соединения кабелей в кабельных сооружениях и производственных помещениях следует использовать кабельные муфты, не распространяющие горение. Нераспространение горения подтверждается сертификатом пожарной безопасности в системе добровольной сертификации. В пожаро- и взрывоопасных зонах, где сращивания кабелей избежать нельзя, рекомендуется для соединений использовать специальные термоусаживаемые муфты и трубки в соответствии с инструкцией изготовителя.

7.1.27. Материалы, используемые для кабельной полимерной арматуры, предполагаемой к использованию в кабельных сооружениях и производственных помещениях, должны соответствовать требованиям по испытаниям кабелей с изоляцией СПЭ на нераспространение горения, на дымовыделение, на выделение коррозионно-активных и токсичных газов – по ГОСТ Р МЭК 60332-1 (или МЭК (IEC) 60332-1), ГОСТ 12.1.044-89 (или МЭК (IEC) 61034), ГОСТ Р 53315-2009 (или МЭК (IEC) 60754).

7.1.28. Срок службы кабельной арматуры должен быть не менее 30 лет, а предприятие-производитель должно иметь опыт эксплуатации своей продукции в энергосистемах РФ не менее 5 лет.

7.1.29. Предприятие-производитель должно быть сертифицировано по системе менеджмента качества ISO 9001 (ГОСТ Р ИСО 9001), а также иметь официальное представительство в регионе поставки с функциями сервисного обслуживания.

7.1.30. Для обеспечения надёжности работы, вновь вводимые кабельные линии напряжением 110 кВ могут оснащаться системой on-line диагностики с монтажом датчиков ЧР на концевых кабельных муфтах.

7.1.31. Кабельная арматура зарубежных производителей пригодна и рекомендуется к применению с кабелями с изоляцией СПЭ отечественного производства в соответствии с классом напряжения, типом исполнения и назначением муфты (областью применения).

7.1.32. Технические требования к концевым, соединительным (транспозиционным) и штекерным кабельным муфтам на напряжение 110 кВ приведены в табл. № 13.

7.1.33. Системы подключения кабелей 110 кВ с изоляцией СПЭ к элегазовым ячейкам РУ-110 кВ представляют собой компактные штекерные муфты, основные требования к которым изложены в таблице №13.

Табл. № 13 – Технические требования к кабельным муфтам на напряжение 110 кВ

Параметры и условия	Концевая муфта наружной установки	Соединительная (транспозиционная) муфта	Штекерная муфта
Напряжение сети, $U_{\phi}/U_{л}/U_{\text{макс}}$	64/110/126 кВ		
Частота сети, f	50 Гц		
Режим работы сети	глухозаземленная нейтраль		
Заводские испытания импульсным напряжением	550 кВ		
Заводские испытания напряжением промышленной частоты на протяжении 15 мин	190 кВ		
Наибольшее рабочее напряжение	не менее 123 кВ		
Материал внешней изоляции	кремнийорганическая резина, фарфор	–	эпоксидный компаунд
Конструкция изолятора	однофазная	однофазная	однофазная, поскольку конструкция в виде объединения трёх изоляторов в один недопустима, как неудовлетворяющая условиям возможной перспективной замены, реконструкции или ремонта
Внешняя оболочка муфты	–	термоусаживаемая, армированная с интегрированной алюминиевой фольгой для защиты от проникновения влаги	–
Длина пути утечки изолятора (минимальная)	3075 мм	–	–
Технология монтажа кабельного наконечника	наконечник с самосрывающимися головками болтов	–	наконечник с самосрывающимися болтами без обработки изоляции на конус
Внешний диаметр контактного наконечника	не менее 50 мм	–	–
Технология монтажа элементов выравнивания напряженности электрического поля	без использования инструментов и принадлежностей для натяжения элементов выравнивания напряженности электрического поля		
Внутренняя изоляция муфты	–	трехкомпонентная конструкция из предварительно-изготовленных и испытанных на заводе компонентов, которая должна позволять соединять кабели разных сечений и разных производителей между собой	сухая, без использования любых жидкостных наполнителей

Продолжение табл. № 13

Технология обработки среза полупроводящего слоя на изоляции	без использования покраски перехода между полупроводящим слоем и изоляцией		
Максимальный угол наклона муфты к горизонту	не более 45°	–	–
Максимально допустимое усилие на изгиб	не менее 5 кН	–	–
Технология соединения жил в муфте	–	соединитель (гильза) с самосрывающимися болтами	–
Технология соединения экрана в муфте	–	опрессовка соединительных гильз, отсутствие пайки	–
Технология заземления экрана на конце кабеля	технология заземления экрана антивандальная и предусматривает внутреннее присоединение экрана к плите основания муфты без внешнего вывода экрана кабеля	–	технология заземления экрана должна быть антивандальной и предусматривать внутреннее присоединение экрана к фланцу муфты без внешнего вывода экрана кабеля; фланец муфты должен присоединяться к контуру заземления гибким, многопроволочным медным проводом соответствующего сечения
Срок службы муфт	не менее 30 лет		
Техническая документация	обязательно на русском языке		
Общая информация по муфтам и технологии их монтажа	обязательно		
Паспорт на муфты	обязательно		
Чертежи с необходимыми размерами	обязательно		
Соответствие физических размеров (основной фланец) стандартам	–	–	МЭК (IEC) 62271-209, МЭК (IEC) 60859
Испытания произведены в соответствии с	МЭК (IEC) 60840 IEEE 48	(МЭК) IEC 60840 IEEE 404	МЭК (IEC) 62281-209 раздел 7.2 МЭК (IEC) 60840

7.1.34. Для термоусаживаемых элементов кабельной арматуры срок хранения не ограничен. Все элементы термоусаживаемых муфт, критичные к изменению влажности, должны быть герметично упакованы, что, как правило, предусмотрено производителем.

7.1.35. Эластомерные муфты (холодной усадки) имеют ограниченный срок хранения на складе, не превышающий 2-3 лет с даты изготовления. Срок хранения таких муфт определяется производителем и может быть изменен в

зависимости от условий хранения (температура, влажность) по согласованию с производителем.

7.1.36. Условия хранения кабельной арматуры в целом должны соответствовать требованиям ГОСТ 18690-82 и нормативно-технической документации предприятия-изготовителя.

7.1.37. Технические характеристики рекомендуемых кабельных муфт для кабелей 6-110 кВ приведены в Приложении 3.

7.2 Требования по монтажу кабельной арматуры и используемому инструменту

7.2.1. Нижеперечисленные положения относятся к монтажу концевых, соединительных, переходных термоусаживаемых и, по ряду пунктов, эластомерных муфт; для кабелей с изоляцией СПЭ различных сечений на напряжение 6-110 кВ.

7.2.2. Персонал, выполняющий монтаж муфт на кабелях с изоляцией СПЭ должен быть обучен правилам и нормам выполнения монтажа, что подтверждается специальной отметкой на право выполнения специальных работ в удостоверении по электробезопасности и/или соответствующими свидетельствами.

7.2.3. К работе с газопламенным оборудованием (газовыми горелками) в рамках монтажа кабельных муфт допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие соответствующее обучение, инструктаж и проверку знаний требований безопасности на основании действующих нормативно-технических документов и имеющие разрешение на данный вид работ.

7.2.4. В обязанности специалистов, занимающихся монтажом кабельных муфт СПЭ, входит четкое соблюдение монтажных инструкций и рекомендаций изготовителя, отступление от которых должно наказываться наложением штрафа. Для специалистов, занимающиеся установкой муфт на кабелях напряжением 110 кВ с изоляцией СПЭ, допуск к монтажу при перерыве в подобных работах более полугода осуществляется только после повторного обучения.

7.2.5. Шеф-надзор за соблюдением требований по технологии монтажа муфт и соблюдением инструкций изготовителя назначается по решению технического руководителя предприятия. При выполнении монтажных работ в кабельных сетях напряжением 6-10 кВ присутствие шеф-инженера необязательно, в сетях 35-110 кВ – рекомендуется.

7.2.6. Монтаж муфт осуществляется только после полного окончания прокладки кабеля или его участков, а также строительных работ, проведение которых может привести к смещению кабеля. Пространство, выделяемое для монтажа муфт должно быть достаточным по размеру.

7.2.7. При монтаже соединительных муфт необходимо руководствоваться следующими требованиями к монтажной площадке, расположению и креплению кабеля:

- соединяемые участки кабеля должны располагаться с минимальным перекрытием 2 м;
- при монтаже муфт 110 кВ вне помещений должно быть установлено временное сооружение, (независимо от атмосферных условий) для обеспечения в пространстве монтажа температуры не ниже $+15^{\circ}\text{C}$ и влажности не выше 60%;
- размер котлованов для соединительных муфт должен быть достаточным для того, чтобы надвинуть на кабель (вправо и влево от места соединения жил) детали муфт, которые затем будут монтироваться в области соединения;
- при монтаже муфт в кабельных сооружениях или производственных помещениях кабель должен быть закреплен с двух сторон от муфты на расстоянии не более 1 м; также следует убедиться, что стойки, полки, кронштейны рассчитаны на вес кабеля с муфтой;
- изгиб или провисание кабеля в районе муфты или непосредственно возле нее не допускается.

7.2.8. При монтаже концевых муфт 110 кВ предъявляются особые требования к опорным конструкциям муфт:

- опорная конструкция должна обеспечивать необходимую прочность и жесткость с учетом веса оборудования; ветровых, сейсмических нагрузок и гололеда; электродинамических усилий, вызванных протеканием токов КЗ; временной нагрузки в процессе монтажа;
- в опорных конструкциях должны быть исключены замкнутые магнитные контура;
- конструкция должна быть соединена с контуром заземления электроустановки;
- конструкция должна иметь посадочные места для концевых муфт в соответствии с чертежами производителя;
- конструкция должна предусматривать как минимум две точки крепления кабеля специальными кабельными зажимами на расстоянии не более 1 м от основания муфты; следующая точка крепления также должна быть на расстоянии не более 1 м;
- кабель должен быть выведен на расстояние не менее 3 м над плитой основания муфты.

7.2.9. При монтаже муфт необходимо руководствоваться инструкцией производителя муфты, общими правилами техники безопасности и противопожарной безопасности согласно «Межотраслевым правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок», а также перечнем правил и инструкций, действующих на предприятии, применяющем указанный тип кабельных муфт.

7.2.10. Для разделки кабеля с СПЭ-изоляцией при монтаже кабельной полимерной арматуры следует применять только специальный инструмент, в частности, роликовые ножи для удаления наружного покрова, полупроводящего экрана и изоляции (ножи IT-1000, НУЭ-1, СПИК, КСП и др.). **Использование для этих целей иных ножей и инструментов, не предназначенных для разделки кабеля с СПЭ-изоляцией, категорически запрещается.**

7.2.11. Инструмент для разделки кабелей с СПЭ-изоляцией должен быть подобран в соответствии с сечением жилы или максимальным диаметром кабеля и удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать чистое и аккуратное снятие внешней оболочки (наружного покрова), полупроводящего экрана по изоляции и основной изоляции кабеля без повреждения токоведущих жил;
- иметь регулируемую глубину снятия слоя и плавную настройку по глубине среза.

7.2.12. Монтаж термоусаживаемых элементов кабельной арматуры проводится без ограничений по температуре окружающего воздуха. Возможные ограничения определяются классом напряжения муфты (п. 6.2.7), типом внешней оболочки кабеля и условиями предварительного прогрева (п. 5.2.13).

7.2.13. Монтаж эластомерных муфт (холодной усадки) проводится при температуре окружающего воздуха не ниже 0 °С.

7.2.14. Для монтажа термоусаживаемых муфт должны применяться газовые горелки полного сгорания, не выделяющие загрязняющих проводящих веществ (пропановая или бутановая), либо электронагревательные фены. Пламя горелки следует отрегулировать так, чтобы оно было синее, размытое с жёлтым языком. **Остроконечное синее пламя не допускается.** Пламя горелки при усадке элементов муфты должно постоянно перемещаться, чтобы не повредить усаживаемый материал.

7.2.15. Во избежание случайных пожаров и взрывов при эксплуатации газовых горелок, необходимо проверять соединительные узлы на предмет утечек. Для минимизации вреда от газов, выделяющихся при эксплуатации газовых горелок, следует обеспечить достаточную вентиляцию рабочего места (при монтаже в замкнутых помещениях).

7.2.16. Запрещается проводить работы при механических повреждениях и разгерметизации шлангов горелок и шланговых соединений, работать в промасленной одежде, использовать промасленный инструмент.

7.2.17. Все поверхности, которые будут контактировать с клеем, должны быть очищены при помощи непроводящей наждачной (абразивной) шкурки шероховатостью 120 (или меньше) и обезжирены уайт-спиритом, бензином или салфетками, пропитанными изопропиловым спиртом.

7.2.18. Недопустимо использование каких-либо монтажных паст и герметиков, кроме тех, которые поставляются предприятием-производителем в комплекте.

7.2.19. Перед началом монтажа следует проверить по комплектационной ведомости наличие деталей в комплекте, соответствие комплекта сечению кабеля, а также подготовить рабочее место, необходимые инструменты и приспособления.

7.2.20. Термоусаживаемые трубки следует обрезать острым ножом, оставляя при этом ровные гладкие кромки без заусенцев. При усадке трубок необходимо следить за тем, чтобы они усаживались равномерно по всей окружности по мере продвижения вдоль кабеля. После усадки поверхность трубки должна быть гладкой и без морщин, а профиль внутренних компонентов должен чётко просматриваться.

7.2.21. Процесс монтажа должен быть непрерывным до полного его окончания. При этом необходимо соблюдать чистоту рук и инструмента (все инструменты и приспособления должны быть очищены от грязи и смазок). Для предотвращения попадания влаги и пыли в область соединения, необходимо располагать концы кабелей на подставках. Монтажная площадка должна быть оборудована тентом (палаткой), рабочая одежда персонала должна быть чистой.

7.2.22. Для облегчения снятия оболочки кабеля допускается её прогревание до температуры, не превышающей 50 °С.

7.2.23. Полупроводящие экраны по изоляции кабелей должны сниматься только специально предназначенным для этого инструментом так, чтобы обеспечить гладкую и равномерно круглую поверхность изоляции без бугров, заусенцев и пятен неснятого экрана. Инструмент должен быть настроен так, чтобы снимался только слой полупроводящего экрана. Глубина срезания экрана должна регулироваться таким образом, чтобы срез экрана был выполнен в виде фаски. **Запрещается использование ножа или любого другого острого режущего инструмента при разметке кабеля, а также повторное снятие электропроводящего экрана специальным инструментом.**

7.2.24. После использования инструмента поверхность изоляции должна быть отполирована вручную или с помощью шлифовальной машинки с использованием сетки №220 (с покрытием оксидом алюминия) и затем сетки №400.

7.2.25. После срыва головок винтов наконечников необходимо обработать наконечники напильником (или любым другим абразивным инструментом), чтобы убрать возможные заусенцы.

7.2.26. Радиус изгиба жил кабеля (при условии отсутствия специальных шаблонов) должен быть не менее пятнадцатикратного диаметра жилы по изоляции.

7.2.27. Прежде чем подвергнуть установленную кабельную муфту какому-либо механическому воздействию необходимо дать ей остыть до температуры не более 50 °С.

8 Защита кабельных линий от перенапряжений

8.1 Грозовые и коммутационные перенапряжения

8.1.1. Согласно требованиям ПУЭ (7 издание, п. 4.2.150, 4.2.153, 4.2.154), в случае присоединения ВЛ 3-20 кВ к ПС с помощью кабельной вставки в месте присоединения кабеля к ВЛ должны быть установлены защитные аппараты. В качестве защитных аппаратов следует использовать ОПН. Заземляющий зажим ОПН, металлические оболочки кабеля, а также корпус кабельной муфты должны быть соединены между собой по кратчайшему пути.

8.1.2. Кабельные вставки 35-110 кВ при их длине менее 1,5 км должны быть защищены по обоим концам кабеля от грозовых перенапряжений при помощи ОПН. При длине кабеля 1,5 км и более на ВЛ с металлическими и железобетонными опорами установка ограничителей перенапряжений по концам кабеля не требуется.

8.1.3. Кабельные вставки в ВЛ напряжением до 20 кВ, длиной 1,0 км и более не требуют защиты от грозовых перенапряжений.

8.1.4. При присоединении трансформатора к РУ кабельной линией 110 кВ и выше в месте присоединения кабеля к шинам РУ с ВЛ должен быть установлен комплект ОПН. Заземляющий зажим ОПН должен быть присоединен к металлическим оболочкам кабеля. В случае присоединения к шинам РУ нескольких кабелей, непосредственно соединенных с трансформаторами, на шинах РУ устанавливается один комплект ОПН. Место их установки следует выбирать возможно ближе к местам присоединения кабелей.

8.1.5. Для защиты от грозовых перенапряжений в сетях 6-35 кВ необходимо устанавливать ОПН в местах сети с ослабленной изоляцией (в случае кабельных линий – у кабельных муфт).

8.1.6. Для защиты от грозовых перенапряжений в сетях 110 кВ обязательно устанавливать ОПН в непосредственной близости от кабельных муфт в местах их присоединения к ВЛ или к ошиновке РУ.

8.1.7. Согласно п. 5.11.13 ПТЭ электрических станций и сетей РФ «в установках с вакуумными выключателями, как правило, должны быть предусмотрены мероприятия по защите от коммутационных перенапряжений. Отказ от защиты от перенапряжений должен быть обоснован».

8.1.8. Установка защитных аппаратов (в частности, ОПН) на присоединениях, коммутируемых масляными или элегазовыми выключателями, а также на присоединениях с вакуумными выключателями, коммутирующими ВЛ-35 кВ, не требуется. В последнем случае установка защитных аппаратов обязательна на оборудовании, питаемом по ВЛ-35 кВ.

8.1.9. Высокочастотные перенапряжения, генерируемые вакуумным выключателем и не ограничиваемые с помощью ОПН, негативно воздействуют на межвитковую изоляцию двигателей и трансформаторов, а также полимерную изоляцию кабелей СПЭ, снижая ее ресурс. В первом случае это связано с

высокими градиентами перенапряжений, приложенных к более слабой относительно основной межвитковой изоляции, а во втором – с ускоренным прорастанием электрических (электрохимических) трингов и активным развитием частичных разрядов в сшитой полиэтиленовой изоляции кабелей при коммутациях КЛ вакуумным выключателем.

8.1.10. Задача ограничения коммутационных перенапряжений и защиты оборудования сегодня решается в основном следующими методами:

- включение ОПН либо *RC*-цепочек по схеме «фаза-земля» на всех трех фазах сети непосредственно за вакуумным выключателем или, что более эффективно, на зажимах защищаемого оборудования;
- включение ОПН либо *RC*-цепочек между фазами в начале питающего кабеля по схеме «фаза-фаза» (треугольником) непосредственно за вакуумным выключателем.

8.1.11. ОПН, применяемые для защиты коммутируемого оборудования, при установке в ячейке вакуумного выключателя неэффективны. Это связано со с тем, что ОПН практически не влияет на количество повторных пробоев в вакуумной камере и не снижает перенапряжения с крутыми фронтами (условно с частотой от 100 кГц до 10 МГц), которые генерируются любым вакуумным выключателем, независимо от его типа.

8.1.12. Порог срабатывания ОПН достигается, как правило, на уровне $3,5U_{\phi}$ и выше, что может быть вызвано только эскалацией перенапряжений за счет повторных пробоев в вакуумной дугогасительной камере. Уровни перенапряжений, генерируемые современными вакуумными выключателями и регистрируемые за выключателем, в эксплуатации не превышают, как правило, $(2,5-3,0)U_{\phi}$, что ниже порога срабатывания ОПН. Уровни коммутационных перенапряжений на конце питающего кабеля могут превышать $3,5U_{\phi}$, поэтому установка защитных аппаратов обоснована только на зажимах подключенного оборудования.

8.1.13. Схема включения ОПН между фазами по схеме «фаза-фаза» (треугольником) технически необоснованна и неприемлема в эксплуатации.

8.1.14. Приемлемым вариантом для защиты от коммутационных перенапряжений являются *RC*-цепочки, представляющие собой безынерционные фильтры, которые снимают проблему высокочастотных перенапряжений с крутым фронтом. Ограничение перенапряжений при коммутациях вакуумных выключателей, при правильном выборе параметров *RC*-цепочек, происходит до значений $(2,2-3,0)U_{\phi}$, т.е. более глубокого уровня, чем при наличии ОПН.

8.1.15. Установка *RC*-цепочек по схеме «фаза-земля» в схемах подстанций и РП с большим числом присоединений, коммутируемых вакуумными выключателями, нецелесообразна. Это связано с существенным повышением емкостного тока замыкания на землю сети.

8.1.16. Эффективным средством кардинальной борьбы с высокочастотными перенапряжениями при коммутациях вакуумными выключателями яв-

ляются *RC*-цепочки, которые включаются между фазами по схеме «треугольник» непосредственно за выключателем. Этот метод технически обоснован и запатентован (д.т.н. Качесов В.Е.; пат. RU 2305887 С2). Область его использования ограничена высоковольтными сетями 6-10 кВ, преимущественно на фидерах с электродвигателями. Применение такой схемы защиты целесообразно также для ограничения коммутационных перенапряжений на присоединениях с трансформаторами и требует обоснования.

8.1.17. Наиболее адекватным методом ограничения высокочастотных перенапряжений, сопровождающих коммутации вакуумным выключателем, является применение специальных продольных устройств на основе электропроводной керамики, которые свободны от недостатков, присущих *RC*-цепочкам и ОПН. Принцип действия таких ограничителей заключается в демпфировании высокочастотных составляющих перенапряжения собственной индуктивностью. Указанные устройства в настоящее время разрабатываются.

8.1.18. За отсутствием типовых решений по защите СПЭ изоляции коммутируемых КЛ при выборе мер защиты от высокочастотных перенапряжений следует руководствоваться следующими положениями:

- ОПН целесообразно устанавливать в трех фазах по схеме «фаза-земля» за кабелем на зажимах защищаемого оборудования; включение *RC*-цепочек по схеме «фаза-земля» в конце кабеля вместо ОПН в общем случае не рекомендуется (по причине невысокой надежности силовых конденсаторов) и требует обоснования;
- защита трансформаторной нагрузки может осуществляться включением *RC*-цепочек между фазами в начале питающего кабеля по схеме «фаза-фаза» (треугольником) непосредственно за вакуумным выключателем; этот вариант должен быть обоснован расчетом и практически реализуем;
- защита трансформаторов от коммутационных перенапряжений на присоединениях с вакуумными выключателями не требуется, если ОПН на стороне 6-35 кВ силового трансформатора установлены по условию грозозащиты либо при условии, что емкость питающего кабеля на землю составляет не менее 0,2 мкФ;
- при выборе коммутационного аппарата, если заранее известно, что он будет эксплуатироваться на присоединении с КЛ на основе кабелей с изоляцией СПЭ, предпочтение должно отдаваться элегазовым или жидкостным выключателям.

8.1.19. Защита от перенапряжений путем установки

8.1.20. Для защиты изоляции кабелей «жила-экран» от грозовых перенапряжений применяются типовые ОПН соответствующего класса напряжения сети, основной задачей которых является по факту защита питаемого по КЛ оборудования.

8.1.21. Выбор наибольшего рабочего напряжения ОПН 6-35 кВ в сетях, имеющих резистивное заземление нейтрали, должен проводиться на основе

расчетов с учетом величины резистора и максимальной длительности существования режима однофазного замыкания на землю. Второй ключевой характеристикой является энергоемкость ОПН (класс разряда линии по классификации МЭК). Остальные характеристики ОПН могут быть определены упрощенно.

8.1.22. Для защиты изоляции «экран-земля» (защиты оболочки) применяются ОПН, устанавливаемые в незаземленных концах экранов и в узлах транспозиции. Положение справедливо только для КЛ 35-110 кВ.

8.1.23. В табл. № 14 даны рекомендации по применению специальных ОПН, предназначенных для защиты изоляции экрана и устанавливаемых между экраном и заземленными элементами электроустановки.

Табл. № 14 – Рекомендации по применению ОПН для защиты изоляции экранов кабелей

Напряжение кабеля	Рекомендации по установке ОПН для защиты изоляции экранов кабелей
6-10 кВ	ОПН не обязательны
35-110 кВ	ОПН нужны и должны быть установлены в соответствии с табл. № К.1 Приложения К

8.1.24. Характеристики ограничителя перенапряжений, предназначенного для защиты изоляции экрана кабеля (оболочки), должны выбираться исходя из двух основных критериев:

- обеспечения надежной защиты изоляции экрана (оболочки) при грозовых и коммутационных перенапряжениях;
- обеспечения надежной работы самого ОПН в нормальном режиме и при коротких замыканиях в сети.

8.1.25. Выбор характеристик ОПН для защиты изоляции экрана кабеля (оболочки) сводится к определению его длительного наибольшего рабочего напряжения $U_{НРО}$ и энергоемкости $W_{уд}$ с последующей проверкой достаточности в конкретных условиях эксплуатации прочих характеристик (остающихся напряжений, токов взрывобезопасности и пр.) такого ОПН.

8.1.26. Наибольшее (длительно допустимое) рабочее напряжение ОПН, кВ – наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты $U_{НРО}$, которое неограниченно долго может быть приложено к ОПН (при напряжении большем, чем наибольшее рабочее, ток через ОПН начинает заметно возрастать, что может привести перегреву и повреждению аппарата).

8.1.27. Удельная рассеиваемая (поглощаемая) энергия (энергоемкость), кДж/кВ – рассеиваемая ограничителем энергия $W_{уд}$ одного импульса (иногда – двух импульсов) тока пропускной способности $I_{п}$, отнесенная к наибольшему рабочему напряжению ОПН (иногда к номинальному

напряжению ОПН), полученная в процессе испытаний ОПН, используемая для классификации ОПН и характеризующая его способность рассеивать энергию коммутационных перенапряжений.

8.1.28. Остающееся напряжение ОПН, кВ – наибольшее значение напряжения на ОПН при протекании через него импульса тока указанного максимального значения и формы. Остающееся напряжение определяется при импульсных токах стандартной формы (грозовой импульс – ток формы 8/20 мкс, коммутационный импульс – ток формы 30/60 мкс).

8.1.29. Выбор ОПН производится в следующей последовательности:

- предварительное определение U_{HPO} ;
- проверка того, что ОПН с выбранным U_{HPO} имеет остающееся напряжение $U_{8/20}$ и $U_{30/60}$, позволяющие в полной мере обеспечить защиту;
- определение энергии W , которая может выделяться в ОПН с выбранным U_{HPO} , и вычисление энергоемкости $W_{уд} = W/U_{HPO}$.

8.1.30. Выбор U_{HPO} основан на результатах расчетов напряжения промышленной частоты $U_э$ на экране относительно земли в месте установки ОПН (или на разземленном конце экрана, или в узле транспозиции):

$$U_{HPO} \geq \frac{U_э}{K_{H-B}(T)}, \quad (7)$$

где $K_{H-B}(T)$ – типовая характеристика «напряжение-время» в относительных единицах U_{HPO} рабочего напряжения ОПН (см. табл. №15).

Табл. № 15 – Характеристика «напряжение-время» современных ОПН

Длительность Т приложения повышенного напряжения	Допустимая кратность $K_{H-B}(T)$ превышения напряжения на ОПН, не менее
0.1 с	1.40
1 с	1.35
10 с	1.30
100 с	1.23
1200 с	1.15
3600 с	1.10

В соответствии с рекомендациями по выбору способа заземления экрана, должно быть обеспечено неравенство

$$U_э \leq U_э^{доп}, \quad (8)$$

где $U_э^{доп} = 5$ кВ или 10 кВ (соответствует испытательному напряжению оболочки в зависимости от рекомендаций производителей кабелей).

8.1.31. ОПН с рабочим напряжением U_{HPO} будет иметь остающееся напряжение в режиме ограничения грозовых и коммутационных перенапряжений $U_{8/20}$ и $U_{30/60}$. Связь остающихся напряжений $U_{8/20}$, $U_{30/60}$ и напряжения U_{HPO} следующая

$$U_{8/20} = (\sqrt{2} \cdot U_{HPO}) \cdot K_{8/20}, \quad (9)$$

$$U_{30/60} = (\sqrt{2} \cdot U_{HPO}) \cdot K_{30/60}, \quad (10)$$

где $K_{8/20}$ и $K_{30/60}$ – соответственно кратности ограничения грозовых и коммутационных перенапряжений, которые для современных ОПН, как правило, близки к $K_{8/20} = 2.1$ и $K_{30/60} = 1.9$.

Если напряжения $U_{8/20}$ и $U_{30/60}$ с запасом меньше импульсной прочности оболочки кабеля при перенапряжениях, то выбор ОПН произведен правильно. Если напряжение $U_{8/20}$ и $U_{30/60}$ выше импульсной прочности оболочки, то необходимо использовать ОПН с более низким значением U_{HPO} , что оказывается возможным за счет снижения воздействующих на ОПН напряжений промышленной частоты U_{Σ} , достигаемого увеличением числа K односторонне заземленных секций экрана или увеличением числа N циклов транспозиции.

8.1.32. Если в качестве исходных условий принять $U_{\Sigma}^{доп} = 5$ кВ при расчетном времени термической стойкости экрана 1 с, то $U_{HPO} \geq 5/1,37 = 3,7$ кВ. С другой стороны, при допустимом импульсном напряжении для оболочки $U_{8/20} = 40$ кВ и $K_{8/20} = 2,1$ получим $U_{HPO} = 13,5$ кВ. Таким образом, для защиты оболочки кабеля при разземленном либо транспонированном экране подходят стандартные ОПН с рабочим напряжением в диапазоне $U_{HPO} = (3,7 \dots 13,5)$ кВ классов напряжения 3-10 кВ.

8.1.33. С точки зрения эффективной защиты от перенапряжений оболочки кабеля 35-110 кВ при разземленном или транспонированном экране предпочтение следует отдавать типовым ОПН класса напряжения 6 кВ. Это обусловлено их компактностью и более глубоким уровнем ограничения перенапряжений. При расчетном обосновании допускается применение ОПН класса 3 кВ.

8.1.34. Необходимая и достаточная энергоемкость ОПН для защиты оболочки кабеля при разземленном или транспонированном экране составляет $W_{удmin} = 1$ кДж/кВ (1 класс разряда линии) для любых КЛ напряжением 35-110 кВ.

8.2 Перенапряжения при однофазных замыканиях на землю

8.2.1. Для защиты кабельных линий 6-35 кВ с полимерной изоляцией от перенапряжений, возникающих при однофазных замыканиях на землю, следует применять устройства релейной защиты с преимущественным действием на отключение повреждаемых линий и автоматическим включением резерва, в том числе быстродействующим. В исключительных случаях при отсутствии резервирования или невозможности быстрого отключения замыкания на землю по иным соображениям допускается сохранение электроснабжения потребителей по поврежденной кабельной линии (например, если она является единственным вводом на секцию 6-35 кВ). Время удержания ОЗЗ не должно превышать 1 часа.

8.2.2. Эксплуатация сетей напряжением 6-35 кВ в режиме изолированной нейтрали не допускается. Это связано с необходимостью кар-

динального снижения повреждаемости оборудования за счет множественных повреждений при замыканиях на землю.

8.2.3. Для ограничения перенапряжений, локализации развития повреждений, повышения электробезопасности и надежности КЛ в смешанных кабельно-воздушных сетях следует применять включаемые параллельно с резисторами дугогасящие реакторы плунжерного типа с автоматическими регуляторами настройки компенсации на принципе контроля параметров контура нулевой последовательности (комбинированное заземление нейтрали, вводится при необходимости компенсации емкостного тока согласно требованиям ПУЭ и ПТЭ) или резистивное заземление нейтрали (согласно ПУЭ и ПТЭ компенсация емкостного тока не требуется).

8.2.4. Применение высокоомного резистивного и комбинированного заземления нейтрали сопровождается соответствующим техническим обоснованием. При этом должен быть предусмотрен выбор типов релейных защит от ОЗЗ, которые обеспечат гарантированную селективность выявления поврежденного фидера при заданном токе нулевой последовательности с учетом его активной составляющей.

8.2.5. В кабельных сетях с изоляцией из сшитого полиэтилена целесообразно применение низкоомного резистивного заземления нейтрали, поскольку применение данного типа кабелей с отсутствием эффекта восстановления электрической прочности пробитой изоляции требует организации релейной защиты с действием на отключение ОЗЗ. Такое решение обосновано также тем, что в российских сетях 70-75% устойчивых и неотключенных замыканий на землю переходят в КЗ. В кабелях с изоляцией СПЭ время развития ОЗЗ до перехода в КЗ не превышает, как правило, 1 минуты.

8.2.6. Включение кабелей с изоляцией СПЭ в существующую сеть или кабельных вставок СПЭ в существующие линии электропередачи требует пересмотра текущего режима нейтрали рассматриваемой сети 6-35 кВ:

- если в нейтрали сети уже включен высокоомный или низкоомный резистор, следует выполнить расчет уставок защит от замыканий на землю и проверить их достаточную селективность и чувствительность для тех присоединений, где вводятся в эксплуатацию кабели с изоляцией СПЭ; при необходимости следует настроить или заменить устройства РЗА на указанных присоединениях;
- если нейтраль сети изолирована или заземлена через ДГР, необходимо выполнить расчет; выбор и установку в нейтраль сети в центре питания резисторов соответствующего номинала; с обеспечением гарантированной селективности релейных защит от ОЗЗ и преимущественным действием на отключение присоединений с кабелями СПЭ; удержание ОЗЗ на таких присоединениях допускается в исключительных случаях (п. 7.2.1) и на время не более 1 часа – с учетом замечания, изложенного в п. 4.2.7.

8.2.7. Низкоомное резистивное заземление нейтрали в сети 6-35 кВ с кабелями с изоляцией СПЭ позволяет:

- использовать однофазные кабели с минимальным расчетным сечением экрана;
- минимизировать токи и дополнительные потери мощности в экранах при условиях их малого сечения и прокладки фаз кабелей сомкнутым треугольником;
- обеспечить селективность релейных защит от ОЗЗ независимо от режима работы сети;
- устранить множественные повреждения оборудования и снизить аварийность по сравнению с существующими показателями для сетей с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов.

8.2.8. При низкоомном заземлении нейтрали используется резистор, создающий ток в пределах 40-2000 А. Величина тока, создаваемого резистором, выбирается исходя из решения двух важных задач:

- селективно определить поврежденное присоединение (за счет применения простых релейных защит, действующих на отключение);
- существенно ограничить уровень дуговых перенапряжений при ОЗЗ и исключить феррорезонансные процессы.

8.2.9. Основным критерием выбора низкоомного резистора для заземления нейтрали является превышение активного тока над емкостным током ОЗЗ в $2,5 \div 3$ раза:

$$I_R \geq (2,5 \div 3) I_{OЗЗ}, \Rightarrow R_N \leq \frac{U_\Phi}{(2,5 \div 3) I_{OЗЗ}} \quad (11)$$

При малых токах ОЗЗ (порядка 0,1-10 А) целесообразно скорректировать номинал низкоомного резистора так, чтобы активная составляющая тока была не менее 40-50 А, т.к. именно такой ток позволит обеспечить переход перемежающегося характера горения дуги в устойчивое и будет достаточным для надежной работы релейной защиты от ОЗЗ с действием на отключение поврежденного присоединения.

8.2.10. Для низкоомного резистора необходимо предусмотреть возможность автоматического отключения присоединения с нейтралеобразующим устройством, в нейтраль которого подключается резистор, если замыкание на землю в сети не будет отключено в течение времени, меньшего, чем максимальное рабочее время резистора.

8.2.11. Наиболее распространенным способом включения низкоомного резистора в нейтраль сети является установка специального трансформатора ТЗН со схемой соединения обмоток $Y_0/\Delta-11$, мощность которого выбирается по условию:

$$S_T \geq \frac{U^2}{3 \cdot k_{\text{пер}} \cdot R_N}, \text{ кВА}, \quad (12)$$

где $k_{пер} = 1,4 \div 2,0$ – коэффициент перегрузки трансформатора, принимается исходя из кратковременной работы низкоомного резистора в режиме ОЗЗ.

8.2.12. При наличии ТСН со схемой соединения обмоток Y_0/Δ допускается включение резистора в нейтраль обмотки высшего напряжения (см. рис. № 5а) при условии проверки термической стойкости ТСН в режиме ОЗЗ по условию:

$$I_{доп} = \sqrt{(1,1 \cdot I_{ном})^2 - \left(\frac{I_p}{3}\right)^2}, \quad (13)$$

где

I_p – ток через резистор в режиме ОЗЗ, А;

$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U}$ – номинальный ток ТСН, А.

8.2.13. Также для включения низкоомного резистора в нейтраль сети может использоваться специальный сетевой фильтр нулевой последовательности ФМЗО (см. рис. № 5б).

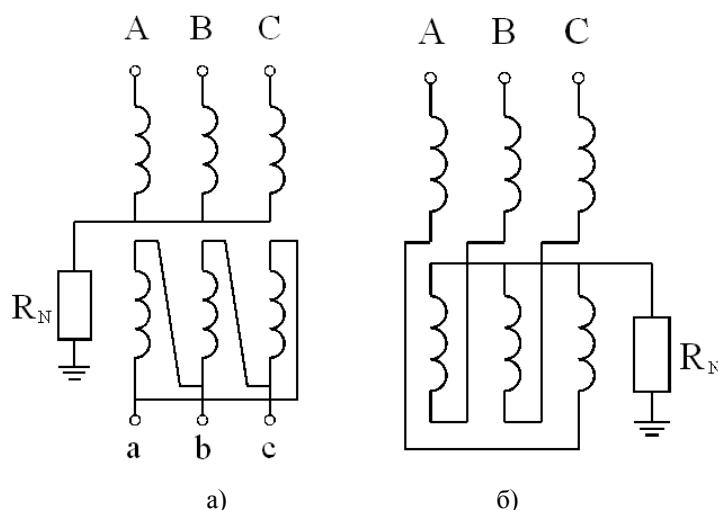


Рис. № 5 – Схема подключения резистора в нейтраль ТСН (а) и ФМЗО (б)

8.3 Рекомендации по настройке устройств релейной защиты и автоматики

8.3.1. Использование кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена требует применения релейной защиты с действием на отключение ОЗЗ.

8.3.2. Защиты от ОЗЗ в кабельной сети с изоляцией из сшитого полиэтилена должны удовлетворять таким требованиям, как селективность, быстродействие, чувствительность и надежность.

8.3.3. Обеспечить селективное срабатывание релейной защиты с действием на отключение ОЗЗ позволит применение низкоомного резистивного заземления нейтрали сети, при котором соблюдается критерий

превышения активного тока от резистора (I_R) над емкостным током ОЗЗ секции шин сети ($I_{C_{OЗЗ}}$):

– при $0,1 \text{ A} \leq I_{C_{OЗЗ}} \leq 10 \text{ A}$ должно выполняться следующее условие:

$$I_R \geq 40 \text{ A} \quad (14)$$

– при $I_{C_{OЗЗ}} \geq 10 \text{ A}$ должно выполняться следующее условие:

$$I_R \geq (2,5 \div 3) \cdot I_{C_{OЗЗ}} \quad (15)$$

8.3.4. Активный ток от резистора протекает только через повреждённое присоединение в режиме ОЗЗ, в то время как через остальные присоединения протекает только собственный ёмкостный ток нулевой последовательности, от которого защита должна быть надёжно отстроена.

8.3.5. Релейная защита от ОЗЗ устанавливается на всех присоединениях с действием на отключение этих присоединений. Если кабельная линия состоит из нескольких параллельных кабелей, то ТТНП устанавливаются на каждом кабеле, а их вторичные обмотки соединяются параллельно.

8.3.6. При отказе защит по отключению повреждённого присоединения должно быть выполнено резервное действие защит от ОЗЗ по отключению секции (ввода), к которой присоединено повреждённое присоединение, с целью защиты резистора от термического повреждения и предотвращению работы сети в режиме ОЗЗ с большим током повреждения.

8.3.7. При ОЗЗ на секции шин, к которой подключен резистор, защита должна отключать секцию (ввод).

8.3.8. Согласование защит разных подстанций необходимо производить путем установки разных выдержек времени срабатывания, если это допустимо по условиям электробезопасности, с шагом селективности 0,3-0,5 секунды (в зависимости от рекомендаций производителя защит), при этом максимальная выдержка времени должна быть у защит от замыканий на землю питающей подстанции.

8.3.9. Пуск защит от замыканий на землю рекомендуется осуществлять по напряжению нулевой последовательности с уставкой реле не менее 10 В (рекомендуемое значение - 30 В). При наличии дугогасящего реактора в сети уставка реле должна составлять не менее 15 В.

8.3.10. Применение АПВ на кабельных линиях 6-110 кВ после отключения ОЗЗ следует исключить по причине возможного перехода ОЗЗ в междуфазные короткие замыкания. На кабельно-воздушных линиях 35-110 кВ допускается однократное АПВ. Выбор варианта АПВ (однократное, двукратное, отказ от АПВ) на кабельно-воздушных линиях 6-20 кВ осуществляется для конкретной сети по результатам анализа количества успешных и неуспешных АПВ в текущих условиях эксплуатации сети.

8.3.11. В зависимости от ряда факторов, в числе которых режим заземления нейтрали, схема сети, соотношение токов, требования к РЗА и пр., выбирается тип устанавливаемой на отходящем присоединении защиты.

На практике чаще всего защита от ОЗЗ организуется на базе терминала защиты отходящего присоединения, в котором предусмотрена соответствующая

щая функция и вход для подключения ТТНП и напряжения нулевой последовательности ТН.

8.3.12. При низкоомном резистивном заземлении нейтрали с активной составляющей тока ОЗЗ порядка 40А и более и применении ТТНП, как правило, достаточно простой ненаправленной токовой защиты с независимой времятоковой характеристикой.

Входным сигналом для данной защиты является ток нулевой последовательности ТТНП, установленного на отходящем присоединении.

8.3.13. Существует два условия выбора тока срабатывания защиты: несрабатывание защиты при внешнем ОЗЗ

– Защита отстраивается от максимального собственного емкостного тока защищаемого присоединения. Ток срабатывания защиты определяется по выражению:

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot k_{бр} \cdot I_{с. \text{ фид. max}}, \text{ А}, \quad (16)$$

где

$k_n = 1,2$ – коэффициент надежности;

$k_{бр} = 3 \div 5$ – коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока в момент возникновения ОЗЗ, а также способность реле реагировать на него;

$I_{с. \text{ фид. max}}$ – максимальное значение собственного емкостного тока защищаемого присоединения при внешнем ОЗЗ.

В каждом конкретном случае при выборе уставок срабатывания необходимо руководствоваться рекомендациями изготовителя защиты.

– срабатывание (чувствительность) защиты при ОЗЗ на защищаемом присоединении:

$$k_q = \frac{I_{ОЗЗ}}{I_{с.з.}} = 1,5 \dots 2, \quad (17)$$

где

$I_{ОЗЗ}$ – минимально возможный полный ток ОЗЗ (геометрическая сумма суммарного емкостного тока и активного тока резистивного заземления), протекающий через защиту при ОЗЗ на защищаемом присоединении.

На практике выбор уставки срабатывания защиты отходящего присоединения целесообразно осуществлять по требуемому коэффициенту чувствительности k_q . Тогда ток срабатывания защиты определяется по выражению

$$I_{с.з.} = \frac{I_{\min}}{k_q}, \text{ А}, \quad (18)$$

где

$I_{\min}$ – минимальный ток, протекающий через защиту в режиме ОЗЗ на защищаемом присоединении, А.

Если емкостный ток ОЗЗ секции шин сети значительно меньше активного $I_{с. \text{ ОЗЗ}} \ll I_R$, то

$$I_{\min} \approx I_R = \frac{U_{\phi}}{R_N}, \text{ A}, \quad (19)$$

где

U_{ϕ} – фазное напряжение сети, В;

R_N – сопротивление резистора, Ом.

Полученная величина уставки должна быть проверена по условию несрабатывания при внешнем повреждении.

8.3.14. Пример расчета защиты от замыкания на землю представлен в Приложении А.

9 Эксплуатация и техническое обследование кабельных линий

9.1 Общие положения и методические основания

9.1.1 После приемки кабельной линии в эксплуатацию эксплуатирующая организация должна оформить всю техническую документацию по данной кабельной линии согласно **Приложению Л**. На каждую кабельную линию должен быть составлен паспорт, содержащий необходимые технические данные по линии и систематически пополняемый сведениями по ее испытаниям, ремонту и обслуживанию в эксплуатации. Расчетные длительно допустимые значения токов и допустимые значения перегрузок должны быть записаны в паспорте кабельной линии.

9.1.2 При неравномерности распределения токов более 10 %, когда отдельные кабели лимитируют пропускную способность группы кабелей, должны быть приняты меры по выравниванию токов по фазам одним из следующих способов:

- перекладка кабелей;
- пересоединение (перезаводка) концов кабелей;
- транспозиция кабелей одной КЛ.

9.1.3 Измерение температуры окружающего воздуха в кабельных сооружениях и в производственных помещениях, температуры грунта в местах пересечения кабелей с теплопроводами производится в сроки устанавливаемые местными инструкциями.

9.1.4 Если в результате измерений и проверок будет обнаружено превышение допустимых токов или температур, то рекомендуется:

- улучшить вентиляцию в туннелях и каналах;
- заменить траншейные прокладки с большим количеством кабелей прокладками в туннелях и каналах хотя бы простейших типов (с технико-экономическим обоснованием);
- применить вставки кабелей большего сечения;
- применить дополнительную теплоизоляцию теплопроводов в места пересечений их с кабелями;
- увеличить расстояния между кабелями в траншеях для уменьшения взаимного теплового влияния;
- засыпать траншеи более теплопроводящим грунтом.

9.1.5 Объектами технического обследования (осмотра, измерений, испытаний повышенным напряжением, диагностирования и т.д.) в рамках настоящего Стандарта являются:

- кабели силовые напряжением 6, 10, 35 и 110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена;

- соединительные (в том числе транспозиционные) и концевые кабельные муфты и заделки;
- ОПН, установленные в одной или нескольких точках КЛ, а также на зажимах питаемого по КЛ оборудования и за выключателем, коммутирующим данную линию;
- контактные соединения кабельной линии;
- трасса кабельной линии.

9.1.6 Целью работ по техническому обследованию кабельных линий напряжением 6-110 кВ в рамках настоящего Стандарта является:

- определение текущего технического состояния КЛ 6-110 кВ с изоляцией СПЭ; состояния ЗУ кабельной линии;
- разработка рекомендаций по планированию диагностических обследований, испытаний, ремонтов и иным видам неразрушающего контроля КЛ в процессе эксплуатации.

9.1.7 Технические обследования КЛ напряжением 6 – 110 кВ с СПЭ-изоляцией в соответствии с настоящим Стандартом производятся персоналом филиалов и производственных отделений ОАО «Ленэнерго» и/или аттестованным персоналом подрядных организаций, выполняющих работы по диагностированию и энергетическим обследованиям в соответствии с заключенными договорами.

9.1.8 Проведение технических обследований, в том числе испытаний повышенным напряжением и диагностирования КЛ с СПЭ-изоляцией, может осуществляться с помощью передвижных высоковольтных электротехнических лабораторий, прошедших регистрацию в органах Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору.

9.1.9 При выполнении работ по техническому обследованию КЛ с СПЭ-изоляцией необходимо соблюдать соответствующие требования и указания, изложенные в ПТЭ электрических станций и сетей Российской Федерации, ПОТ Р М-016-2001, ПУЭ, а также указания, изложенные в инструкциях и руководствах по эксплуатации на используемые приборы и оборудования.

9.1.10 Техническое обследование КЛ с СПЭ-изоляцией в общем случае включает следующие основные виды работ:

- сбор и анализ технической документации на КЛ;
- визуальный осмотр, контроль заземления и тепловизионный контроль КЛ;
- импульсный рефлектометрический контроль КЛ;
- испытания основной изоляции и полимерной оболочки КЛ повышенным напряжением;
- диагностирование КЛ с применением методов интегральной оценки состояния изоляции ($\text{tg}\delta$, изотермический ток релаксации) и метода локализации ЧР.

Иные измерения параметров КЛ (определение целостности жил кабелей и фазировка КЛ, измерение сопротивления жил кабеля для линий на напряжение 20 и 35 кВ, измерение рабочей емкости кабелей), при необходимости, производятся в соответствии с требованиями ПУЭ и РД 34.45-51.300-97.

9.1.11 Для повышения надежности КЛ с СПЭ-изоляцией необходимо переходить к щадящим методам контроля в эксплуатации на основе испытаний напряжением СНЧ либо промышленной частоты, с исключением приемо-сдаточных и профилактических испытаний выпрямленным напряжением.

9.2 Анализ технической документации на КЛ

9.2.1. Анализ технической документации на обследуемую КЛ с СПЭ-изоляцией выполняется в следующих целях:

- получение сведений о дате ввода КЛ в эксплуатацию, типе кабеля, типах установленных муфт, трассе КЛ, о проводившихся испытаниях и ремонтах;
- установление соответствия фактических условий эксплуатации КЛ паспортным данным;
- определение динамики изменения технического состояния КЛ;
- получение базовой информации для прогнозирования технического состояния и разработки рекомендаций по эксплуатации и ремонтам.

9.2.2. При анализе следует ознакомиться с оценками технического состояния КЛ персонала электросетевого предприятия, а также изучить следующую документацию:

- документацию завода – изготовителя кабеля;
- проект кабельной линии;
- кабельный журнал; схему электроснабжения объекта;
- протоколы периодических измерений и испытаний;
- акты выполненных ремонтных работ и протоколы последующих за ними испытаний.

9.2.3. Особое внимание необходимо уделить анализу сведений о повреждениях кабеля и причинах повреждений (электрические, механические).

9.2.4. По результатам анализа технической документации может быть составлена или детализирована Программа работ по техническому обследованию КЛ с учетом особенностей эксплуатации и документально подтвержденного текущего состояния обследуемой линии. Состав программы работ определяется необходимым объемом технического обследования в зависимости от местных производственных условий, в том числе нормативных сроков испытаний и заключений предшествующих обследований и диагностических.

9.3 Визуальный осмотр, контроль заземления и тепловизионный контроль КЛ

9.3.1. Визуальный контроль КЛ проводится для обнаружения видимых повреждений, определения состояния элементов КЛ (участков кабеля, соединительных и концевых муфт и др.) и трассы КЛ (эстакады, короба, проходки и др.). Особое внимание рекомендуется уделять участкам КЛ, расположенных в кабельных проходках, в стенах и перекрытиях помещений.

9.3.2. При осмотре выявляются кабели с видимыми дефектами и нарушениями наружных оболочек (трещины, вздутия, разбухания, порезы, сколы, вмятины и т.д.).

9.3.3. При осмотре КЛ определяются следующие потенциально опасные места:

- участки кабелей с максимальными радиусами изгибов и, при наличии таковых, точки крепления к несущим конструкциям;
- участки кабелей в зонах постоянных механических вибраций;
- участки кабелей, примыкающие к острым кромкам корпусов оборудования и конструкций;
- участки кабелей около осветительных и нагревательных приборов;
- места присоединений кабелей к шинам и вводам запитанного оборудования;
- соединительные и концевые муфты;
- кабельные колодцы и шкафы (ящики) транспозиции.

9.3.4. При обнаружении внешних повреждений на участке по крайней мере одного кабеля рекомендуется выполнить тщательный осмотр кабелей, расположенным в непосредственной близости от него.

9.3.5. Для детального рассмотрения удаленных объектов и фиксирования дефектов рекомендуется применять цифровой фотоаппарат с достаточным оптическим увеличением.

9.3.6. Результаты проведенного визуального контроля и рекомендации по необходимости проведения ремонтных работ фиксируются в предварительном заключении по результатам обследования КЛ.

9.3.7. Первичный контроль качества контактных соединений на КЛ, в том числе мест заземления металлических экранов, рекомендуется проводить с помощью тепловизора.

9.3.8. С целью проверки качества контактных соединений экранов КЛ с заземляющим устройством электроустановки необходимо проводить измерения переходного сопротивления контактных соединений (например, болтовых) на предмет соответствия нормам. Оценка качества контактных соединений экранов КЛ с ЗУ осуществляется согласно нормам РД 34.45-51.300-97 и результатов тепловизионного контроля. Также следует убедиться в

отсутствии следов сплавления или прогорания на видимых участках заземленных проволочных экранов кабелей.

9.3.9. В случае наличия разземлённых экранов кабелей необходимо проверить недопустимость прикосновения к ним персонала, обслуживающего электроустановку (состояние изолированного от «земли» участка проволочного экрана на конце КЛ, целостность электромонтажных коробок и т.д.).

9.3.10. Удельное сопротивление грунта оказывает существенное влияние на эквивалентное сопротивление заземления ЗУ и фактически определяет условия электробезопасности. Нормируемым параметром ЗУ является сопротивление току растекания, значение которого должно соответствовать требованиям ПУЭ и РД 34.45-51.300-97 независимо от времени измерения. Для этого необходимо выполнять профилактические работы и испытания в соответствии с многолетними графиками.

9.3.11. Оценка технического состояния КЛ с контролем температуры производится в соответствии с требованиями РД 34.45-51.300-97.

9.3.12. Измерение распределения температуры (тепловизионный контроль) следует выполнять на всех доступных для наблюдения без демонтажа участках КЛ, в том числе: вертикальных участках; соединительных и концевых муфтах; контактных соединениях, в том числе переходах КЛ в ВЛ; элементах, способных влиять на тепловое состояние КЛ.

9.3.13. Для распределительных устройств на напряжение до 35 кВ, в том числе кабелей открытой прокладки (на воздухе), тепловизионный контроль должен проводиться не реже 1 раза в 3 года, для оборудования напряжением 110 кВ - не реже 1 раз в 2 года. В зонах с высокой степенью загрязнения атмосферы оборудование должно проверяться ежегодно, независимо от класса напряжения.

9.3.14. Тепловизионный контроль рекомендуется производить с расстояния, позволяющего фиксировать распределение температуры каждого элемента контролируемого объекта в отдельности (при необходимости применяются тепловизоры с телеобъективами).

9.3.15. Проверка температуры контактных соединений в точках подсоединения кабеля к шинам и запитанному оборудованию, проводится на заключительном этапе обследования КЛ, когда восстановлено подсоединение с обоих концов КЛ, после всех видов диагностики, требовавших демонтажа контактных соединений. Дефектные места, фиксируемые с помощью тепловизора в виде термограмм, следует фотографировать в том же ракурсе.

9.3.16. Для исключения влияния солнечной радиации тепловой контроль проводится в ночное время суток или в облачную погоду. При необходимости выполнять измерения при солнечной погоде, их рекомендуется производить для каждого объекта поочередно из нескольких диаметрально противоположных точек.

9.3.17. При проведении теплового контроля на открытом воздухе следует принимать во внимание возможность охлаждения ветром контролируемого объекта. Не рекомендуется проводить измерения при скорости ветра выше 8 м/с.

9.3.18. Тепловизионный контроль изоляции КЛ рекомендуется начинать не ранее, чем через два часа после подачи напряжения на КЛ. Контролируемая КЛ в момент обхода должна быть под напряжением и под нагрузкой не ниже 30% от номинальной.

9.3.19. Оценка теплового состояния КЛ и ее частей в зависимости от условий их работы и конструкции осуществляется:

- по нормированным температурам нагрева (превышениям температуры);
- избыточной температуре;
- коэффициенту дефектности;
- динамике изменения температуры во времени;
- при изменении нагрузки;
- путем сравнения измеренных значений температуры в пределах фазы и между фазами, с заведомо исправными участками.

9.3.20. Базовая оценка теплового состояния КЛ осуществляется по допустимым температурам нагрева, которые составляют для СПЭ 90 °С и 130 °С в нормальном и аварийном (к.з.) режимах соответственно. Критерием, определяющим режим работы КЛ как «недопустимый», является превышение температуры на поверхности кабеля любой фазы КЛ на уровне более 60 – 70 °С. Для предотвращения аварийного отключения КЛ в этом случае требуется снижение нагрузки и последующее выяснение причин перегрева кабеля.

9.3.21. Полученные результаты тепловизионного контроля КЛ оформляются протоколом, который прикладывается к паспорту КЛ, а также могут заноситься в специальную форму (журнал) технического обследования.

9.4 Импульсный рефлектометрический контроль КЛ

9.4.1. Применение метода импульсной рефлектометрии позволяет обнаружить и локализовать короткое замыкание жил кабеля на землю; короткое замыкание жил кабеля между собой; обрыв жилы кабеля; низкоомные дефекты в изоляции кабеля, вызванные увлажнением или другими причинами; емкостные дефекты в изоляции кабеля. Рекомендуется использовать рефлектометры с усилением не менее 60-80 дБ.

9.4.2. Тестирование рефлектометром позволяет определить длину обследуемого кабеля по известному коэффициенту его укорочения; количество и местоположение соединительных муфт; количество кабелей, входящих в состав КЛ; длину вставок кабелей, входящих в состав КЛ, если известны коэффициенты укорочения для кабелей вставок.

9.4.3. Для определения расстояний до неоднородностей КЛ и измерения длины кабеля в рефлектометр вводят значение коэффициента укорочения

проверяемого кабеля. Коэффициент укорочения для кабелей с изоляцией СПЭ при этом задается равным 1,72-1,92; половинная скорость распространения электромагнитной волны – 78-87 м/мкс.

9.4.4. Перед измерениями для устранения переотражений выполняют операцию согласования выходного сопротивления рефлектометра с волновым сопротивлением линии. Для более точного измерения рекомендуется правильно, в соответствии с длиной и частотной характеристикой затухания линии, выбирать параметры зондирующего импульса рефлектометра. Критерием правильного выбора является минимальное “расплывание” и максимальная амплитуда отраженного сигнала.

9.4.5. Полученные в ходе тестирования рефлектограммы интерпретируются в соответствии с приведенными ниже примерами определения характера повреждения (неоднородности) по виду рефлектограммы и полярности отраженного сигнала (рис. №№6 -15).

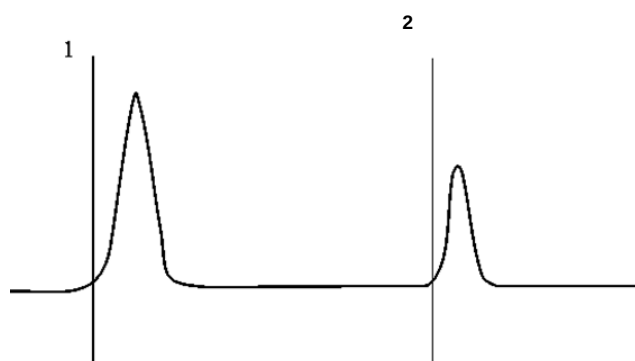


Рис. №6 – Отражение сигнала от точки большого сопротивления (курсор 2) – обрыв кабеля

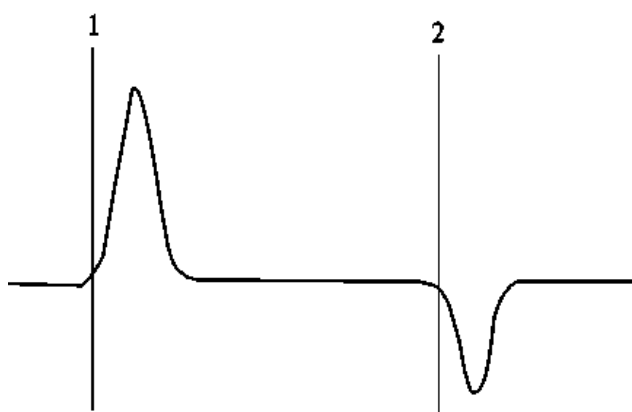


Рис. №7 – Отражение сигнала со сменой полярности – короткое замыкание в кабеле, малое сопротивление неоднородности

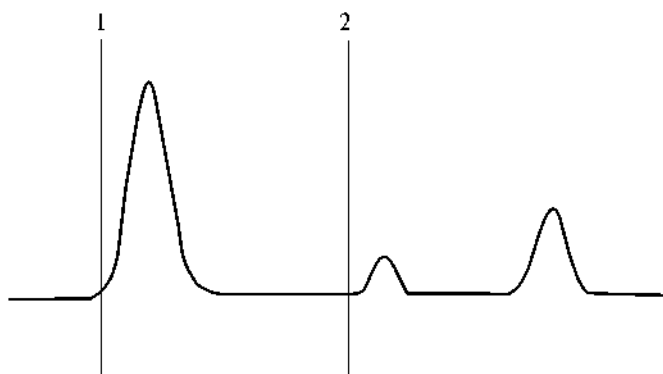


Рис. №8 – Вариант частичного обрыва (курсор 2), за которым следует полный обрыв кабеля

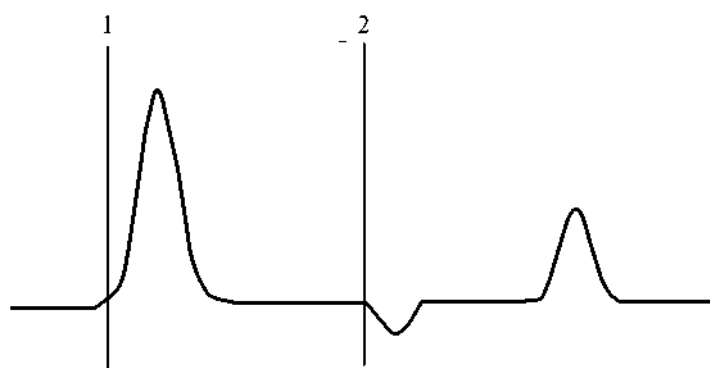


Рис. №9–Частичное замыкание (курсор 2), за которым следует полный обрыв кабеля

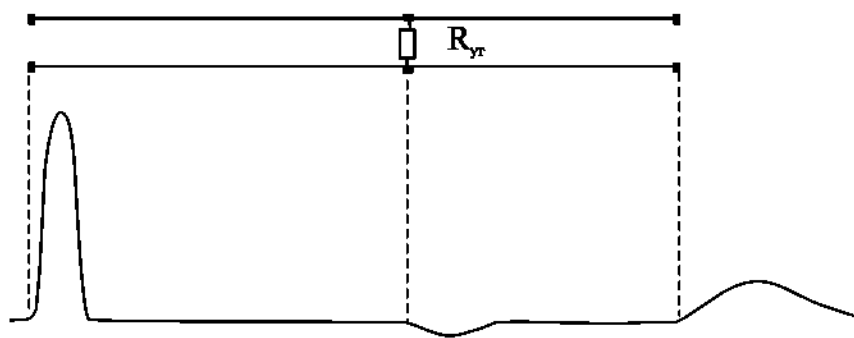


Рис. №10– Сигнал, отраженный от места утечки

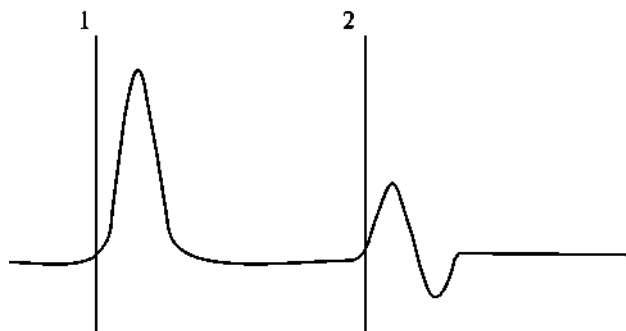


Рис. №11 – Наличие дополнительного сопротивления или сварочного шва приводят к появлению S-образного отражения на рефлектограмме; высокоомное отражение сопровождается низкоомным

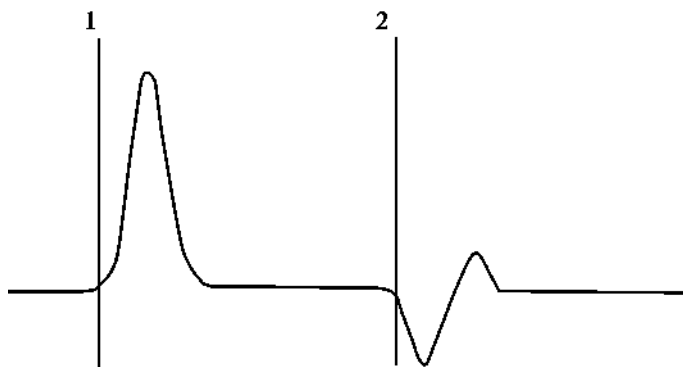


Рис. №12 – Указание наличия соединительной муфты (курсор 2)

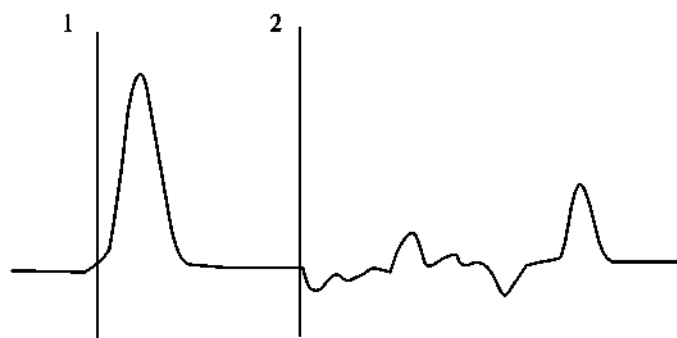


Рис. №13 – Сильное увлажнение кабеля, отображаемое областью случайного отражения: начало этой области (курсор 2) соответствует началу области увлажнения кабеля

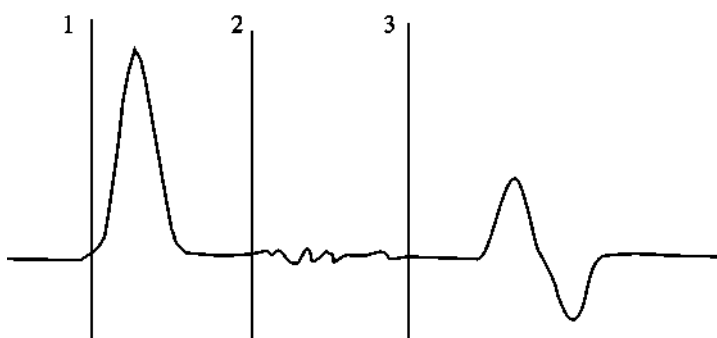


Рис. №14 – Повышение влажности в кабелях приводит к появлению шума (курсоры 2 и 3)

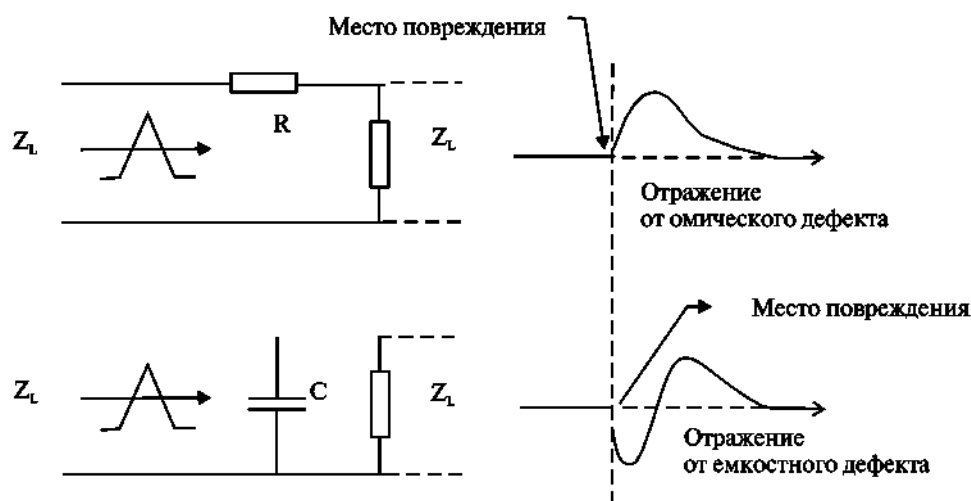


Рис. №15 – Различие между отражением от омической и емкостной неоднородности; шунтирующая емкость приводит к явно выраженному дифференцированию сигнала

9.5 Испытания кабельных линий повышенным напряжением

9.5.1. При проведении испытаний КЛ с СПЭ-изоляцией следует руководствоваться требованиями настоящего Стандарта, а также документа «Объем и нормы щадящих и неразрушающих методов испытания и диагностики кабельных линий 6-110 кВ» ОАО «Ленэнерго».

9.5.2. В случае противоречия требований настоящего Стандарта технической документации завода-изготовителя кабеля и арматуры, допускается в исключительных случаях пользоваться этой документацией. Это может быть актуально, если завод-изготовитель угрожает снятием гарантии при проведении приемо-сдаточных испытаний КЛ, не соответствующих нормам, заявленным в инструкции завода на данный класс кабелей или арматуры.

9.5.3. Поскольку испытания КЛ с СПЭ-изоляцией повышенным напряжением являются разрушающим методом контроля, не позволяющим выявить зарождающиеся дефекты в изоляции, такие испытания следует проводить в качестве заключительного этапа комплексного технического обследования линии, которое включает обязательное диагностирование СПЭ-изоляции КЛ методом измерения и локализации частичных разрядов

9.5.4. Испытания кабельных линий с СПЭ-изоляцией производится переменным напряжением СНЧ, которое генерируется специальными установками, а также напряжением промышленной частоты, с помощью испытательных установок. Эти установки могут выполняться как стационарные, смонтированные на автомашине, и как мобильные, перевозимые любым пригодным для этого транспортом.

9.5.5. Порядок, состав и периодичность испытаний КЛ с СПЭ-изоляцией повышенным напряжением представлены ниже.

9.5.6. Кабельные линии напряжением 6-110 кВ испытываются перед вводом в эксплуатацию (приемо-сдаточные испытания) и после ремонтов, в том числе после замены промежуточных или концевых муфт (испытания в эксплуатации), а также, с заданной периодичностью, в процессе эксплуатации.

9.5.7. Периодичность испытаний в процессе эксплуатации следующая.

КЛ на напряжение 6-35 кВ в процессе эксплуатации испытываются 1 раз в 2 года - для кабельных линий в течение первых 4 лет после ввода в эксплуатацию, а в дальнейшем:

- 1 раз в 3 года - для кабельных линий, у которых в течение первых 4 лет не наблюдалось аварийных пробоев и пробоев при профилактических испытаниях; для кабельных линий на закрытых территориях (подстанции, заводы и др.);
- после капитальных ремонтов кабельных линий и кабельных перемычек.

КЛ на напряжение 110 кВ в процессе эксплуатации испытываются через 3 года после ввода в эксплуатацию и в последующем 1 раз в 5 лет.

9.5.8. После выполнения работ по капитальному ремонту кабельных линий должны производиться внеочередные испытания, в соответствии с приведенными ниже нормами.

9.5.9. До начала высоковольтных испытаний производится осмотр всех доступных элементов кабельной линии. При обнаружении дефектов концевых муфт и заделок испытания должны производиться после их ремонта.

9.5.10. Перед испытанием кабеля повышенным напряжением для выявления грубых дефектов следует измерить сопротивление изоляции. Измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции позволит выявить кабели с существенно ослабленной изоляцией до проведения испытаний повышенным напряжением.

9.5.11. Измерения сопротивления изоляции кабелей $R_{из}$ производится между жилой и металлическим экраном или между жилами (для трехжильных кабелей в общей оболочке) мегомметром на 2500 В для кабелей 6-35 кВ и 5000 В для кабелей 110 кВ.

9.5.12. Предварительную оценку состояния КЛ следует проводить по одному из предложенных критериев, либо по совместной их оценке:

- по значению $R_{из}$ Сопротивление изоляции вновь проложенной КЛ с СПЭ-изоляцией, как правило, должно быть не менее 100 ГОм (как правило, составляет 1,0-10 ТОм); для эксплуатируемой КЛ – не менее 10 ГОм.
- по коэффициенту абсорбции $K_a = R_{60сек} / R_{15сек}$. Оценку состояния кабелей по этим показателям следует проводить согласно классификации: «норма» - $K_a > 1,6$; «Работоспособное с незначительными отклонениями» -

$1,6 \geq K_a \geq 1,4$; «Работоспособное со значительными отклонениями» - $1,4 > K_a \geq 1,25$; «Ухудшенное» - $1,25 > K_a > 1,0$; «Предаварийное» - $K_a \leq 1,0$.

Примечание

Хотя сопротивление изоляции силовых КЛ на напряжение выше 1 кВ согласно отечественным нормативно-техническим документам не нормируется, для первичной оценки текущего состояния кабеля рекомендуется опираться на приведенные допустимые значения сопротивления изоляции КЛ, рекомендованное европейским стандартом CENELEC HD 620 S2: 2010.

9.5.13. Для кабелей номинального напряжения 6-35 кВ допускается одновременное испытание повышенным напряжением всех трех фаз кабельной линии, при условии достаточной мощности испытательной установки. Для кабелей номинального напряжения 110 кВ испытания производятся отдельно для каждой фазы.

9.5.14. В кабельных сетях, где существует возможность вывода из работы сразу нескольких КЛ, отходящих от одного центра питания, они могут подвергаться испытаниям повышенным напряжением одновременно. Также одновременно могут испытываться цепочки последовательно соединенных КЛ с распределительными устройствами. При этом трансформаторы напряжения, вентильные разрядники и ОПН должны быть отсоединены.

9.5.15. Уровень и соответствующая длительность приложения испытательного напряжения СНЧ к основной изоляции кабеля (от 15 до 60 мин) определяется производителем работ в зависимости от местных производственных условий на момент проведения испытаний и возможностей применяемой испытательной установки (верхняя граница выдаваемого напряжения СНЧ, форма испытательного напряжения).

9.5.16. Допускается как синусоидальная, так и косинусоидально-прямоугольная форма испытательного напряжения СНЧ.

9.5.17. При отсутствии испытательных установок СНЧ и отсутствии возможности привлечения для проведения испытаний кабелей СПЭ сторонних организаций, обладающих такими установками, разрешается проводить высоковольтные испытания кабелей напряжением 50 Гц в соответствии с требованиями **табл. №17**. При этом кабельная линия включается под напряжение **без нагрузки**.

9.5.18. Испытание кабелей с изоляцией СПЭ необходимо проводить переменным напряжением сверхнизкой частотой 0,01-0,1 Гц в течение 15-60 мин согласно **табл. №17**.

9.5.19. В качестве испытательного напряжения СНЧ для конкретной КЛ номинальным напряжением 6-110 кВ принимаются соответствующие форме прикладываемого напряжения и длительности его приложения значения из

табл. №17. В зависимости от состояния изоляции конкретной КЛ, определенного по результатам диагностирования, допускается снижение испытательного напряжения в процессе эксплуатации (в том числе после ремонтов), но не более чем на 20% согласно IEEE Std. 400.2-2004.

9.5.20. В качестве испытательного напряжения для конкретной КЛ принимается следующее значение в зависимости от фазного напряжения кабеля $U_0 = U_{\text{ном}}/\sqrt{3}$:

Приемо-сдаточные испытания напряжением СНЧ 0,1 Гц для кабелей:

- 6-35 кВ – $3\sqrt{3}U_0$ в течение 15 мин или $3U_0$ в течение 30/60 мин;
- 110 кВ – $2U_0$ в течение 15 мин.

Эксплуатационные испытания напряжением СНЧ 0,1 Гц для кабелей:

- 6-35 кВ – $3U_0$ в течение 30 мин;
- 110 кВ – $2U_0$ в течение 15 мин.

9.5.21. Альтернативным, но менее эффективным является испытание напряжением промышленной частоты. При отсутствии испытательных установок СНЧ, независимо от типа испытаний (приемо-сдаточные, эксплуатационные), допускается испытание переменным напряжением частоты 50 Гц, для кабелей:

- 6-35 кВ – $\sqrt{3}U_0$ в течение 5 мин (по согласованию с заводом-изготовителем – $2U_0$ в течение 30 мин) или U_0 в течение 24 часов;
- 110 кВ – $2,5U_0$ в течение 30 мин или U_0 в течение 24 часов.

Табл. №17 – Значения испытательных напряжений и длительность испытаний для кабелей и КЛ с изоляцией СПЭ при приемке и в процессе эксплуатации (U_0 – фазное напряжение сети)

$U_0/U_{\text{ном}},$ кВ	Форма напряжения СНЧ	Испытательное напряжение частотой 0,01-0,1 Гц, кВ _{действ} /кВ _{ампл} при времени его приложения ¹⁾			Испытательное напряжение частотой 50 Гц ²⁾ , кВ _{действ.}
		15 мин	30 мин	60 мин	$U_{\text{ном}} - 5$ мин, или $U_0 - 24$ ча- са, или $2U_0 - 30$ мин
3,5/6	$\text{SIN}^{3)}$	13 _{действ} /18 _{ампл}	11 _{действ} /15 _{ампл}	8 _{действ} /11 _{ампл}	6 кВ – 5 мин, или 3,5 кВ - 24 часа, или 7 кВ – 30 мин
	COS прямо- угольный	18	15	11	

6/10	SIN ³⁾	21 _{дейст/30ампл}	18 _{дейст/25ампл}	13 _{дейст/18ампл}	10 кВ – 5 мин, или 6 кВ - 24 часа, или 12 кВ – 30 мин
	COS прямо- угольный	30	25	18	
12/20	SIN ³⁾	43 _{дейст/60ампл}	36 _{дейст/50ампл}	26 _{дейст/36ампл}	20 кВ – 5 мин, или 12 кВ - 24 часа, или 24 кВ – 30 мин
	COS прямо- угольный	60	50	36	
20/35	SIN ³⁾	75 _{дейст/105ампл}	60 _{дейст/85ампл}	42 _{дейст/60ампл}	35 кВ – 5 мин, или 20 кВ - 24 часа, или 40 кВ – 30 мин
	COS прямо- угольный	105	85	60	
64/110	SIN ³⁾	90 _{дейст/128ампл}	-	-	64 кВ – 24 часа, или 160 кВ – 30 мин
	COS прямо- угольный	128	-	-	

Примечания к табл. №17

¹⁾ Согласно IEEE Std. 400.2-2004 увеличение времени испытания служит для выявления дефекта КЛ с большей вероятностью: например, для КЛ напряжением 15 кВ было показано, что 68% дефектов были выявлены спустя 12 мин. испытаний, 89% - спустя 30 мин, 95% - спустя 45 мин. и 100% - спустя 60 мин. [*S. C. Moh. Very low Frequency Testing – Its Effectiveness in Detecting Hidden Defects in Cables. Paper 8./ CIRED Barcelona, Session 1. - 2003.*].

Уровень приложенного испытательного напряжения снижается пропорционально повышению времени испытания, аналогично нормам МУ 1.2.4.10.006.0014-2007.

²⁾ В случае отсутствия установок СНЧ допускается проведение испытаний основной изоляции КЛ повышенным напряжением частоты 50 Гц согласно нормам МЭК (IEC) 60502-2:2005 и документации завода-изготовителя.

³⁾ Для испытательного напряжения СНЧ синусоидальной формы приводятся как действующие, так и амплитудные значения испытательного напряжения, коэффициент искажения формы синусоиды не должен превышать 5% согласно IEEE Std. 400.2-2004. Для испытательного напряжения СНЧ косинусно-прямоугольной формы действующее значение равно амплитудному.

9.5.22. Испытание КЛ с изоляцией из сшитого полиэтилена выпрямленным напряжением (напряжением постоянного тока) **категорически запрещается**. Исключение составляют вставки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена длиной менее 15 метров в составе КЛ с бумажно-масляной изоляцией. Такие КЛ допускается испытывать выпрямленным напряжением в соответствии с РД 34.45-51.300-97.

9.5.23. При наличии вставки кабелем с СПЭ-изоляцией более 15 метров испытание проводится переменным напряжением (СНЧ 0,01-0,1 Гц или 50

Гц). При этом оболочка кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена не испытывается.

9.5.24. После испытания повышенным напряжением изоляцию КЛ повторно проверяют мегомметром. Сопротивление изоляции не должно уменьшиться.

9.5.25. Испытания защитных полимерных оболочек кабелей 6-110 кВ с СПЭ-изоляцией проводятся со следующей периодичностью:

- перед включением КЛ в эксплуатацию;
- после ремонтов основной изоляции КЛ;
- в случаях проведения раскопок в охранной зоне КЛ и связанного с этим возможного нарушения целостности оболочек;
- периодически – через 3 года после включения в эксплуатацию затем 1 раз в 5 лет.

9.5.26. Испытания защитных полимерных оболочек кабелей 6-110 кВ с изоляцией СПЭ **проводятся** при прокладке кабеля в грунте, по воздуху на металлических лотках, в металлических коробах и иных способах прокладки, обеспечивающих надежный контакт оболочки с заземленными элементами.

9.5.27. Испытания защитных полимерных оболочек кабелей 6-110 кВ с изоляцией СПЭ **не проводятся** при подземной и подводной прокладке КЛ и кабельных вставок в полимерных, асбестовых и иного рода трубах из немагнитных материалов, а также во всех случаях, когда контакт оболочки с заземленными элементами невозможен. Оболочки КЛ, проложенных на воздухе, как правило, не испытываются.

9.5.28. Для проведения испытаний оболочки КЛ с СПЭ-изоляцией используются испытательные установки-генераторы постоянного тока с максимальным выходным напряжением 5 – 10 кВ.

9.5.29. До и после проведения испытаний оболочки кабеля постоянным напряжением производится измерение сопротивления изоляции оболочки. При этом фиксируется изменение сопротивления изоляции в результате приложения постоянного напряжения при испытаниях.

9.5.30. Перед включением в эксплуатацию независимо от номинального напряжения кабеля оболочка кабеля каждой фазы КЛ испытывается постоянным напряжением от 3 до 10 кВ, приложенным между металлическим экраном, отсоединенным от земли и соединенным с жилой кабеля, и заземлителем в течение времени от 1 до 10 мин. Ток утечки при испытаниях полимерной оболочки кабеля не должен превышать 200 мкА для КЛ 6-35 кВ и 300 мкА для КЛ 110 кВ. Если при испытаниях оболочек были вскрыты концы кабелей, закрытые капами, то после проведения испытаний на них сразу должны быть смонтированы новые капы.

9.5.31. Конкретный уровень испытательного напряжения, а также время его приложения определяются согласно технической документации завода-изготовителя на данный вид кабеля и при необходимости корректируются техническим руководителем предприятия.

9.5.32. Для оболочек кабелей, изготовленных более чем за год до прокладки, а также находящихся в эксплуатации более 3 лет без ремонтов либо подвергавшихся ремонту за первый год эксплуатации хотя бы один раз, испытательное напряжение должно быть снижено до 2 – 5 кВ, т.е. в среднем в два раза в отношении уровня $U_{исп}$ оболочки при приемо-сдаточных испытаниях. Время испытания должно по-прежнему составлять не менее 1 мин.

9.5.33. КЛ напряжением 6, 10, 20, 35 и 110 кВ считается годной к эксплуатации, если она выдержала испытательное напряжение в течение времени, указанного в п. 9.2.16 настоящего Стандарта. Для КЛ, выполненной из трех одножильных кабелей с СПЭ-изоляцией, дополнительно учитываются результаты испытания защитной оболочки, которая должна выдерживать испытание постоянным выпрямленным напряжением в соответствии с нормами п. 9.2.28.

9.5.34. Порядок действий при неуспешных испытаниях основной изоляции и оболочек КЛ повышенным напряжением следующий:

- место пробоя кабельной линии должно быть обследовано и должна быть выяснена причина повреждения перед включением КЛ в эксплуатацию;
- при обследовании, которое проводится в стационарной лаборатории, осуществляется разборка, осмотр и обмер поврежденного образца кабеля (или кабельной муфты);
- при осмотрах полимерных оболочек кабеля и муфт следует обращать внимание на задиры, порезы, надрезы, трещины, сквозные отверстия, оплавления и другие повреждения.
- при вскрытиях и разборке кабельных муфт определяются основные конструктивные размеры и соответствие их требованиям действующей технической документации на муфты.

9.5.35. Результаты вскрытий и разборок и заключение о причине повреждения оформляются протоколом. При наличии в кабеле заводского дефекта, зафиксированного соответствующим актом, в течение гарантийного срока может быть предъявлена рекламация изготовителю.

9.5.36. Образцы кабелей с разными видами повреждений, в том числе с заводскими дефектами, рекомендуется сохранять в лаборатории для использования в качестве наглядных пособий при обучении персонала, а также для представления их экспертам (при предъявлении рекламаций, арбитражных разбирательствах и т. д.).

9.5.37. Результаты испытаний силовых КЛ напряжением 6-110 кВ заносятся в Протокол по форме, утвержденной в ОАО «Ленэнерго» или филиале Общества. Протоколы по испытаниям КЛ на одном объекте могут сводиться в технический отчет, форма которого произвольна.

9.6 Диагностика кабельных линий методами интегральной оценки состояния изоляции и локализации ЧР

9.6.1. При диагностировании КЛ методами интегральной оценки состояния изоляции и локализации ЧР следует руководствоваться требованиями настоящего Стандарта, а также документа «Объем и нормы щадящих и неразрушающих методов испытания и диагностики кабельных линий 6-110 кВ» ОАО «Ленэнерго».

9.6.2. Для получения «стартовой» информации о состоянии вновь смонтированных КЛ, диагностирование СПЭ-изоляции методами интегральной оценки состояния и локализации ЧР необходимо проводить в рамках выполнения приемо-сдаточных процедур после прокладки и завершения монтажа кабеля и всей арматуры (перед щадящими испытаниями повышенным напряжением).

9.6.3. Поскольку из отечественного и зарубежного опыта эксплуатации известно, что срок «приработки» КЛ в среднем составляет 1,5 – 2,0 года, рекомендуется также проводить комплексное диагностирование линии по прошествии указанного срока после ввода в эксплуатацию.

Это позволит с высокой точностью определить точки потенциальных пробоев изоляции КЛ и предупредить ее аварийный выход из строя.

9.6.4. Состояние силовых КЛ по степени старения СПЭ-изоляции в эксплуатации определяется как «норма», «работоспособное с отклонениями», «ухудшенное» и «предаварийное» согласно классификации, представленной в табл. №18. На практике при формировании заключений по результатам диагностики допускается использовать упрощенную классификацию: «работоспособное» (включая «норму»), «ухудшенное», «предаварийное».

Табл. №18 - Классификация технического состояния силовых кабелей 6-110 кВ с СПЭ-изоляцией в эксплуатации

Классификация состояния		Степень старения изоляции	Рекомендации персоналу при проведении ТОиР
1		2	3
Норма		Старение/увлажнение отсутствует	Эксплуатация без ограничений, техническое обслуживание согласно нормативной документации
Работоспособное	с незначительными отклонениями	Низкая степень старения, ее наличие фиксируется отдельными методами контроля	Эксплуатация без ограничений, техническое обслуживание согласно нормативной документации
	со значительными отклонениями	Средняя степень старения, наблюдается тенденция к дальнейшей деградации изоляции	Эксплуатация с выполнением контроля степени старения изоляции неразрушающими методами. Объем контроля состояния определяет специализированная организация. До получения рекомендаций специализированной организации персонал измеряет сопротивление изоляции и контролирует состояние по величине индекса поляризации и величине коэффициента абсорбции.
Ухудшенное		Сильное старение, ресурс изоляции ограничен	Плановая замена кабеля (участка кабеля) или плановое определение причин ухудшенного состояния различными методами (проведение внеплановых испытаний повышенным напряжением, неразрушающий или разрушающий контроль) и устранение причин ухудшенного состояния.
Предавварийное		Предельная степень старения или наличие локального дефекта	Вывод кабеля из эксплуатации, ремонт кабеля или замена кабеля

9.6.5. Оценка старения и увлажнения кабелей с СПЭ-изоляцией на протяжении всего диапазона старения от «нормы» до «предавварийного» состояния проводится по показателям, определяемым при измерении сопротивления изоляции кабеля, анализа $tg\delta$, измерении ЧР и мест их локализации, изотермического тока релаксации, рефлектометрических измерениях, а также путем тепловизионного контроля КЛ. При этом метод регистрации частичных разрядов, метод рефлектометрии, метод тепловизионного контроля и измерение емкости кабеля позволяют оценить ухудшенное и предаварийное состояния изоляции кабелей*.

**Примечание. Применение каждого из перечисленных выше методов должно осуществляться строго в рамках утвержденных методик или методик измерения, описанных в руководстве пользователя испытательного прибора.*

9.6.6. Метод измерения $tg\delta$ применяется для определения степени старения изоляции КЛ независимо от класса напряжения. Анализ значения $tg\delta$ на различных уровнях приложенного напряжения позволяет оценить «интегральную» степень старения изоляции всей КЛ – без определения локально ослабленных участков. При этом фактор старения (прораствание в толще СПЭ электрических и водных триингов и развитие ЧР) не может быть определен и локализован.

9.6.7. В рамках применения метода следует провести испытания силовых кабелей с изоляцией СПЭ напряжением СНЧ 0,1 Гц поэтапно величинами $0,5U_0$, $1,0U_0$, $1,5U_0$, $2,0U_0$, $2,5U_0$ и одновременным измерением при этом $tg\delta$. Рабочая ёмкость кабеля, как правило, измеряется с помощью той же испытательной установки либо с помощью отдельного прибора.

9.6.8. Критерии оценки состояния кабелей с изоляцией СПЭ по уровню $tg\delta$ с определением состояния изоляции согласно упрощенной классификации приведены в таблице №19. Факторы Q и G введены произвольно для обозначения соотношений $tg\delta(2U_0)$ и $tg\delta(2U_0) - tg\delta(U_0)$ и не имеют скрытых значений.

Табл. №19 - Определение технического состояния силовых кабелей с изоляцией СПЭ (упрощенная классификация) по результатам измерения $tg\delta^*$ и рекомендуемые мероприятия

Классификация состояния кабеля	Степень старения изоляции	$Q=tg\delta(2U_0)$	$G=tg\delta(2U_0)-tg\delta(U_0)$	Мероприятия по результатам измерения
1	2	3	4	5
Работоспособное (норма)	Низкая или средняя. Возможно наличие отдельных областей старения	$Q \leq 1,2 \cdot 10^{-3}$	$G \leq 0,1 \cdot 10^{-3}$	Для локализации слабых областей изоляции по трассе кабеля рекомендуется провести испытание повышенным напряжением СНЧ. Кабель остается в эксплуатации, назначается срок следующего обследования
Ухудшенное	Средняя или высокая Локальное повреждение изоляции	$1,2 \cdot 10^{-3} < Q \leq 2,2 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3} < G \leq 0,6 \cdot 10^{-3}$	Для локализации повреждений по трассе кабеля следует провести испытание повышенным напряжением СНЧ. После ремонта и устранения дефектов кабель остается в эксплуатации
Предаварийное	Предельная	$Q > 2,2 \cdot 10^{-3}$	$G > 0,6 \cdot 10^{-3}$	Изоляция кабеля сильно повреждена, кабель выводится из эксплуатации

**Примечание. При необходимости перевода значений $tg\delta$ в относительные единицы (%) следует пользоваться следующим равенством: 1% соответствует абсолютному значению $tg\delta=10^{-2}$*

9.6.9. Результаты измерения $tg\delta$ следует сравнивать по фазам каждой линии и для однотипных КЛ в сходных условиях эксплуатации.

9.6.10. Для точного выявления ослабленных участков КЛ и определения расстояния до них необходимо использовать метод локализации ЧР. Окончательное заключение по состоянию изоляции выносится только после анализа результатов измерений $tg\delta$ и ЧР.

9.6.11. Полученные результаты измерения данные тангенса угла диэлектрических потерь, а также предварительное заключение по анализу $tg\delta$ с оценкой интегрального состояния изоляции заносятся в диагностический паспорт КЛ или в специальную форму технического обследования.

9.6.12. **Метод измерения изотермического тока релаксации** применяется только для определения степени старения изоляции КЛ с изоляцией СПЭ напряжением 6-35 кВ. Анализ кривой изменения изотермического тока релаксации показывает степень повреждения основной изоляции кабеля электрическими триингами. Результаты измерения характеризуют общую степень повреждения изоляции, по всей длине КЛ.

9.6.13. **Метод измерения и локализации ЧР** применяется для определения степени повреждения изоляции элементов КЛ частичными разрядами независимо от класса напряжения линии. Анализ положения «ослабленных» мест на КЛ с повышенными уровнями ЧР и их «скоплениями» (мест повышенной концентрации ЧР) позволяет на раннем этапе выявить дефекты монтажа соединительных и концевых муфт и заделок.

9.6.14. В процессе эксплуатации метод измерения ЧР, применяемый с заданной периодичностью, способствует локализации дефектов в изоляции строительных длин и предаварийных состояний муфт на КЛ.

В табл. №20 приведены типичные дефекты в изоляции КЛ, выявляемые методом измерения и локализации ЧР. При измерении параметров ЧР следует помнить, что для КЛ 6-110 кВ «проблемными» точками всегда являются концевые и соединительные муфты.

Табл. №20 – Типичные дефекты изоляции КЛ

Вид повреждения	Место дефектов
1	2
Повреждение основной изоляции кабеля	соединительные и концевые муфты
Повреждение оболочки кабеля	Острые кромки в местах соединений
	Проникновение влаги
	Воздушные полости
	Проблемы на границах раздела сред
	Дефекты металлического экрана, приводящие к повышенным градиентам поля

9.6.15. После измерения ЧР для критической оценки и интерпретации результатов измерений ЧР рекомендуется использовать ряд параметров, представленных в табл. №21 , а также на основании алгоритма рис. №16.

Табл. №21 – Параметры и их характеристики, применяемые для интерпретации результатов измерений ЧР

Параметр	Характеристика
1	2
Напряжение возникновения ЧР, кВ	МЕНЬШЕ рабочего напряжения между фазами для трехжильного кабеля или рабочего напряжения между фазой и землей для одножильного кабеля
	БОЛЬШЕ рабочего напряжения между фазами для трехжильного кабеля или рабочего напряжения между фазой и землей для одножильного кабеля
Напряжение исчезновения ЧР, кВ	МЕНЬШЕ рабочего напряжения между фазами для трехжильного кабеля или рабочего напряжения между фазой и землей для одножильного кабеля
	БОЛЬШЕ рабочего напряжения между фазами для трехжильного кабеля или рабочего напряжения между фазой и землей для одножильного кабеля
Величина ЧР, пКл	МЕНЬШЕ типичного значения
	БОЛЬШЕ типичного значения
Интенсивность ЧР	Низкая
	Высокая
Характер ЧР	Одиночные ЧР
	Повторяющиеся ЧР
Распределение ЧР	ЧР сконцентрированы в локальном месте
	ЧР распределены по длине кабеля
Расположение ЧР	Изоляция кабеля
	Муфты, заделки

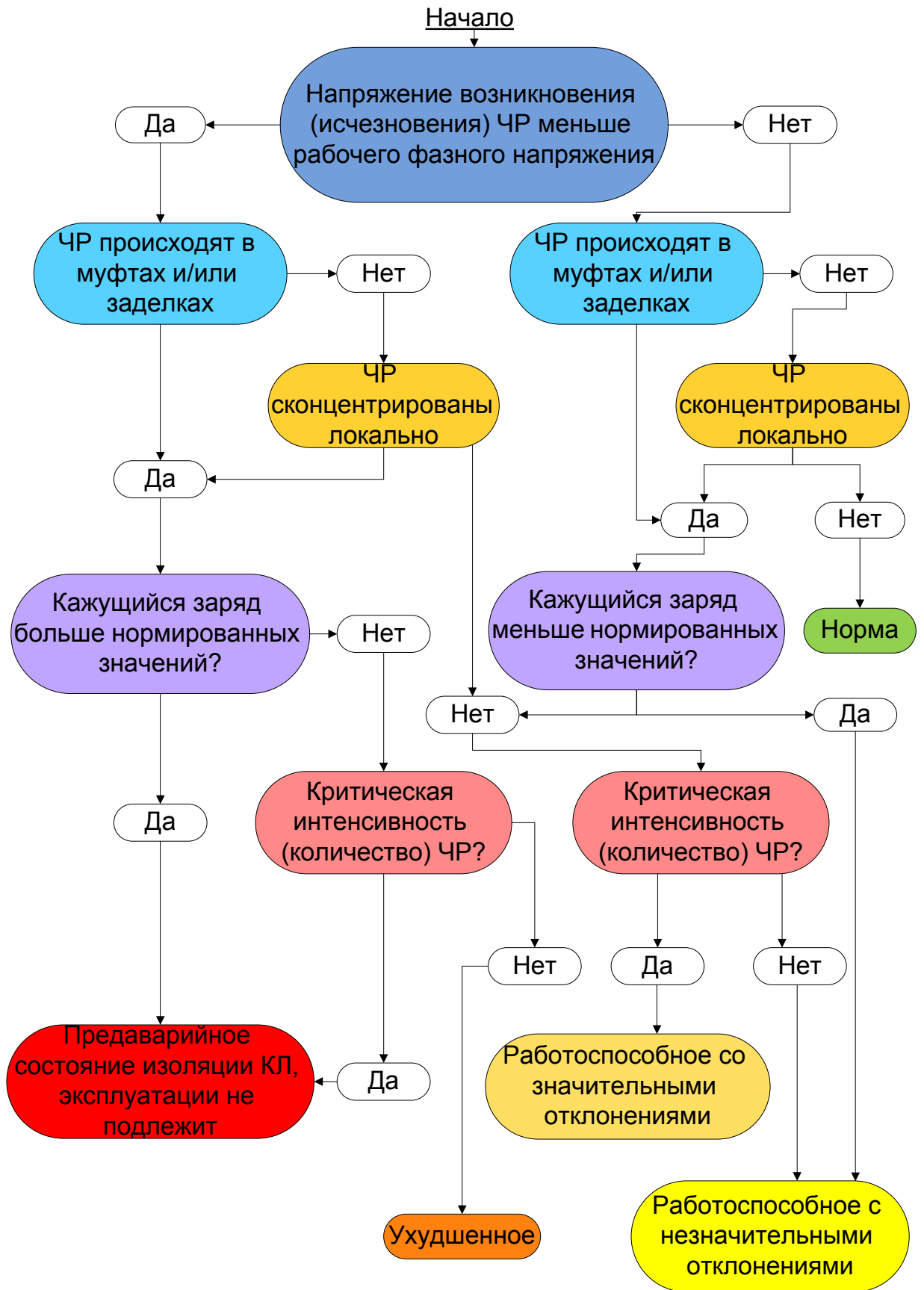


Рис. №16 – Алгоритм интерпретации результатов измерений ЧР для оценки состояния СПЭ-изоляции КЛ

9.6.16. Для оценки состояния СПЭ-изоляции КЛ следует использовать нормативы, приведенные в табл. №22, учитывая текущее состояние линии, результаты испытаний повышенным напряжением и анализа $tg\delta$.

Табл. №22 – Нормативы оценки технического состояния КЛ напряжением 6-110 кВ с СПЭ-изоляцией по результатам измерений параметров ЧР

1		2	3	4	5
Состояние изоляции		Норма	Работоспособное с отклонениями	Ухудшенное	Предаварийное
Рекомендации		диагностирование через 5 лет	диагностирование в течение 1 года	ремонт в течение 1 года с диагностированием	подлежит выводу из эксплуатации (ремонт с последующим диагностированием)
Для КЛ напряжением 6 – 35 кВ с СПЭ-изоляцией					
Максимальная величина ЧР в локальном месте (кажущийся заряд), пКл		<1200	1200-5000	5000-10500	> 10500
Среднее кол-во ЧР в локальном месте за один цикл измерения, шт., с ⁻¹		<0,066	0,066-0,23	0,23-0,7	>0,7
Напряжение возникновения ЧР (амплитудное значение), кВ – для КЛ номинальным напряжением, кВ	6	8,5	8,5-5,9	5,9 – 3,2	<3,2
	10	14,2	14,2 – 8,5	8,5 – 4,5	<4,5
	20	28	28 – 16	16 – 10	<10
	35	50	50 – 28	28 – 20	<20
Для КЛ напряжением 110 кВ с СПЭ-изоляцией					
Максимальная величина ЧР в локальном месте (кажущийся заряд), пКл		<200	200 – 500	-	>500
Напряжение возникновения ЧР (амплитудное значение), кВ		>98	98 – 78	-	<78
Напряжение гашения ЧР (амплитудное значение), кВ		>64	64 – 44	-	<44

***Примечание:** по мере накопления статистической информации по параметрам ЧР в элементах КЛ напряжением 6-110 кВ с СПЭ-изоляцией, нормативы оценки состояния изоляции по методу измерения и локализации ЧР могут корректироваться и уточняться.

9.6.17. Полученные результаты измерения параметров и локализации ЧР и заключение по их анализу заносятся в диагностический паспорт КЛ или в специальную форму (журнал) технического обследования.

9.6.18. При локализации ЧР следует учитывать, что для любых кабельных линий, независимо от условий прокладки и класса напряжения, «проблемными» точками в большинстве случаев являются концевые и соединительные муфты. Для кабельных линий 110 кВ максимальная концентрация ЧР всегда наблюдается в муфтах. Окончательное заключение по состоянию изоляции выносится только после совместного анализа результатов измерений $tg\delta$ (или тока релаксации) и параметров ЧР.

9.7 Критерии отбраковки кабельных линий в эксплуатации

9.7.1. Исходя из анализа нормированных уровней коэффициента абсорбции K_a ; сопротивления изоляции $R_{из}$; $tg\delta$ и рабочей емкости кабеля, напряжения возникновения ЧР U_i , локальных концентраций ЧР и ряда других параметров, логично заключить, что предельные их значения могут использоваться в качестве критериев отбраковки КЛ и для диагностирования предаварийных состояний изоляции в процессе эксплуатации (табл. № 23). Также принимать в расчет нужно результаты испытаний повышенным напряжением (неудовлетворительные) и тестирования рефлектометром.

9.7.2. Для формулировки достоверного заключения по техническому состоянию линии, необходимо сопоставлять результаты измерений по разным фазам каждой линии и по однотипным КЛ в подобных условиях эксплуатации, а также оценивать «скорость» старения изоляции конкретной КЛ на основе «банка данных» измерений за несколько лет.

9.7.3. Решения по срокам эксплуатации КЛ до очередного обследования и необходимости ремонта, в соответствии с оценкой технического состояния по многоуровневой классификации, принимается после тщательного анализа всех сведений, полученных при испытаниях, измерениях и техническом диагностировании и отраженных в документации на кабельную линию.

Табл. № 23 – Критерии отбраковки элементов КЛ 6-35 кВ с изоляцией СПЭ на основании технических обследований в эксплуатации

Объект	Параметр	Значение параметра, определяющее состояние КЛ как «предавварийное»
Соединительные и концевые муфты и заделки, кабель на строительной длине, разделанные жилы кабеля	Температура внешней поверхности кабеля в текущем режиме при токе нагрузки не менее $0,3I_{ном}$	Выраженные локальные перегревы, неравномерное распределение температуры по оболочке кабеля (разница более $3-5^{\circ}\text{C}$) и по отношению к другим фазам (разница более 10°C) Повышение температуры на внешней поверхности кабеля свыше $65 - 70^{\circ}\text{C}$.
Изоляция экрана кабеля (полимерная оболочка)	Сопротивление оболочки, напряжение пробоя $U_{пр}$ при испытаниях выпрямленным $U_{исп} = 5 - 10 \text{ кВ}$	Значения, свидетельствующие о нарушении целостности оболочки по отношению к «земле» ($<10-100 \text{ МОм}$), $U_{пр} \leq U_{исп}$
СПЭ-изоляция жилы кабеля	Сопротивление изоляции жилы	Значения, свидетельствующие о коротком замыкании, $R_{из} \leq 5 \text{ МОм}$ при $K_a \leq 1,25$ или $R_{из} \leq 10 \text{ МОм}$ при $K_a \leq 1,0$
	$tg\delta$	$Q = tg\delta(2U_0) > 2,2 \cdot 10^{-3}$ (или $0,22\%$) и $G = tg\delta(2U_0) - tg\delta(U_0) > 0,6 \cdot 10^{-3}$ (или $0,06\%$)
	Рабочая емкость кабеля, приведенная к погонному значению на 1 км длины, C_k (только для КЛ 20 и 35 кВ)	Отличие C_k по разным фазам более 10% и расхождение с результатами заводских испытаний более 5%
	Максимальная величина ЧР в локальном месте q	$q > 10500 \text{ пКл}$ для кабелей 6-35 кВ $q > 500 \text{ пКл}$ для кабелей 110 кВ
	Напряжение возникновения ЧР U_i (амплитудное значение)	$U_i < 3,2 \text{ кВ}$ - для 6 кВ кабелей $U_i < 4,5-5,0 \text{ кВ}$ – для 10 кВ кабелей $U_i < 10 \text{ кВ}$ – для 20 кВ кабелей $U_i < 20 \text{ кВ}$ – для 35 кВ кабелей $U_i < 78 \text{ кВ}$ – для 110 кВ кабелей
	Внешний вид рефлектограммы и полярность отраженного сигнала	Свидетельствуют о к.з., обрыве кабеля или замыкании фазы на землю (экран) с переходным сопротивлением от нуля до 10 МОм
	Напряжение пробоя $U_{пр}$ на частоте 0,1 Гц или 50 Гц	$U_{пр} \leq U_{исп}$ независимо от длительности испытания повышенным напряжением
Жила кабеля	Целостность жилы по всей длине кабеля	Обрыв (импульсная рефлектометрия)

9.8 Определение мест повреждений и поиск трассы кабельных линий

9.8.1. Все работы по определению мест повреждения (ОМП) следует производить в соответствии с положениями настоящего Стандарта, а также норм, инструкций и методик, утвержденных техническими руководителями производственных отделений и филиалов ОАО «Ленэнерго».

9.8.2. Перед началом работ по ОМП на КЛ необходимо оценить топологию трассы прокладки КЛ, определить способ прокладки КЛ (в земле, подземных сооружениях и т.д.), вывить характер и причину повреждения изоляции КЛ (автоматическое отключение, отключение с «землей», пробой при испытании). Знание способа прокладки, характера и причин повреждения необходимы, так как они определяют технологию и сокращают время ОМП.

9.8.3. При автоматическом отключении КЛ или отключении ее с «землей» должен быть произведен осмотр трассы КЛ с целью обнаружения возможной несанкционированной раскопки или шурфления на трассе КЛ. Осмотру подлежат также муфты.

9.8.4. После определения характера повреждения кабельной линии выбирается метод, наиболее подходящий для определения места повреждения в данном конкретном случае. Рекомендуются в первую очередь определить зону, в границах которой расположено повреждение.

9.8.5. Проводить предварительное ОМП кабельных линий следует одним из следующих относительных методов:

- импульсным, также называемым «локационным» и «рефлектометрическим»;
- колебательного разряда, также называемым «волновым», с развязкой по току или напряжению;
- импульсно-дуговым, также называемым методом «стабилизации электрической дуги».

9.8.6. Проводить точное ОМП непосредственно на трассе кабельной линии рекомендуется одним из следующих абсолютных методов:

- акустическим;
- индукционным.

9.8.7. Для точного определения места повреждения, как правило, применяется сочетание относительного и абсолютного методов. Выбор метода ОМП осуществляется производителем работ в зависимости от местных производственных условий.

9.8.8. Виды повреждений КЛ с СПЭ-изоляцией и рекомендуемые методы ОМП приводятся в табл. №24. Все измерения, за исключением ряда методов для поиска трассы и глубины залегания КЛ, производятся на кабельной линии, отключенной от источника питания и всех электроприемников.

Табл. №24 – Характеристики типичных повреждений кабелей с СПЭ-изоляцией и рекомендуемые методы ОМП

Вид повреждения	Переходное сопротивление в месте повреждения, Ом	Пробивное напряжение в месте повреждения, кВ	Рекомендуемый метод определения места повреждения	
			Относительный	Абсолютный
1	2	3	4	5
Повреждение оболочки однофазного кабеля	0 – 5000	0 – 1,5	петлевой	Метод постоянного напряжения (шагового потенциала)
Замыкание жилы на оболочку (однофазное повреждение)	200 – 500000	1 – 20	Волновой, импульсно-дуговой	Акустический
Обрыв одной, двух, трех жил (с замыканием или без замыкания фаз на оболочку)	200 – 500000	1 – 20	Импульсный	Акустический, индукционно-импульсный

9.8.9. Методика ОМП полимерной оболочки кабеля следующая:

- предварительное ОМП оболочки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, независимо от класса напряжения КЛ, выполняется *петлевым методом*, который основан на поочередном измерении падения напряжения на участках экрана кабеля: от начала КЛ до места повреждения оболочки, а затем от конца КЛ до места повреждения;
- для точного определения места повреждения защитной полимерной оболочки КЛ, непосредственно по трассе, следует использовать *метод «шаговых потенциалов»*.

Примечание: с целью исключения повреждения изоляции жилы кабеля при ОМП оболочек кабеля, проложенного в земле, категорически запрещается прожигание оболочек в месте повреждения.

9.8.10. При отсутствии плана трассы КЛ или при необходимости его уточнения выполняются работы по обнаружению КЛ и определению привязок (реперных точек) трассы на местности.

9.8.11. **Обнаружение и трассировка КЛ**, проложенных под землей, осуществляется с использованием специального поискового оборудования как на отключенных КЛ, так и на КЛ под напряжением без снятия нагрузки.

9.8.12. Поиск кабеля, находящегося под напряжением, осуществляется с использованием специального локационного устройства. Иногда используется дополнительный сигнал от генератора сигналов: сигнал фиксируется локационным устройством, настроенным на частоту излучаемого сигнала. Локацион-

ное устройство должно обеспечивать возможность обнаружения сигналов промышленной частоты, которые излучаются кабелями, находящимися под нагрузкой.

9.8.13. Поиск кабеля со снятием напряжения производится акустическим и индукционным методом ОМП и основан на принципе улавливания магнитного поля над кабелем, по которому пропускается ток от генератора звуковой частоты.

9.8.14. Для определения глубины прокладки КЛ используется та же схема, что и для определения трассы кабеля со снятием напряжения.

9.9 Рекомендации по ремонту кабельных линий

9.9.1. Ремонт кабельных линий производится по плану-графику, утвержденному руководством предприятия.

9.9.2. План график ремонтов составлен на основе записей в журналах обходов и осмотров, результатов испытаний и измерений, а также по данным диспетчерских служб.

Объем ремонтов уточняется на основании дополнительной проверки на месте инженерно-техническим персоналом всех выявленных неисправностей кабелей и трасс кабельных линий, что позволяет своевременно подготовить необходимые материалы и механизмы для выполнения ремонта.

В план-график включаются ремонтные работы, не требующие срочного их выполнения. Очередность производства таких работ устанавливается руководством района (участка, службы) электрической сети и цеха электростанции. Очередность выполнения срочных ремонтов определяется руководством предприятия.

9.9.3. Ремонт находящихся в эксплуатации кабельных линий производится эксплуатационным персоналом или персоналом специализированных организаций.

9.9.4. Вскрытие кабеля для ремонта производится после сверки на месте соответствия расположения кабеля с расположением его на плане трассы и после проверки отсутствия напряжения на этом кабеле и прокалывания его в соответствии с требованиями действующих правил техники безопасности.

9.9.5. При ремонте кабельной линии должны применяться вставки из предварительно испытанного повышенным напряжением отрезка кабеля соответствующей марки и сечения.

9.9.6. Перед монтажом соединительных муфт при ремонте кабельной линии фазировку рекомендуется производить непосредственно на месте монтажа.

9.9.7. При выполнении ремонта открыто проложенных кабелей при необходимости производится также ремонт кабельных сооружений (туннелей, колодцев, каналов, шахт и пр.).

9.9.8. Одновременно с ремонтом кабелей производится проверка и восстановление бирок, предупредительных и опознавательных надписей и пр.

9.9.9. По окончании ремонтных работ на кабельной линии должен быть составлен исполнительный эскиз. По этому эскизу должны быть произведены все исправления в технической документации (планы трасс, схемы, паспортные карты и пр.). На вновь смонтированные муфты должны быть установлены маркировочные бирки.

9.9.10. После капитального ремонта кабельной линии должны быть произведены испытания и измерения в соответствии с установленными нормами.

9.9.11. После ремонтов на кабельных линиях, не связанных с отсоединением концов кабеля (восстановление лакового покрытия на фазах, исправление заземлений, обновление или смена маркировочных бирок), фазировка линии и ее высоковольтные испытания не производятся.

9.9.12. При выполнении ремонтных работ на кабельных линиях, проложенных в земле, и особенно в кабельных сооружениях должны соблюдаться следующие меры пожарной безопасности:

- при пользовании открытым огнем (газовая горелка) на месте работ должны быть огнетушители (не менее двух), ведра с сухим мелким песком, кошма или брезент, листы асбеста для ограждения работающих кабелей и плотно закрывающийся металлический ящик с крышкой для сбора отходов разделки кабеля и других горючих материалов;

- бензин на месте работы должен храниться в металлической посуде с пробкой на резьбе.

9.10 Технология и материалы ремонта оболочек кабелей

9.10.1. Ремонт оболочки кабелей производится, как правило, в случае ее повреждения при высоковольтных испытаниях после прокладки кабельной линии. При этом должно быть определено и открыто для осмотра место повреждения оболочки. Если по условиям прокладки КЛ место повреждения оболочки открыть для осмотра затруднительно или невозможно, решение о целесообразности ремонта оболочки принимает руководитель прокладки или шеф-инженер.

9.10.2. При наличии такой возможности осмотр повреждения оболочки кабеля производится в присутствии руководителя прокладки или шеф-инженера с составлением акта, в котором отражается заключение о необходимости или отсутствии необходимости ремонта оболочки или иных элементов КЛ.

9.10.3. В случае, когда производится визуальный осмотр КЛ или ее элементов, доступных для осмотра, в процессе эксплуатации линии, повреждение оболочек силовых кабелей может быть выявлено по результатам осмотра. Решение о целесообразности ремонта оболочки принимает технический руководитель соответствующей службы или ответственный за электрохозяйство предприятия.

9.10.4. Ремонт полимерных оболочек кабелей с СПЭ-изоляцией может производиться с помощью термоусаживаемых манжет, лент ЛЭТСАР ЛП либо лент RULLE, а также равноценных им материалов.

9.10.5. Для ремонта рекомендуется использовать термоусаживаемые манжеты, например, фирмы «Tusco Electronics Raychem GmbH» длиной от 750 до 1500 мм. В приложении 3 приведены обозначения и основные размеры манжет. По согласованию с руководителя прокладки, шеф-инженером или техническим руководителем соответствующей службы допускается использовать другие равноценные термоусаживаемые манжеты.

9.10.6. Технология ремонта оболочки кабеля с использованием термоусаживаемых манжет предусматривает последовательное выполнение следующих действий:

- а) определить границу места ремонта оболочки кабеля (минимум по 100 мм в обе стороны от краев дефекта по длине кабеля).
- б) снять скребком все наплывы и выпуклые надписи в месте ремонта на поверхности оболочки. Снять полупроводящий слой по оболочке (при его наличии);
- в) зачистить шкуркой и обезжирить ацетоном поверхность оболочки в месте ремонта.
Допускается применение бензина, нефраса или уайт-спирита;
- г) из комплекта ремонтной термоусаживаемой манжеты взять замок и ножовкой по металлу отрезать от него по прорезам участок длиной, приблизительно равной длине места ремонта оболочки кабеля. Место разреза зачистить напильником от острых кромок и заусенцев. От самой манжеты отрезать участок длиной, равной длине замка;
- д) снять с подготовленного участка манжеты защитную пленку, обернуть манжету вокруг ремонтируемого кабеля таким образом, чтобы адгезивный подслой (клеевой состав) манжеты примыкал к оболочке кабеля, надвинуть на приливы манжеты замок;
- е) расположить манжету с замком симметрично относительно поврежденного места оболочки. Легким пламенем газовой горелки начать прогрев манжеты с середины со стороны, противоположной замку. Перемещая пламя горелки вдоль и по периметру манжеты, добиться ее осаживания на кабель, при этом необходимо следить, чтобы не было перегрева манжеты;
- ж) после полного прилегания манжеты к оболочке кабеля необходимо дополнительно прогреть зону вблизи замка манжеты. При правильной усадке манжеты после прогрева из-под концов манжеты на оболочку кабеля должен выдавиться в виде ровных валиков клеевой состав;
- з) после усадки необходимо дать манжете остыть до температуры ниже 35 °С. До остывания любые механические воздействия на место ремонта не допускаются.

9.10.7. Технология ремонта оболочки кабеля с использованием лент ЛЭТСАР ЛП предусматривает последовательное выполнение следующих действий:

- а) определить границы места ремонта оболочки (минимум по 150 мм в обе стороны от краев дефекта по длине кабеля);
- б) снять все наплывы или выпуклые надписи в месте ремонта на поверхности оболочки. Снять полупроводящий слой по оболочке (при его наличии);
- в) зачистить шкуркой и обезжирить ацетоном поверхность оболочки в месте ремонта. Допускается применение авиационного бензина, нефраса или уайт-спирита;
- г) в случае, если повреждения имеют вид сквозных отверстий, трещин или разрывов шириной (или максимальным диаметром) более 3 мм, заложить туда кусочки ленты ЛЭТСАР ЛП и прижать их неострым предметом так, чтобы они находились на уровне наружной поверхности оболочки или выступали над оболочкой не более, чем на 1 мм;
- д) поверхность оболочки в месте расположения дефекта, а также на участках по 100 мм в обе стороны от краев дефекта по длине кабеля промазать лаком КО-916 и дать лаку подсохнуть;
- е) на поверхность оболочки, покрытую лаком, наложить четыре слоя ленты ЛЭТСАР ЛП с 50%-ным перекрытием витков;
- ж) поверх ленты ЛЭТСАР ЛП с заходом на оболочку кабеля на 50 мм с обеих сторон от намотанной ленты промазать поверхность лаком КО-916 и дать лаку подсохнуть;
- з) поверх ленты ЛЭТСАР ЛП с заходом на оболочку кабеля на 50 мм с обеих сторон от намотанной ленты на поверхность, промазанную лаком, наложить два слоя ленты из ПВХ пластиката с 50%-ным перекрытием витков;
- и) поверх ленты из ПВХ пластиката, не доходя 25 мм до границ ее намотки с обеих сторон, наложить с предварительным прогревом пламенем газовой горелки два слоя смоляной ленты с 50%-ным перекрытием витков;
- к) после наложения смоляной ленты необходимо дать кабелю остыть в месте ремонта до температуры ниже 35 °С. До остывания любые механические воздействия на место ремонта запрещаются.

9.10.8. Ленты RULLE выполнены из этиленпропиленовой резины с клейким слоем из бутилкаучука, закрытым защитной пленкой, которая снимается при монтаже. Толщина лент 2 мм, ширина 60 мм. Технология ремонта оболочки кабеля с использованием лент RULLE предусматривает последовательное выполнение следующих действий:

- а) определить границы места ремонта оболочки (минимум по 100 мм в обе стороны от краев дефекта по длине кабеля);
- б) снять все наплывы или выпуклые надписи в месте ремонта на поверхности оболочки. Снять полупроводящий слой по оболочке (при его наличии);
- в) зачистить шкуркой и обезжирить ацетоном поверхность оболочки в месте ремонта. Допускается применение авиационного бензина, нефраса или уайт-спирита;
- г) на поверхность оболочки в месте расположения дефекта, а также на участках по 100 мм в обе стороны от краев дефекта по длине кабеля намотать в три слоя с 50%-ным перекрытием ленту RULLE. Наматывать клеевым слоем к оболочке кабеля, при намотке снимать с клеевого слоя защитную ленту. При намотке следует вытягивать ленту RULLE так, чтобы нарисованные на ее поверхности овалы превратились в круги.

9.10.9. После ремонта полимерной оболочки кабеля следует обеспечить аккуратную укладку отремонтированного участка кабеля, избегая возникновения задигов, порезов, царапин и пр. дефектов на его наружном покрове.

9.11 Надзор за состоянием кабельных линий

9.11.1. Надзор за трассами кабельных линий, кабельными сооружениями и кабельными линиями в целях проверки их состояния и соблюдения правил охраны электрических сетей производится периодическим обходом и осмотром оперативным персоналом или специально выделенными для этого монтерами, инженерно техническим персоналом в сроки, предусмотренные ПТЭ и местными инструкциями.

9.11.2. Внеочередные обходы и осмотры производятся после паводков и после ливней, а также при отключении линий релейной защитой.

9.11.3. При обходах и осмотрах трасс кабельных линий, проложенных на открытых территориях, необходимо:

- проверять, чтобы на трассе и в охранной зоне КЛ не производились не согласованные с энергопредприятием работы (строительство сооружений, раскопка земли, посадка растений, устройство складов, забивка свай, столбов и т. п.), а также, чтобы не было завалов трасс снегом, мусором, шлаком, отбросами, не было провалов и оползней грунта;
- осматривать места пересечения кабельных трасс с железными дорогами, обращая внимание на наличие предупредительных плакатов и на надежное металлическое соединение рельсов электрифицированных железных дорог в местах стыков;
- осматривать места пересечения кабельных трасс шоссейными дорогами, канавами и кюветами;
- осматривать состояние устройств и кабелей, проложенных по мостам, дамбам, эстакадам и другим подобным сооружениям;

- проверять в местах выхода кабелей на стены зданий или опоры воздушных линий электропередачи наличие и состояние защиты кабелей от механических повреждений, исправность концевых муфт.

9.11.4. При обходах и осмотрах трасс кабельных линий, проложенных на закрытых территориях, кроме выполнения рекомендаций п. 3.5.3, необходимо:

- при выявлении нарушений правил охраны электрических сетей на трассах линий вручать нарушителю предписание об их устранении;
- в случае выявления не устраненных в установленный при предыдущем осмотре срок недостатков составлять протокол о нарушении.

9.11.5. Осмотр кабельных сооружений и кабельных линий, проложенных в кабельных сооружениях, должен производиться специально выделенным персоналом электростанции или электрической сети.

При осмотре кабельных сооружений и кабельных линий, проложенных в кабельных сооружениях, необходимо:

- проверять внешнее состояние соединительных муфт и концевых муфт;
- проверять, нет ли смещений и провесов кабелей, соблюдены ли предусматриваемые ПУЭ расстояния между кабелями; проверять исправность освещения, водоотлива, вентиляции; измерять температуру воздуха в помещениях;
- проверять исправность устройств сигнализации и пожаротушения; проверять состояние строительной части, дверей, люков и их запоров, крепежных конструкций, наличие разделительных несгораемых перегородок и плотности заделки кабелей в местах прохода через стены, перекрытия и перегородки; проверять наличие и правильность маркировки кабелей; проверять, нет ли посторонних предметов, строительных и монтажных материалов, обтирочных концов, тряпок, мусора и пр.; проверять, не проникают ли грунтовые и сточные воды, нет ли технологических отходов производства.

9.11.6. В случаях, когда кабельные сооружения и распределительные устройства или подстанции принадлежат разным организациям, осмотр концевых участков и концевых муфт кабельных линий в РУ и ПС должен производиться представителями этих организаций.

9.11.7. Результаты обходов и осмотров оформляются следующим образом:

- 1) Результаты обходов и осмотров КЛ, их трасс и кабельных сооружений регистрируются в журнале по обходам и осмотрам. Кроме того, все обнаруженные дефекты на трассах КЛ должны быть записаны в журнал дефектов и неполадок или в карты дефектов.
- 2) При выявлении дефектов, требующих немедленного устранения, производящий обход и осмотр обязан немедленно сообщить об этом своему непосредственному начальнику, дежурному персоналу организации, эксплуатирующей КЛ и ответственному персоналу предприятия (организации) владельца электроустановки.

- 3) Результаты осмотра трасс кабельных линий инженерно-техническим персоналом регистрируются в журнале дефектов и неполадок или в карте дефектов.
- 4) При обнаружении на трассе и в охранной зоне КЛ производства земляных работ, выполняемых без разрешения предприятия (организации) - владельца кабельной сети, а также других нарушений действующих правил охраны электрических сетей производящий обход и осмотр должен принять меры по предотвращению выше указанных нарушений, сообщить об этом своему непосредственному начальнику и сделать запись в журнале обходов и осмотров.
- 5) Результаты осмотров открыто проложенных КЛ и кабельных сооружений регистрируются инженерно-техническим персоналом, производящим осмотр, соответственно в паспортах данного сооружения и в журнале дефектов и неполадок кабельных линий.
- 6) При обнаружении дефектов в результате осмотров концевых участков кабелей и концевых муфт в распределительных устройствах электростанций и подстанций сведения о них передаются владельцу.

Приложение 1 (Справочное) Пример расчета защит от замыканий на землю подстанции с резисторами в нейтрали

К секции шин подстанции 6 кВ подключено несколько присоединений (табл. № А.1).

При известных марках, сечениях и длинах линий присоединений емкостный ток однофазного замыкания на землю в амперах может быть определен расчетным путем:

$$I_C = 3 \cdot \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} \cdot \omega \cdot C_{уд} \cdot L, \text{ А} \quad (\text{А.1})$$

где $U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, В;

ω – угловая частота, рад;

$C_{уд}$ – удельная емкость линии (в частности, кабельной), Ф/км;

L – длина линии, км.

Табл. № А.1 – Емкостные токи присоединений секции шин

№ ячейки	Присоединение	Марка, сечение кабеля	Длина, м	Уд. емкость, мкФ/км	Емкость, мкФ	Емкостной ток, А	
яч.4	п/ст 2 ввод I	АСБ 2(3х95)	2500	0,247	1,235	4,03	6,0
	п/ст 2 яч.2	ААШВ 3х70	400	0,214	0,086	0,28	
	п/ст 2 яч.4	ААШВ 3х185	1520	0,343	0,521	1,70	
яч.6	п/ст 3 ввод I	АСБ 3(3х150)	4000	0,311	3,73	12,2	14,5
	п/ст 3 яч.2	АСБГ 3х120	2500	0,278	0,695	2,26	
яч.8	п/ст 4 ввод I	АСБ 3(3х95)	850	0,247	0,630	2,06	6,6
	п/ст 4 яч.2	АСБ 3х120	1700	0,278	0,47	1,54	
	п/ст 4 яч.4	ААШВ 3х185	2700	0,343	0,93	3,0	

Защиты присоединений должны быть отстроены от максимального собственного емкостного тока. Ток срабатывания защиты определяется по выражению:

$$I_{с.з.} \geq k_n \cdot k_{бр} \cdot I_{с. \text{ фид. max}}, \text{ А}, \quad (\text{А.2})$$

где

$k_n = 1,2$ – коэффициент надежности;

$k_{бр} = 1,5-2$ – для микропроцессорных реле.

При ремонте секции, или выходе из строя питающего кабеля соседней секции возможно включение секционного выключателя на питаемой подстанции. В таком случае токи возрастут. Считаем что питание разных секций происходит по абсолютно одинаковым линиям. В таком случае к ёмкостному току

присоединения добавятся емкостные токи кабельных линий отходящих от питаемой подстанции (см. табл. № А.2).

По заданному коэффициенту чувствительности можно определить требуемый активный ток резистора:

$k_q \geq 1,5$ – для защит воздушных и кабельных линий;

$k_q \geq 2$ – защит электродвигателей

Активный ток резистора определяется по условию обеспечения требуемой чувствительности в наиболее тяжелом режиме работы подстанции. Таким режимом, при малом числе присоединений секции шин, является режим наличия только защищаемого присоединения и резистора. Ток резистора определится по выражению:

$$I_{рез} = I_{СЗ} \cdot k_q \quad (A.3)$$

Таким образом минимальный ток резистора должен составлять 45,3 А, что для сети 6 кВ соответствует резистору с номиналом 76,5 Ом.

Табл. № А.2 – Токи резисторов и токи срабатывания защит

№ ячейки	ПС № О-2					
	I_C , А	$I_{C,рем}$, А	$I_{СЗ,расч}$, А	$I_{СЗ,рем}$, А	$I_{рез,рем}$, А	$I_{СЗ}$, А
яч.4	6,0	7,98	10,8	14,4	21,6	15
яч.6	14,5	16,8	26,1	30,2	45,3	30,5
яч.8	6,6	11,1	11,88	20,0	30,0	20

Примечание. Для защит с выдержкой времени коэффициент броска может быть принят равным 1. Что для данного расчетного случая позволило бы снизить требуемый активный ток резистора до 30,2 А, а сопротивление увеличить до 114 Ом. При этом защиты питающихся подстанций имели бы выдержку времени 0.5 секунды, а защиты рассматриваемой подстанции – 1 секунду.

Пуск защит по напряжению нулевой последовательности позволяет не отстраиваться от небалансов ТТНП возникающих при междуфазных коротких замыканиях.

Приложение Б (Справочное) Марки и основные области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Табл. № Б.1 – Марки и основные области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в полиэтиленовой оболочке на напряжения 6-35 кВ

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
ПвП; АПвП	Для стационарной прокладки в земле (в траншеях), независимо от коррозионной активности грунтов, если кабель защищен от механических повреждений. Допускается прокладка на воздухе при условии обеспечения дополнительных мер противопожарной защиты
ПвПу; АПвПу	То же, для прокладки по трассам сложной конфигурации
ПвПг; АПвПг ПвПуг; АПвПуг	Для стационарной прокладки в земле, а также в воде (в несудоходных водоемах) – при соблюдении мер, исключающих механические повреждения кабеля
ПвП2г; АПвП2г ПвПу2г; АП- вПу2г	Для стационарной прокладки в земле, а также в воде (в несудоходных водоемах) – при соблюдении мер, исключающих механические повреждения кабеля
ПвБП АПвБП	Для прокладки в земле (в траншеях), за исключением пучинистых и просадочных грунтов. Также могут применяться для прокладки по трассам сложной конфигурации
ПвБПг АПвБПг	То же, для прокладки в земле, а также в воде (в несудоходных водоемах) – при соблюдении мер, исключающих механические повреждения кабеля
ПвКП; АПвКП ПвКаП; АП- вКаП ПвКсП; АП- вКсП	Для прокладки в земле (в траншеях), в том числе в пучинистых и просадочных грунтах, в местах, где возможны механические воздействия на кабель, в том числе растягивающие, также могут применяться для прокладки по трассам сложной конфигурации
ПвКП2г АПвКП2г	Для прокладки в земле (в траншеях), в районах, где возможно смещение почвы, независимо от степени коррозионной активности грунтов, а также в воде (в несудоходных водоемах) при условиях, исключающих механические повреждения кабеля. Прокладка в стальной трубе не допускается
ПвПнг(В)-НГ АПвПнг(В)-НГ ПвПнг(А)-НГ АПвПнг(А)-НГ	Для стационарной прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях при отсутствии опасности механических повреждений при эксплуатации, где есть требования по ограничению воздействия коррозионно-активных газов
ПвБПнг(В)-НГ АПвБПнг(В)-НГ ПвБПнг(А)-НГ АПвБПнг(А)-НГ	Для стационарной прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях при наличии опасности механических повреждений и при отсутствии растягивающих усилий в процессе эксплуатации, где есть требования по ограничению воздействия коррозионно-активных газов

Табл. № Б.2 – Марки и основные области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена с оболочкой из поливинилхлоридного пластика на напряжения 6-35 кВ

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
ПвВ АПвВ	Для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях и производственных помещениях
ПвВнг; АпвВнг ПвВнг-LS; АпвВнг-LS	Для групповой прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях при условии отсутствия опасности механических повреждений
ПвБВ АпвБВ	Для прокладки в земле (в траншеях), за исключением пучинистых и просадочных грунтов, и для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях, в местах, где возможны механические воздействия на кабель за исключением растягивающих усилий
ПвКВ; АпвКВ	Для прокладки одиночных кабельных линий в кабельных сооружениях, в местах, где возможны механические воздействия на кабель, в том числе растягивающие
ПвКаВ; АпвКаВ	
ПвКсВ; АпвКсВ	
ПвБВнг; АпвБВнг ПвБВнг-LS; АпвБВнг-LS	Для групповой прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях, в местах, где возможны механические воздействия на кабель за исключением растягивающих усилий
ПвКВнг; АпвКВнг ПвКВнг-LS; АпвКВнг-LS	Для групповой прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях, в местах, где возможны механические воздействия на кабель, в том числе растягивающие. Допускается прокладка в сухих грунтах
ПвКаВнг; АпвКаВнг ПвКаВнг-LS; АпвКаВнг-LS	
ПвКсВнг; АпвКсВнг ПвКсВнг-LS; АпвКсВнг-LS	

Табл. № Б.3 – Марки и основные области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
ПвПг; АПвПг	Для стационарной прокладки в земле (в траншеях или бетонных лотках), вне зависимости от степени коррозионной активности грунта, если кабель защищен от механических повреждений. Кабели ПвП2г и АПвП2г могут быть проложены в воде (в несудоходных водоемах)
ПвП2г; АПвП2г	
ПвПу2г; АП- вПу2г	То же, для прокладки по трассам сложной конфигурации
ПвКПг; АП- вКПг	Для прокладки в земле (в траншеях), в районах, где возможны смещения почвы
ПвКП2г; АП- вКП2г	То же, на сырых и заболоченных участках, а также в воде
ПвВ; АПвВ	Для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях
ПвВу; АПвВу	То же, для прокладки в трубах и блоках
ПвВнг; АП- вВнг	Для групповой прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях

Табл. № Б.4 – Марки и основные области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжения 6-35 кВ производства «Юж-кабель» (Украина)

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
Кабели с СПЭ изоляцией и оболочкой из ПВХ пластиката (кабели нераспространяющие горение)	
АПвЭВ, АПвЭВнг, АП-вЭВнгд, АПвЭгВнг, АП-вЭгаВнг, АВвЭгаВнгд, ПвЭВ, ПвЭВнг, ПвЭВнгд, ПвЭгВнг, ПвЭгаВнг, ВвЭгаВнгд	Для прокладки в помещениях, туннелях, каналах, шахтах, сухом грунте и на открытом воздухе под навесом.
АПвЭВнг, АПвЭВнгд, АП-вЭгаВнг, АП-вЭгаВнгд, ПвЭВнг, ПвЭВнгд, ПвЭгаВнг, ПвЭгаВнгд	Прокладываются в пучках.
АПвЭВнгд, АПвЭгаВнгд, ПвЭВнгд, ПвЭгаВнгд	Для прокладки на объектах, где предъявляются требования к пониженному дымогазовыделению (АЭС, метрополитены, крупные промышленные объекты, высотные здания и т.д)
АПвЭгВнг, АПвЭгаВнг, АПвЭгаВнгд, ПвЭгВнг, ПвЭгаВнг, ПвЭгаВнгд	Для прокладки в сырых помещениях и кабельных каналах
Кабели с СПЭ изоляцией и оболочкой из полиэтилена	
АПвЭгП, АПвЭгаП, АП-вЭгПу, АПвЭгаПу, ПвЭгП, ПвЭгаП, ПвЭгПу, ПвЭгаПу	Кабели предназначены для прокладки в помещениях, туннелях, каналах, шахтах, земле (траншеях). Кабели с герметизацией экрана (с маркировкой «га») применяются в грунтах с повышенной влажностью и сырых, частично затапливаемых помещениях. Кабели с усиленной оболочкой предназначены для прокладки на сложных участках трасс в соответствии с ЕТУ.
Кабели с СПЭ изоляцией, бронированные стальными лентами	
АПвЭБП, АПвЭБВ, АП-вЭБВнг, АПвЭБВнгд, ПвЭБП, ПвЭБВ, ПвЭБВнг, ПвЭБВнгд	В помещениях, туннелях, каналах, шахтах, сухих грунтах, в местах, где возможны механические воздействия на кабель.
АПвЭБП, ПвЭБП	В земле (траншеях) с высокой коррозионной активностью грунта.
АПвЭБВнг, АПвЭБВнгд, ПвЭБВнг, ПвЭБВнгд	Для прокладки в пучках.
АПвЭБВнгд, ПвЭБВнгд	На объектах, где предъявляются требования к пониженному дымогазовыделению (АЭС, метрополитены, крупные промышленные объекты, высотные здания и т.д.).
Кабели с СПЭ изоляцией, бронированные стальной проволокой	
АПвЭКП, АПвЭКВ, АП-	Кабели применяются в помещениях, туннелях, каналах, шах-

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
вЭКВнг, АПвЭКВнгд, ПвЭКП, ПвЭКВ, ПвЭКВнг, ВвЭКВнгд	тах, сухих грунтах, в местах, где возможны механические воздействия на кабель, в том числе растягивающие усилия.
АПвЭКП, ПвЭКП	В земле (траншеях) с высокой коррозионной активностью грунта.
АПвЭКВнг, АПвЭКВнгд, ПвЭКВнг, ПвЭКВнгд	Прокладываются в пучках.
АПвЭКВнгд, ПвЭКВнгд	Для прокладки на объектах, где предъявляются требования к пониженному дымогазовыделению (АЭС, метрополитены, крупные промышленные объекты, высотные здания и т.д.).
Одножильные кабели с СПЭ изоляцией	
АПвЭАкП, АПвЭАкВ, АП- вЭАкВнг, АПвЭАкВнгд, ПвЭАкП, ПвЭАкВ, ВвЭАкВнг, ВвЭАкВнгд	В помещениях, туннелях, каналах, шахтах, сухих грунтах, в местах, где возможны механические воздействия на кабель, в том числе растягивающие усилия
АПвЭАкП, ПвЭАкП	В земле (траншеях) с высокой коррозионной активностью грунта
АПвЭАкВнг, АПвЭАкВнгд, ПвЭАкВнг, ПвЭАкВнгд	Прокладываются в пучках.
АПвЭАкВнгд, ПвЭАкВнгд	Для прокладки на объектах, где предъявляются требования к пониженному дымогазовыделению (АЭС, метрополитены, крупные промышленные объекты, высотные здания и т.д.).
Кабели с СПЭ изоляцией и оболочкой из полимерной композиции, не распространяющей горение	
АПвЭгПнг, ПвЭгПнг, АП- вЭгПнг-НФ, ПвЭгПнг-НФ	Для прокладки в помещениях, туннелях, каналах, шахтах и на открытом воздухе. Возможна эксплуатация кабеля под воздействием прямых солнечных лучей.
АПвЭгПнг-НФ, ПвЭгПнг- НФ	Для прокладки на объектах, где предъявляются требования к пониженному выделению дыма и коррозионноактивных газов, отсутствию галогенов (АЭС, метрополитен, высотные здания, крупные промышленные объекты и т. Д.).
Кабели с СПЭ изоляцией, бронированные стальными лентами, с оболочкой из полимерной композиции, не распространяющей горение	
АПвЭБПнг, ПвЭБПнг, АП- вЭБПнг-НФ, ПвЭБПнг-НФ	В помещениях, туннелях, каналах, шахтах, сухих грунтах, в местах, где возможны механические воздействия на кабель и на открытом воздухе. Возможна эксплуатация кабеля под воздействием прямых солнечных лучей.
АПвЭБПнг-НФ, ПвЭБПнг- НФ	Для прокладки на объектах, где предъявляются требования к пониженному выделению дыма и коррозионноактивных газов, отсутствию галогенов (АЭС, метрополитены, крупные промышленные объекты, высотные здания и т.д.).
Кабели с СПЭ изоляцией, бронированные стальной проволокой, с оболочкой из полимерной композиции, не распространяющей горение	

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
АПвЭКПнг, ПвЭКПнг, АП-вЭКПнг-НГ, ПвЭКПнг-НГ	В сухих грунтах и местах, где кабель подвергается механическим воздействиям, в том числе значительным растягивающим усилиям.
АПвЭКПнг-НГ, ПвЭКПнг-НГ	Для прокладки на объектах, где предъявляются требования к пониженному выделению дыма и коррозионноактивных газов, отсутствию галогенов (АЭС, метрополитены, крупные промышленные объекты, высотные здания и т.д.).
Одножильные кабели с СПЭ изоляцией, с оболочкой из полимерной композиции, не распространяющей горение	
АПвЭАкПнг, ПвЭАкПнг, АПвЭАкПнг-НГ, ПвЭАкПнг-НГ	В помещениях, туннелях, каналах, шахтах, сухих грунтах, в местах, где возможны механические воздействия на кабель, в том числе растягивающие усилия.
АПвЭАкПнг-НГ, ПвЭАкПнг-НГ	Для прокладки на объектах, где предъявляются требования к пониженному выделению дыма и коррозионноактивных газов, отсутствию галогенов (АЭС, метрополитены, крупные промышленные объекты, высотные здания и т.д.).
Кабели с общим экраном, с СПЭ изоляцией и оболочкой из полимерной композиции, не распространяющей горение	
АПвЭоПнг, ПвЭоПнг, АП-вЭоПнг, ПвЭоПнг, АП-вЭоПнг-НГ, ПвЭоПнг-НГ, АПвЭваПнг-НГ, ПвЭваПнг-НГ	Для прокладки в помещениях, сухих кабельных туннелях и каналах, по кабельным эстакадам и на открытом воздухе под воздействием прямых солнечных лучей.
АПвЭоаПнг, ПвЭоаПнг, АПвЭоаПнг-НГ, ПвЭоаПнг-НГ	Для прокладки во влажных кабельных туннелях и каналах при условии обеспечения защиты оболочки кабелей от механических повреждений.
АПвЭоПнг-НГ, ПвЭоПнг-НГ, АПвЭоаПнг-НГ, ПвЭоаПнг-НГ	Для прокладки на объектах, где предъявляются требования к пониженному выделению дыма и коррозионноактивных газов, отсутствию галогенов (АЭС, метрополитен, высотные здания, крупные промышленные объекты и т. Д.).

Табл. № Б.5– Марки и основные области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжения 6-35 кВ производства «Nexans» (Германия)

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
N2XS2Y, NA2XS2Y	Для прокладки в земле, в воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах
N2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y	Для прокладки в в грунтах повышенной влажности, в сырых часто затапливаемых помещениях, в кабельных коллекторах
N2XS(FL)2Y, NA2XS(FL)2Y	Для прокладки в в грунтах повышенной влажности, в сырых часто затапливаемых помещениях, в кабельных коллекторах
N2XSY, NA2XSY	Для прокладки в земле, в воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах
2XSEY, A2XSEY	Для прокладки в земле, в воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах
2XSEYBY, A2XSEYBY	Для прокладки в земле, в воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах
2XSYBY, A2XSYBY	Для прокладки в земле, в воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах
2XSEYRG2Y, A2XSEYRG2Y	Для прокладки в земле, в воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах
2XSEYFG2Y, A2XSEYFG2Y	Для прокладки в земле, в воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах
2XSH	Для прокладки на открытом воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах, при групповой прокладке
2XSEH	Для прокладки на открытом воздухе, в закрытых помещениях, в кабельных коллекторах, при грунтовой прокладке

Табл. № Б.6 – Марки и основные области применения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжения 10-110 кВ производства «Reka Kabel» (Финляндия)

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
10 кВ	
NA2XSE2Y	Для прокладки в земле (в траншеях), если кабель защищен от механических повреждений, для прокладки по трассам сложной конфигурации
NA2XSEY	Для прокладки в земле (в траншеях), если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
A2XSYBY	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки по трассам сложной конфигурации, если кабель защищен от механических повреждений, для групповой прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
10, 20, 35 кВ	
АНХСМК–WTC/PE	Для прокладки в земле (в траншеях), если кабель защищен от механических повреждений, для прокладки по трассам сложной конфигурации
АНХСМК–WTC	Для прокладки в земле (в траншеях), если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
АНХСМК–WTT	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки в грунтах повышенной влажности, а также в воде (в несудоходных водоемах), для прокладки по трассам сложной конфигурации, если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
АНХАМК–W	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки в грунтах повышенной влажности, а также в воде (в несудоходных водоемах), для прокладки по трассам сложной конфигурации, если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
АНХАМК–WM	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки в грунтах повышенной влажности, а также в воде (в несудоходных водоемах), для прокладки по трассам сложной конфигурации, для раскатки по опорам воздушных линий электропередач, если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
НХСМК	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки по трассам сложной конфигурации (в случае полиэтиленовой оболочки), если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
НХСМК–HF	Для прокладки в земле (в траншеях), если кабель защищен от механических повреждений, для групповой прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
110 кВ	
АНХСНВМК	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки в грунтах повышенной влажности, а также в воде (в несудоходных водоемах), для прокладки

Марка кабеля	Основная область применения
1	2
	по трассам сложной конфигурации, если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
HXCHBMK	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки в грунтах повышенной влажности, а также в воде (в несудоходных водоемах), для прокладки по трассам сложной конфигурации, если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
NA2XS(FL)2Y	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки в грунтах повышенной влажности, а также в воде (в несудоходных водоемах), для прокладки по трассам сложной конфигурации, если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях
N2XS(FL)2Y	Для прокладки в земле (в траншеях), для прокладки в грунтах повышенной влажности, а также в воде (в несудоходных водоемах), для прокладки по трассам сложной конфигурации, если кабель защищен от механических повреждений, для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и промышленных помещениях

Приложение В (Справочное) Условные обозначения кабелей с изоляцией СПЭ

Табл. № В.1 Условные обозначения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена российского и украинского (Южкабель) производства

Жила	Без обозначения	Медная жила, напр., ПвП
	А	Алюминиевая жила, напр., АПвП
	гж	Герметизация жилы, напр., АПвП 1х120(гж)/35-10
	3х	Три одножильных кабеля, скрученных вместе
Изоляция	Пв	Изоляция из сшитого (вулканизированного) полиэтилена, напр., АПвВ
Броня	Б	Броня из двух стальных оцинкованных лент с подушкой, напр. АПвБП
	К	Броня из стальных проволок, напр. АПвКП
	Ка	Броня из алюминиевых проволок, напр. АПвКаП
	Кс	Броня из проволок алюминиевого сплава, напр. АПвКсП
Наружная оболочка	П	Оболочка из полиэтилена, напр., АПвП
	Пу	Усиленная оболочка увеличенной толщины из полиэтилена, напр. АПвПу
	П-НГ	Оболочка из полимерной композиции, не содержащей галогенов, напр., АПвПнг-НГ
	В	Оболочка из ПВХ пластика, напр., АПвВ
	Пнг (А)*	Наружная оболочка из полимерной композиции, не распространяющей горение (категория А по нераспространению горения в пучках по ИЕС 60332-3)
	Внг	Оболочка из ПВХ пластика пониженной горючести с индексом: А – предел распространения горения ПРГП 1; В – предел распространения горения ПРГП 2;напр., АПвВнг(В)-LS
	Внг –LS Внгд	Оболочка из ПВХ пластика пониженной горючести с пониженным дымо- и газовыделением, напр., АПвВнг-LS
После обозначения оболочки	г	Продольная герметизация экрана водоблокирующими лентами, напр., АПвПг
	2г	Двойная герметизация: алюмополимерная лента, сваренная с оболочкой, для защиты от проникновения влаги в сочетании с продольной герметизацией водоблокирующими лентами, напр., АПвП2г

Экраниро- вание	Э	Медный экран по изолированной жиле
	Эо	Общий медный экран сердечника трехжильных кабелей
	Эоа	Герметизация общего экрана алюмополиэтиленовой лентой
	г	Продольная герметизация экрана водонабухающими лентами
	га	Продольная и поперечная герметизация экрана водонабухающими лентами и алюмополимерной лентой
	П	Наружная оболочка из полиэтилена или сополимера полиэтилена
Климат-ое исполне- ние	-	Исполнение У (УХЛ) (без обозначения)
	Т	Исполнение Т (тропическое)
	nxS/ Sэкр	Число жил номинальное сечение в мм ² /номинальное сечение экрана в мм ²

Табл. № В.2 Условные обозначения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена производства Nexans (Германия)

	N	Немецкий стандарт DIN-VDE
	F	Изолированный воздушный кабель
Жила	Без обозначения	Медная жила
	A	Алюминиевая жила
Изоляция	Y	Изоляция из поливинилхлоридного (ПВХ) пластика-та
	2X	Изоляция из сшитого полиэтилена
	HX	Изоляция из сшитой композиции пониженной горючести, не содержащей галогенов
Концентрический проводник	C	Концентрический проводник из медных проволок и медной ленты, намотанный по спирали
Металлический экран	S	Экран из медной проволоки и медной ленты, намотанный по спирали
	SE	Экран из медной проволоки и медной ленты вокруг каждой жилы кабеля, намотанный по спирали
Водоблокирующие элементы	(F)	Водонепроницаемый экран из водонабухающей ленты, обеспечивающий продольную герметизацию
	(FL)	Водонепроницаемый экран из водонабухающей ленты, обеспечивающий продольную герметизацию, и экран из алюмополимерной ленты, обеспечивающий поперечную герметизацию
Броня	B	Броня из двух стальных оцинкованных лент
	R	Броня из круглых стальных оцинкованных проволок
	F	Броня из плоских стальных оцинкованных проволок
	G	Броня из стальной оцинкованной ленты, наложенной с зазором
Оболочка	K	Оболочка из свинца
	Y	Оболочка из ПВХ-пластиката
	2Y	Оболочка из полиэтилена
	H	Оболочка из композиции пониженной горючести, не содержащая галогенов
Несущий элемент	T	Несущий элемент

Табл. № В.3 Условные обозначения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена производства Reka Kabel (Финляндия)

	N	Немецкий стандарт DIN-VDE
Жила	Без обозначения	Медная жила
	A	Алюминиевая жила
	H	Наличие полупроводящих экранов по жиле и по изоляции
Изоляция	X	Изоляция из сшитого полиэтилена
	M	Изоляция из пластика (полиэтилен, ПВХ)
Металлический экран	A	Алюминиевый экран
	C	Медный экран
Оболочка	M	Оболочка из пластика (полиэтилен, ПВХ)
	K	Силовой кабель

Приложение Г (Справочное) Выбор сечения жилы кабеля с учетом способа заземления экрана

Выбор сечения жилы неразрывно связан с выбором способа заземления экранов, в качестве которого, прежде всего, рассматриваются двустороннее заземление экранов, одностороннее заземление экранов, один или два полных цикла транспозиции экранов [Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 153 с.].

В каталоге производителя кабеля необходимо найти два разных сечения жилы, обеспечивающие пропускную способность по току I_H , достаточную для электроснабжения выбранной нагрузки:

- а) в случае простого двустороннего заземления экранов это будет $F_{Ж}$;
- б) в случае одностороннего заземления экранов или транспозиции экранов это будет «идеальное» меньшее по величине сечение жилы $F_{Ж,ИД} < F_{Ж}$.

Затем определяют стоимость $C_{Ж}$ трехфазной группы однофазных кабелей с сечением жилы $F_{Ж}$ и стоимость $C_{Ж,ИД}$ такой же группы с сечением $F_{Ж,ИД}$. Разность стоимостей будет $\Delta C_{Ж} = C_{Ж} - C_{Ж,ИД}$.

Экономический эффект от борьбы с паразитными потерями мощности в экранах однофазных кабелей связан не только с экономией ΔC на стоимости жилы кабеля, но и с экономией на эксплуатационных издержках, вызванных необходимостью постоянно оплачивать потери мощности в экранах. Расчеты стоимости потерь C_T проводят в соответствии с табл. №Г.1-Г.2, где в качестве времени существования потерь удобно принять нормативный срок окупаемости капитальных вложений в энергетике, равный $T = 8$ лет.

Табл. № Г.1 Исходные данные для оценки стоимости потерь мощности в экранах

Величина	Выражение
Длина кабеля, м	L_K
Погонное активное сопротивление жилы, Ом/м	$R_{Ж}^* = \rho_{Ж} / F_{Ж}$
Среднегодовой ток в жиле, А	$I_{Ж}$
Соотношение потерь, о.е.	$D_P = P_{Э} / P_{Ж}$
Цена электроэнергии руб/(кВт·час)	C

Табл. № Г.2 Оценка стоимости потерь мощности в экранах

Величина	Выражение
Потери мощности в жиле одной фазы, Вт	$P_{\text{ж}} = I_{\text{ж}}^2 \cdot (R_{\text{ж}}^* \cdot L_{\text{ж}})$
Потери мощности в экране одной фазы, Вт	$P_{\text{э}} = D_{\text{р}} \cdot P_{\text{ж}}$
Потери энергии в экранах трех фаз за год, кВт·час	$W_{\text{год}} = \frac{3P_{\text{э}}}{1000} \cdot 8760$
Стоимость потерь энергии в экранах трех фаз за год, руб	$C_{\text{год}} = W_{\text{год}} \cdot \text{Ц}$
Стоимость потерь энергии в экранах трех фаз за T лет эксплуатации кабеля, руб	$C_T = T \cdot C_{\text{год}}$

Если сумма $\Delta C_{\text{ж}} + C_T$ больше стоимости реализации мер по борьбе с потерями в экранах (одностороннее заземление или транспозиция), то борьба выгодна, иначе – невыгодна.

1. Если борьба невыгодна, то необходимо применять кабель с сечением жилы $F_{\text{ж}}$, а для экранов применять простое двустороннее заземление.
2. Если борьба выгодна, то необходимо рассчитать напряжение на экране по формулам из табл. № Г.3, а результаты сопоставить с максимально допустимыми напряжениями из табл. № Г.4:

- когда напряжение меньше допустимого, борьба с потерями не только выгодна, но и возможна; при этом сечение жилы кабеля принимается равным $F_{\text{ж,ид}}$, а способ заземления экранов – наиболее удобным из тех, которые экономически выгодны и возможны по напряжению (это будет или заземление экранов с одной стороны, или транспозиция экранов);
- если напряжение больше допустимого, то борьба с потерями невозможна; тогда сечение жилы выбирают равным $F_{\text{ж}}$, а для экранов применяют простое двустороннее заземление.

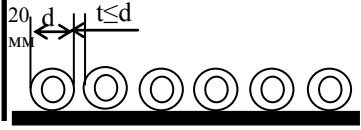
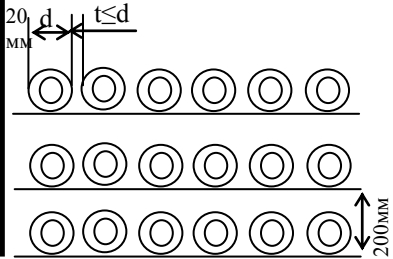
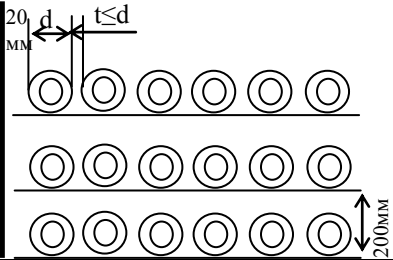
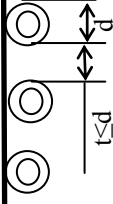
Табл. № Г.3 Напряжение (В), наводимое на экран кабеля относительно земли

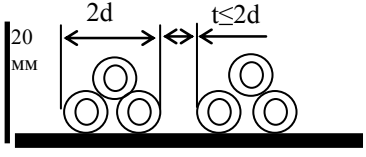
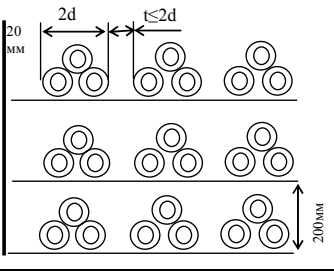
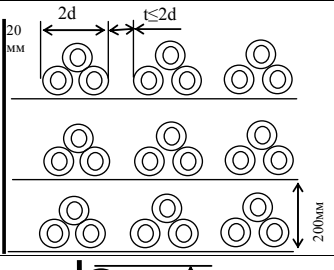
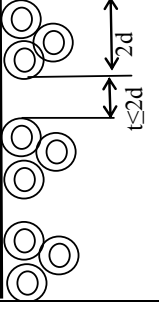
№	Состояние экранов	Симметричный режим работы (нормальный или трехфазное короткое замыкание вне кабе- ля)	Режим однофазного коротко- го замыкания вне кабеля
1	Заземлены с одной стороны $K = 1, 2, \dots$	$\frac{1}{K} \cdot U_{\vartheta} \cdot \frac{I_{\text{ж}}}{1000} \cdot \frac{L_{\text{к}}}{1000}$	$\frac{1}{K} \cdot U_{\vartheta} \cdot \frac{I_{\text{ж}}}{1000} \cdot \frac{L_{\text{к}}}{1000}$
2	Заземлены с двух сторон	≈ 0	≈ 0
3	Транспонированы $N = 1, 2, \dots$	$\frac{1}{3N} \cdot U_{\vartheta} \cdot \frac{I_{\text{ж}}}{1000} \cdot \frac{L_{\text{к}}}{1000}$	$\frac{2}{9N} \cdot U_{\vartheta} \cdot \frac{I_{\text{ж}}}{1000} \cdot \frac{L_{\text{к}}}{1000}$

**Табл. № Г.4 Эпюры распределения напряжения при транспозиции экра-
нов**

Схема соединения экранов	Распределение напряжения на экране относительно земли
Рис. №Г.1	
Рис. №Г.2	

Приложение Д (Справочное) Коэффициенты, учитывающие изменение токов кабелей

NN п/п	Вид проклад- ки	Кол-во гориз. рядов кабелей	Размещение кабелей	Коэффициент снижения тока при коли- честве цепей в горизон- тальном ряду		
1	2	3	4	5		
1	Прокладка в кабельном канале на по- лу	1		0,92	0,89	0,88
2	Прокладка на полках без циркуляции воздуха	1 2 3 4-6		0,92 0,87 0,84 0,82	0,89 0,84 0,82 0,80	0,88 0,83 0,81 0,79
3	Прокладка на каб. кон- струкциях с циркуляцией воздуха	1 2 3 4-6		1,00 0,97 0,96 0,94	0,97 0,94 0,93 0,91	0,96 0,93 0,93 0,90
4	Кабели за- креплены на стенах	3		0,94	0,91	0,89
5	Все приведенные виды прокладок 1-4 при расстоянии (t) больше диаметра кабеля.			1,0	1,0	1,0

NN п/п	Вид проклад- ки	Кол-во гориз. рядов кабе- лей	Размещение кабелей	Коэффициент снижения тока при коли- честве цепей в горизон- тальном ряду		
1	2	3	4	5		
6	Прокладка в кабельном канале на по- лу	1		0,95	0,90	0,88
7	Прокладка на полках без циркуляции воздуха	1 2 3 4-6		0,95 0,90 0,88 0,86	0,90 0,85 0,83 0,81	0,88 0,83 0,81 0,79
8	Прокладка на каб. кон- струкциях с циркуляцией воздуха	1 2 3 4-6		1,00 1,00 1,00 1,00	0,98 0,95 0,94 0,93	0,96 0,93 0,92 0,90
9	Кабели за- креплены на стенах	3		0,89	0,86	0,84
10	Все приведенные виды прокладок 6-9 при расстоянии ($t > 4d$)			1,00	1,00	1,00

Приложение Е (Рекомендуемое) Примеры прокладки кабелей

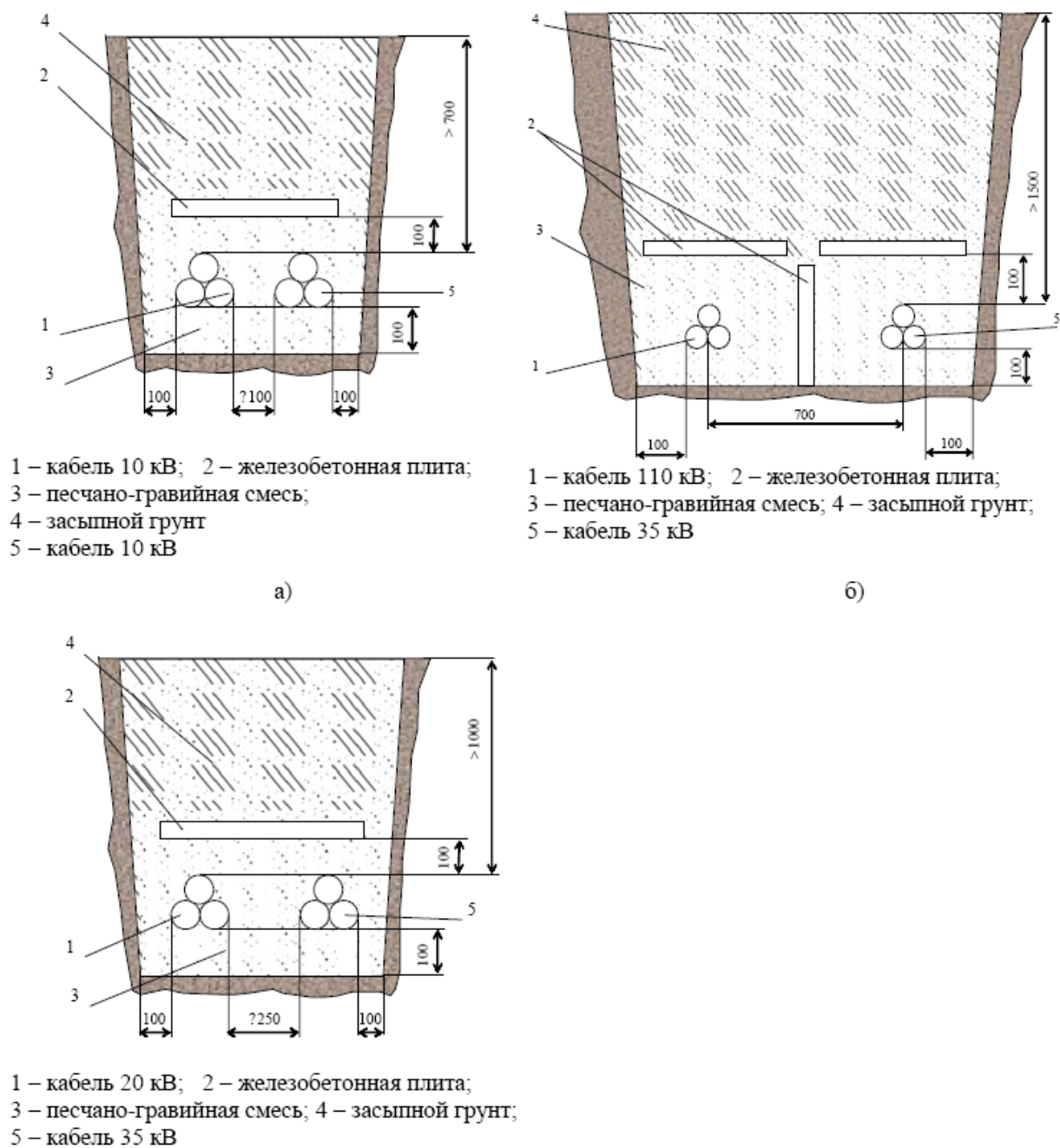
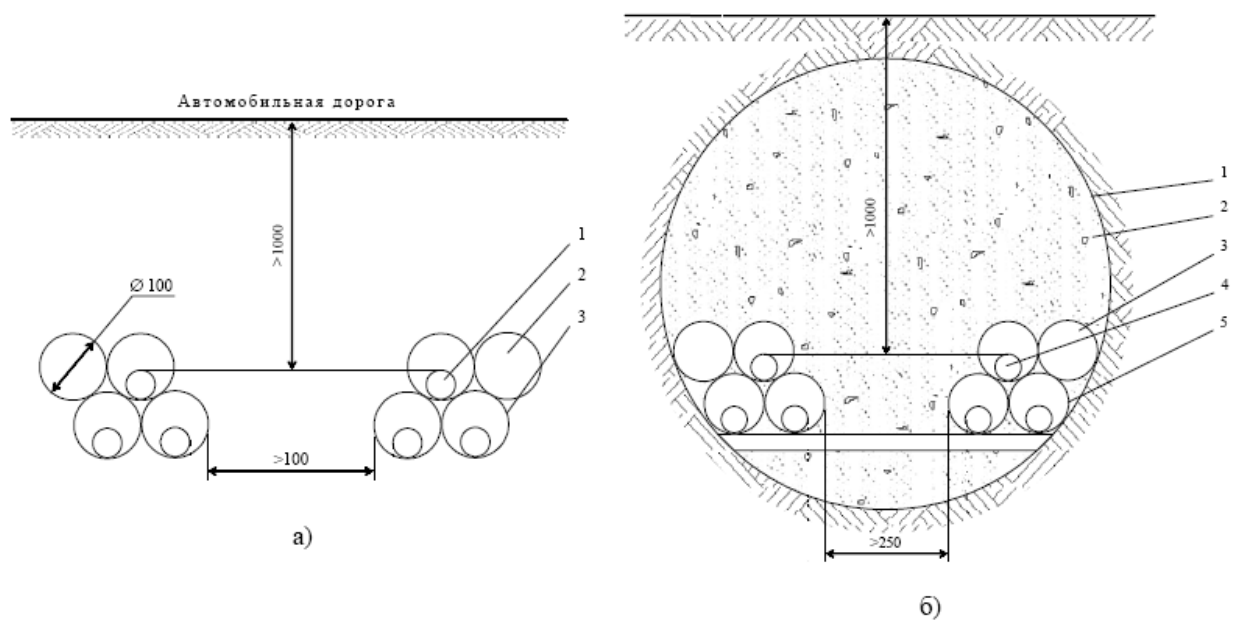


Рис. № Е.1 Примеры прокладки кабелей в траншеях



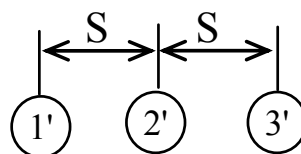
1 – кабель 10 кВ;
 2 – резервная асбоцементная труба;
 3 – асбоцементная труба

1 – стальная труба; 2 – бетон;
 3 – резервная асбоцементная труба;
 4 – кабель 35 кВ; 5 – асбоцементная труба

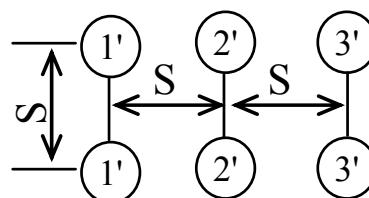
Рис. № Е.2 Примеры прокладки кабелей в трубах

Схема раскладки одножильных кабелей

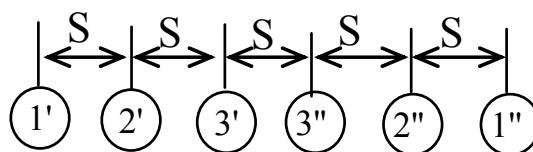
Один кабель на фазу



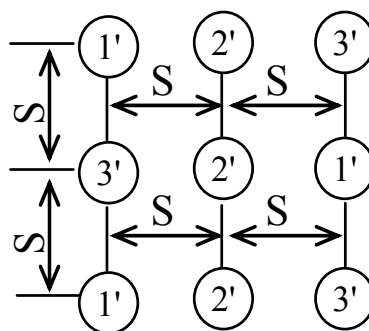
Два кабеля на фазу



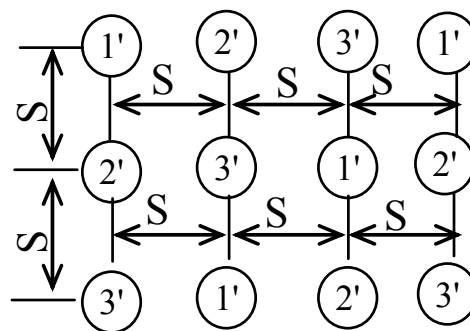
Два кабеля на фазу



Три кабеля на фазу



Четыре кабеля на фазу



Приложение Ж (Рекомендуемое) Классы пожаробезопасности

Табл. № Ж.1. Преимущественные области применения кабельных изделий с учетом их типа исполнения

Тип исполнения кабельного изделия	Класс пожарной опасности*	Преимущественная область применения
Без исполнения	O1.8.2.3.4	Для одиночной прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях. При групповой прокладке – обязательное применение средств пассивной огнезащиты
Исполнения – нг, нг (А), нг(А F/R), нг(В), нг(С)	П1.8.2.3.4 П2.8.2.3.4 П3.8.2.3.4 П4.8.2.3.4	Для групповой прокладки с учетом объема горючей загрузки в кабельных сооружениях, наружных (открытых) электроустановках (кабельных эстакадах, галереях). Не допускается применение в кабельных помещениях промышленных предприятий, жилых и общественных зданий
Исполнение нг-LS	П1.8.2.2.2 П2.8.2.2.2	Для групповой прокладки с учетом объема горючей загрузки в кабельных сооружениях и помещениях внутренних электроустановок, в том числе в жилых и общественных зданиях
Исполнение нг-HF	П1.8.1.2.1 П2.8.1.2.1 П3.8.1.2.1 П4.8.1.2.1	Для групповой прокладки с учетом объема горючей загрузки в помещениях, оснащенных компьютерной и микропроцессорной техникой; в зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей

* Класс пожарной опасности приводится в инструкциях производителей кабелей в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53315-2009

Табл. № Ж.2. Классификация пожаробезопасности

Стандарт SS 424 14 75	Стандарт МЭК (IEC)	Стандарт CENELEC	Требования
F1			Не предъявляется требований по распространению горения. Кабели этой категории распространяют горение и применяются для наружной прокладки или внутри негорючих конструкций.
F2	IEC 60332-1	EN 50265-2-1	Одиночный кабель не распространяет горение. Вертикально расположенные кабели, длиной 600 мм, испытывают пламенем с помощью пропановой горелки мощностью 1 кВт. Время воздействия пламени: от одной минуты до восьми минут, в зависимости от диаметра кабеля.
F3			Одиночный кабель не распространяет горение. Это "шведский" способ испытаний, при котором образцы кабелей подвешивают в вертикально расположенной трубе над горящей жидкостью. Данный способ испытаний больше не применяется.
F4			Пучок кабелей крепят вертикально к лестнице длиной 3,5 м. Пучок поджигают снизу с помощью пропановой горелки мощностью 20 кВт. Пламя не должно распространяться выше 2,5 м и должно само погаснуть, не должно распространяться в пучке. Кабели класса F4 применяют там, где требуется предотвратить распространение горения. Часто кабель должен быть безгалогенным.

Приложение 3 (Справочное) Характеристики кабельных муфт для кабелей с СПЭ-изоляцией

Рекомендуемые муфты для кабелей номинальным напряжением до 35 кВ

Табл. № 3.1 – Муфты ф. Тусо Electronics Raychem GmbH

Номинальное напряжение U_0/U , кВ	Число жил	Сечение жил, мм ²	Обозначение муфты		Диаметр юбки, мм	Кол-во юбок
			$L = 450$ мм	$L = 1200$ мм		
6/10	3	25-70	POLT-12C/3XO-H1	POLT-12C/3XO-H4	85	3x1
		95-240	POLT-12D/3XO-H1	POLT-12D/3XO-H4	95	
		240-300	POLT-12E/3XO-H1	POLT-12E/3XO-H4	115	
	1	25-95	POLT-12C/1XO		85	
		95-240	POLT-12D/1XO		95	
		240-500	POLT-12E/1XO		115	
		500-800	POLT-12F/1XO		135	
12/20	3	25-50	POLT-24C/3XO-H1	POLT-24C/3XO-H4	85	3x3
		70-185	POLT-24D/3XO-H1	POLT-24D/3XO-H4	95	
		185-300	POLT-24E/3XO-H1	POLT-24E/3XO-H4	115	
	1	25-70	POLT-24C/1XO		85	
		70-240	POLT-24D/1XO		95	
		185-400	POLT-24E/1XO		115	
		400-800	POLT-24F/1XO		135	
20/35	3	50-120	-	POLT-42D/3XO-H4	95	3x4
		120-300	-	POLT-42E/3XO-H4	115	
	1	50-120	POLT-42D/1XO		95	
		120-300	POLT-42E/1XO		115	
		300-500	POLT-42F/1XO		135	

Примечания:

1. В таблице приведены обозначения комплектов муфт без наконечников. Могут быть поставлены муфты, в комплект которых входят болтовые наконечники.
2. Арматура для непаянного присоединения заземления трехжильных кабелей и одножильных кабелей с ленточным экраном заказывается отдельно.
3. Для трехжильных кабелей длина жил может быть определена по месту монтажа. Минимальная длина жил 320 мм для $U_0/U - 6/10$ кВ, 460 мм для $U_0/U - 12/20$ кВ и 800 мм для $U_0/U - 20/35$ кВ. Для одножильных кабелей 6/10 кВ $L = 300$ мм, 12/20 кВ – 440 мм, 20/35 кВ – 560 мм.
4. Один комплект муфты для одножильных кабелей включает материалы для 3-х фаз.

Табл. № 3.2 – Муфты ООО «ЭРГ»

Напряжение, кВ	Число жил	Сечение жил, мм ²	Обозначение муфты
до 10	3	16-25	3КНТП-10М-16...25
		35-50	3КНТП-10М-35...50
		70-120	3КНТП-10М-70...120
		150-240	3КНТП-10М-150...240
до 10	3	35-50	3КНТП-10У-35...50
		70-120	3КНТП-10У-70...120
		150-240	3КНТП-10У-150...240
до 10	1	70-120	КНТПО-10-70... 120
		150-240	КНТПО-10-150...240
		300-400	КНТПО-10-300...400
		500-625	КНТПО-10-500... 625

Табл. № 3.3 – Муфты ЗМ™ QT II

Обозначение типа муфты	92-ЕВ62-2	93-ЕВ63-2	92-ЕВ64-2
Номинальное напряжение U_0/U , кВ	6/10 и 8,7/15		
Число жил	1	1	1
Сечение жилы, мм ² : - для кабеля на напряжение 6/10 кВ - для кабеля на напряжение 8,7/15 кВ	50-150 35-120	150-300 120-240	300-630 240-500
Внешний диаметр, мм	68	70	82
Примечание. В состав комплекта муфты входят все необходимые материалы для монтажа трех фаз, за исключением наконечников.			

Муфты внутренней установки**Табл. № 3.4 – Муфты ф. Tyco Electronics Raychem GmbH**

Номиналь- ное напряжение U_0/U , кВ	Число жил	Обозначение муфты без наконечников (* – с болтовыми наконечниками)		
		Сечение жил, мм ²	$L = 450$ мм	$L = 1200$ мм
6/10	3	25-70	POLT-12C/3XI-H1	POLT-12C/3XI-H4
		25-50	POLT-12C/3XI-H1-L12*	POLT-12C/3XI-H4-L12*
		95-240	POLT-12D/3XI-H1	POLT-12D/3XI-H4
	1	70-120	POLT-12D/3XI-H1-L12 A*	POLT-12D/3XI-H4-L12A*
		240-300	POLT-12E/3XI- H1	POLT-12E/3XI-H4
		120-240	POLT-12D/3XI-H1-L12B *	POLT-12D/3XI-H4-L12B*
		25-95	POLT-12C/1XI	
		25-70	POLT-12C/1XI-L12*	
		95-240	POLT-12D/1XI	
		70-150	POLT-12D/1XI-L12A*	
		120-240	POLT-12D/1XI-L12B*	
		240-500	POLT-12E/1XI	
		240-300	POLT-12E/1XI-L12*	
12/20	3	25-50	POLT-24C/3XI-H1	POLT-24C/3XI-H4
		25-50	POLT-24C/3XI-H1-L12*	POLT-24C/3XI-H4-L12*
		70-185	POLT-24D/3XI-H1	POLT-24D/3XI-H4
		50-120	POLT--24D/3XI-H1-L12A*	POLT-24D/3XI-H4-L12A*
		120-185	POLT-24D/3XI-H1-L12B*	POLT-24D/3XI-H4-L12B*
	1	185-300	POLT-24E/3XI-H1	POLT-24E/3XI-H4
		150-300	POLT-24E/3XI-H1-L12 *	POLT-24E/3XI-H4-L12*
		25-70	POLT-24C/1XI	
		25-70	POLT-24C/1XI-L12*	
		70-240	POLT-24D/1XI	
20/35	3	50-120	—	POLT-42D/3XI-H4
		50-120	—	POLT-42D/3XI-H4-L12*
		120-300	—	POLT-42E/3XI-H4
		120-300	—	POLT-42E/3XI-H4-L12*
	1	50-120	POLT-42D/1XI	
		50-120	POLT-42D/1XI-L12*	
		120-300	POLT-42E/1XI	
		120-300	POLT-42E/1XI-L12*	
	1	300-500	POLT-42F/1XI	

Примечания:

а) Арматура для непаяного присоединения заземления трехжильных кабелей и одножильных кабелей с ленточным экраном заказывается отдельно.

б). Для трехжильных кабелей длина жил может быть определена по месту монтажа. Минимальная длина жил 320 мм для U_0/U — 6/10 кВ, 360 мм для U_0/U — 12/20 кВ и 600 мм

для U_0/U — 20/35 кВ. Для одножильных кабелей 6/10 кВ $L = 300$ мм, 12/20 кВ — 340 мм, 20/35 кВ — 500 мм.
в). Один комплект муфты для одножильных кабелей включает материалы для 3-х фаз.

Табл. № 3.5 – Муфты ООО «ЭРГ»

Напряжение, кВ	Число жил	Сечение жил, мм ²	Обозначение муфты
до 10	3	16-25	3КВТп-10М-16...25
		35-50	3КВТп-10М-35...50
		70-120	3КВТП-10М-70...120
		150-240	3КВТП-10М-150...240
до 10	1	70-120	КВТпО-10-70... 120
		150-240	КВТпО-10-150...240
		300-400	КВТпО-10-300...400
		500-625	КВТпО-10-500...625

Табл. № 3.6 – Муфты ЗМ™ QT II

Обозначение типа муфты	92-ЕВ62-1	93-ЕВ63-1	92-ЕВ64-1
Номинальное напряжение U_0/U , кВ	6/10 и 8,7/15		
Число жил	1	1	1
Сечение жилы, мм ² :			
- для кабеля на напряжение 6/10 кВ	50-150	185-500	300-630
- для кабеля на напряжение 8,7/15 кВ	35-120	150-400	240-500
Примечание. В состав комплекта муфты входят все необходимые материалы для монтажа трех фаз, за исключением наконечников.			

Соединительные и ремонтные муфты

Табл. № 3.7 – Муфты ф. Tyco Electronics Raychem GmbH

Номинальное напряжение U_0/U , кВ	Число жил	Сечение жил, мм ²	Обозначение муфты для кабелей			Длина, мм	Диаметр, мм	
			без брони	с ленточной броней	с проволочной броней			
Муфты с болтовыми соединителями								
6/10	3	25-70	POLJ 12/3x25-70	POLJ 12/3x25-70-T	POLJ 12/3x25-70-W	1100	80	
		70-150	POLJ 12/3x70-150	POLJ 12/3x70-150-T	POLJ 12/3x70-150-W		90	
		120-240	POLJ 12/3x120-240	POLJ 12/3x120-240-T	POLJ 12/3x120-240-W		100	
	1	25-70	POLJ 12/1x25-70	—	POLJ 12/1x25-70-AW	450	45	
		70-150	POLJ 12/1x70-150		POLJ 12/1x70-150-AW		55	
		120-240	POLJ 12/1x120-240		POLJ 12/1x120-240-AW		65	
	12/20	3	25-70	POLJ 24/3x25-70	POLJ 24/3x25-70-T	—	1250	90
			70-150	POLJ 24/3x70-150	POLJ 24/3x70-150-T			100
			120-240	POLJ 24/3x120-240	POLJ 24/3x120-240-T			110
1		25-70	POLJ 24/1x25-70	—	POLJ 24/1x25-70-AW	500	55	
		70-150	POLJ 24/1x70-150		POLJ 24/1x70-150-AW		65	
		120-240	POLJ 24/1x120-240		POLJ 24/1x120-240-AW		70	
20/35	3	70-120	POLJ 42/3x70-120	POLJ 42/3x70-120-T	POLJ 42/3x70-120-W	2200	150	
		120-240	POLJ 42/3x120-240	POLJ 42/3x120-240-T	POLJ 42/3x120-240-W		180	
	1	70-120	POLJ 42/1x70-120	—	POLJ 42/1x70-120-AW	850	70	
		120-240	POLJ 42/1x120-240		POLJ 42/1x120-240-AW		75	
Муфты без соединителей								
6/10	3	25-35	SXSU 4302	SXST 4303	SXSW 4304	1450	90	
		50-70	SXSU 4312	SXST 4313	SXSW 4314		90	
		95-185	SXSU 4322	SXST 4323	SXSW 4324		100	
		240-300	SXSU 4332	SXST 4333	SXSW 4334	1500	110	
	1	50-70	SXSU 4111	—	—	550	45	
		95-150	SXSU 4121			600	55	
		185-300	SXSU 4131			650	65	
		400-630	SXSU 4141			750	75	
12/20	3	25	SXSU 5302-CEE04	—	—	1450	90	
		35-95	SXSU 5322			1500	100	
		120-240	SXSU 5332				110	
		300	SXSU 5342				110	
	1	35-95	SXSU 5121	—	—	600	60	
		120-240	SXSU 5131			650	70	
		300-500	SXSU 5141			750	80	
20/35	1	50-70	SXSU 6121	—	—	850	65	
		95-150	SXSU 6131				70	
		185-400	SXSU 6141				80	
Ремонтные муфты								
6/10	3	35-95	REPJ-12A/3XU	—	—	2000	90	
		120-185	REPJ-12B/3XU			2000	100	
		240-300	REPJ-12C/3XU			2100	110	
	1	35-95	REPJ-12A/1XU	—	—	1200	50	
		120-185	REPJ-12B/1XU				55	
		240-400	REPJ-12C/1XU				70	
12/20	3	25-50	REPJ-24A/3XU	—	—	2000	90	
		70-120	REPJ-24B/3XU			2000	100	
		150-240	REPJ-24C/3XU			2100	110	
	1	25-50	REPJ-24A/1XU	—	—	1200	50	

20/35	1	70-120	REPJ-24B/1XU			1200	55
		150-240	REPJ-24C/1XU				70
		95-150	REPJ-36B/1XU				55
		185-300	REPJ-36C/1XU				70
Переходные муфты от трехжильного го кабеля к одножильному кабелю							
6/10		35-70	EPKJ-12A/1XU-3XU	—	—	1000	90
		95-185	EPKJ-12B/1XU-3XU			1100	130
		240-300	EPKJ-12C/1XU-3XU				160
12/20		35-70	EPKJ-24B/1XU-3XU				90
		95-240	EPKJ-24C/1XU-3XU				130
		300	EPKJ-24D/1XU-3XU				160
Примечания:							
1. В таблице приведено обозначение муфт для кабелей с проволочным экраном. Возможно изготовление муфт для кабелей с ленточным экраном.							
2. Размеры соединительных муфт приведены для муфт небронированных кабелей.							

Табл. № 3.8 – Муфты ООО «ЭРГ»

Напряжение, кВ	Число жил	Сечение жил, мм ²	Обозначение муфты
до 10	3	16-25	3СТП-10М-16...25
		35-50	3СТП-10М-35...50
		70-120	3СТП-10М-70...120
		150-240	3СТП-10М-150...240
до 10	3	35-50	3СТП-10У-35...50
		70-120	3СТП-10У-70...120
		150-240	3СТП-10У-150...240
до 10	1	70-120	СТпО-10-70... 120
		150-240	СТпО-10-150...240
		300-400	СТпО-10-300...400
		500-625	СТпО-10-500...625

Табл. № 3.9 – Муфты ЗМ™ QS 1000

Обозначение типа муфты	92-AG611-1	92-AG621-1	92-AG631-1
Номинальное напряжение U_0/U , кВ	6/10 и 8,7/15		
Число жил	1	1	1
Сечение жилы, мм ² :			
- для кабеля на напряжение 6/10 кВ	70-150	185-240	300-400
- для кабеля на напряжение 8,7/15 кВ	50-150	150-240	300-400
Примечание. В состав комплекта муфты входят все необходимые материалы для монтажа, за исключением соединителя. Выпускаются также соединительные муфты для трехжильных кабелей (типа 92-AGX0-3 для кабелей с отдельными экранами, типа 92-AG6X1-3 для кабелей с общим экраном) и дополнительные комплекты для выполнения переходов от трехжильных кабелей к трем одножильным кабелям.			

Переходные муфты для соединения кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и трехжильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в общей оболочке

Табл. № 3.10 – Муфты ф. Tyco Electronics Raychem GmbH

Номинальное напряжение U_0/U , кВ	Сечение жил, мм ² , кабеля с изоляцией		Обозначение муфты	Длина, мм	Диаметр, мм
	пластмассовой	бумажной пропитанной			
Переходные муфты с болтовыми соединителями для соединения одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и 3-х жильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в общей оболочке					
3,6/6 и 6/10	35-50	35-50	TRAJ 12/1x35-50	950	90
	70-150	70-120	TRAJ 12/1x70-120		120
	150-240	150-240	TRAJ 12/1x150-240		140
12/20	70-150	70-150	TRAJ24/1x70-150-3SB	1200	120
	120-240	120-240	TRAJ24/1x120-240-3SB		140
Переходные муфты с болтовыми соединителями для соединения трехжильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и 3-х жильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в общей оболочке					
3,6/6 и 6/10	35-50	35-50	TRAJ 12/3x35-50	1050	90
	70-120	70-120	TRAJ 12/3x70-120	1250	120
	150-240	150-240	TRAJ 12/3x150-240	1250	140
Переходные муфты без соединителей для соединения одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и 3-х жильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в общей оболочке					
6/10	35-70	35-70	EPKJ-17ATXU-3SB	1450	90
	95-185	95-185	EPKJ-17B/1XU-3SB		130
	240-400	240-400	EPKJ-17C/1XU-3SB		160
	95-185	35-95	SMOE 61200		130
	185-300	95-185	SMOE 61303		140
12/20	35-70	35-70	EPKJ-24B/1XU-3SB	1450	90
	95-240	95-240	EPKJ-24C/1XU-3SB		130
	300-400	300-400	EPKJ-24D/1XU-3SB		160
	95-240	35-95	SMOE 61733		135
20/35	50-70	50-70	EPKJ-36ATXU-3SB	1450	100
	95-150	95-150	EPKJ-36B/1XU-3SB		140
	185-400	185-400	EPKJ-36C/1XU-3SB		160
Переходные муфты без соединителей для соединения трехжильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и 3-х жильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией в общей оболочке					
6/10	35-70	35-70	EPKJ-17A/3XU-3SB	1450	90
	95-185	95-185	EPKJ-17B/3XU-3SB		130
	240-400	240-400	EPKJ-17C/3XU-3SB		160
	95-185	35-95	SMOE 61600		150

Переходные муфты с болтовыми соединителями для соединения одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и 3-хжильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией с жилами в отдельных оболочках					
6/10	35-70	35-70	TRAJ 12/1x35-70-3HL	1000	90
	70-150	70-150	TRAJ 12/1x70-150-3HL		120
	120-240	120-240	TRAJ 12/1x120-240-3HL		140
12/20	35-70	35-70	TRAJ 24/1x35-70-3HL	1000	90
	70-150	70-150	TRAJ 24/1x70-150-3HL		120
	120-240	120-240	TRAJ 24/1x120-240-3HL		140
20/35	70-120	70-120	TRAJ 42/1x70-120-3HL	1250	130
	120-240	120-240	TRAJ 42/1x120-240-3HL		150
Переходные муфты без соединителей для соединения одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и 3-хжильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией с жилами в отдельных оболочках					
6/10	35-70	35-70	RPKJ-24ATXU-3HL-CEE01	1200	90
	95-185	95-185	RPKJ-24B/1XU-3HL-CEE01		130
	185-300	185-300	RPKJ-24C/1XU-3HL-CEE01		160
12/20	25-95	25-95	RPKJ-24B/1XU-3HL-CEE01	1200	90
	95-240	95-240	RPKJ-24C/1XU-3HL-CEE01		130
	240-400	240-400	RPKJ-24D/1XU-3HL-CEE01		150
20/35	50-70	50-70	EPKJ-36ATXU-3HL	1450	90
	95-150	95-150	EPKJ-36B/1XU-3HL		130
	185-400	185-400	EPKJ-36C/1XU-3HL		160
Переходные муфты без соединителей для соединения трехжильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и 3-хжильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией с жилами в отдельных оболочках					
12/20	35-70	35-70	EPKJ-24B/3XU-3HL	1700	90
	95-240	95-240	EPKJ-24C/3XU-3HL		130
	300	300	EPKJ-24D/3XU-3HL		160
Переходные муфты без соединителей для соединения одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и одножильных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией					
12/20	35-70	35-70	EPKJ-24B/1XU-1HL	850	50
	95-240	95-240	EPKJ-24C/1XU-1HL	950	65
20/35	95-150	95-150	EPKJ-36B/1XU-1HL	1050	70
	185-400	185-400	EPKJ-36C/1XU-1HL	1050	80

Рекомендуемые муфты для кабелей номинальным напряжением 110 кВ

Муфты производства ВНИИКП (Россия)

Переходные муфты для соединения маслонаполненных кабелей и кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Переходные муфты типа МПМНП по ТУ 16.К71-284-99 предназначены для соединения маслонаполненных кабелей низкого давления на напряжение 110 кВ с кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110 кВ. Номинальное сечение соединяемых кабелей — до 630 мм².

Центральная часть муфты, состоящая из эпоксидного изолятора с центральным электродом, изготавливается и испытывается на заводе-изготовителе (ВНИИКП) в соответствии с МЭК 60840 (испытание напряжением промышленной частоты и измерение частичных разрядов). Маслонаполненная часть муфты и часть муфты с полимерной изоляцией монтируются на месте установки муфты.

Размещение переходных муфт на трассе кабельной линии 110 кВ не отличается от размещения стопорных муфт МСТМНЭ-110.

Переходные муфты данного типа находятся в эксплуатации с 1998 года.

Муфты производства Tyco Electronics Raychem GmbH (Германия)

Концевые муфты OHVT-145C, OHVT-170C в полимерном корпусе

Муфты OHVT-145C, OHVT-170C разработаны для классов напряжений 110 и 150 кВ и для тяжелых условий окружающей среды и предназначены для полимерных кабелей различной конструкции с различными типами экранов.

Композитный корпус может поставляться с разной длиной пути утечки до 50 мм/кВ, что перекрывает все наиболее общие и самые тяжелые условия загрязнения в соответствии с МЭК 60071-1, МЭК60071-2 и IEEE 1313.1.

Сухие концевые муфты OHVT-145D

Муфты OHVT-145D разработаны для класса напряжения 110 кВ для работы в тяжелых климатических условиях и предназначены для кабелей с пластмассовой изоляцией различной конструкции с различными экранами и броней.

Полимерный корпус муфт имеет большую длину пути утечки и соответствует максимальным требованиям МЭК 60071-1, МЭК 60071-2 и IEEE 1313.1 по условиям загрязнения. Механические характеристики муфт аналогичны обычным маслонаполненным концевым муфтам в композитном корпусе.

Штекерные концевые муфты SHVT (КЛ-КРУЭ), THVT (КЛ-трансформатор) с силиконовым маслом

Муфты SHVT-145(170), THVT-145(170) разработаны для классов напряжений 110 и 150 кВ и применяются для установки со стороны кабельных вводов в элегазовых подстанциях. Они выполнены в соответствии со стандартом МЭК 60859 и IEEE 1300, которые определяют правила и нормы при соединении концевых муфт и таких подстанций. Поэтому эти концевые муфты подходят ко всем элегазовым подстанциям, выполненным в соответствии с данными стандартами.

Эти концевые муфты работают как в элегазе (SF₆), так и в изоляционных жидкостях, таких, как трансформаторное масло. Экран против короны на конце муфты обеспечивает необходимое экранирование разъема.

Штекерные концевые муфты PHVS-145 (КЛ-КРУЭ), PHVT-145 (КЛ-трансформатор) сухого исполнения

Эти муфты разработаны для класса напряжения 110 кВ и предназначены для установки со стороны кабельных вводов в элегазовых подстанциях. Они выполнены в соответствии со стандартом МЭК 60859, который определяет правила и нормы при соединении концевых муфт и таких подстанций. Поэтому эти концевые муфты подходят ко всем элегазовым подстанциям стандарта МЭК 60859. Адаптер муфты соответствует размерам маслозаполненных муфт, что также определено в стандарте МЭК 60859.

Эти концевые муфты работают как в элегазе (SF₆), так и в изоляционных жидкостях, таких, как трансформаторное масло. Экран против короны на конце муфты обеспечивает необходимое экранирование разъема.

Концевая муфта легко отсоединяется и состоит из разъёмной части и эпоксидного изолятора. Изолятор может быть установлен производителем элегазовой подстанции или трансформатора на заводе-изготовителе, что позволяет сократить время монтажа на площадке и снизить риск загрязнения корпуса муфты. В случае коротких кабельных перемычек и благодаря малой длине и весу разъёмной части она может быть также предварительно установлена производителем кабеля, что позволяет дополнительно сократить время, необходимое для монтажа подстанции.

Соединительные (IL) и транспозиционные (SB) муфты EHVS-145, EHVS-170

Муфта представляет собой предварительно изготовленную на заводе трехкомпонентную конструкцию для классов напряжений 110 и 150 кВ. Она предназначена для кабелей с полимерной изоляцией с различной конструкцией экранов и металлических оболочек, для КЛ с оптоволоконном и без него.

Табл. № 3.11 – Конструктивные размеры и некоторые характеристики муфт ф. Tyco Electronics Raychem GmbH на напряжение 110/150 кВ

№	Наименование	$U_{ном}/U_{НР}$, кВ	Амплитуда грозового импульса, кВ	Сечение, жилы, мм ² (макс.)	Диаметр изоляции кабеля, мм (макс.)	Наружный диаметр, мм	Длина (высота), мм
1	ОНVT-145C	110/145	650	2000	97	294 (по юбкам)	1871-2708
2	ОНVT-170C	150/170	750	2500	108	355 (по юбкам)	5392/6100
3	ОНVT-145D	110/145	650	1200	74	410 (по юбкам)	1883
4	PHVS/PHVT-145	110	650	1200	74	-	470 (с адаптером - 757)
5	SHVT/THVT -145	110/145	650	1200	84	-	757
6	SHVT/THVT-170	150/170	750	1200	97	-	757
7	EHVS-145-IL/SB	110/145	650	1200	84	200	610 (основного корпуса с адаптерами)
8	EHVS-170 -IL/SB	150/170	750	1200	108	240/245	610 (основного корпуса с адаптерами)

Муфты производства PFISTERER (Австрия)

Надвижные муфты IXOSIL MSA

Надвижные муфты IXOSIL состоят, в основном, из предварительно изготовленных силиконовых деталей. Это позволяет осуществить надежное и эффективное соединение двух кабелей с изоляцией из полимерных материалов (XLPE, EPR). Испытанная технология надвигания муфт обеспечивает минимальное время монтажа и максимальную безопасность при эксплуатации. Надвижные муфты IXOSIL изготавливаются в одно- и трехкомпонентном исполнении и могут использоваться для соединения для кабелей с медными и алюминиевыми жилами.

Оба вида муфт поставляются в нескольких вариантах, которые различаются по возможности комбинирования исполнений, а именно – способа соединения экрана, типа влагозащитного барьера и типа защитного кожуха.

Способ соединения экрана

Обозначение DO: прямое соединение

Обозначение DE: прямое соединение экрана с выводом для заземления

Обозначение XL: разрыв экрана с двусторонним выводом для заземления

Обозначение ХК: разрыв экрана с выводом для заземления с помощью коаксиального кабеля

Влагозащитный барьер

Обозначение F: влагозащитный барьер из алюминиевой фольги

Обозначение M: влагозащитный барьер в виде медного кожуха

Защитный кожух

Обозначение S: кожух в виде термоусадочной трубки

Обозначение G: кожух из PE-полимера

Обозначение R: кожух в виде термоусадочной трубки с ремонтной манжетой

Табл. № 3.12 – Некоторые характеристики муфт ф. PFISTERER типа MSA на напряжение 110-150 кВ

$U_{ном}/U_{НР}$, кВ	Амплитуда грозового импульса, кВ	Сечение, жила, мм ²	Диаметр изоляции кабеля, мм
110/123	550	240-2000	45-103
132/145	650	240-2000	45-103
150/170	750	240-2000	45-103

Концевая кабельная муфта ESF сухого исполнения

Это многоэлементное изделие с внешней силиконовой изоляцией для наружной установки, на номинальные напряжения 110 кВ ($U_{НР}=123$ кВ) и 132 кВ ($U_{НР}=145$ кВ).

Концевая муфта ESS опорного типа

Концевые кабельные муфты типа ESS предназначены для напряжений до 300 кВ с разными вариантами длины пути утечки по внешней изоляции. Стеклоармированная труба, заполненная изолирующим компаундом и одетая в силиконовый внешний изолятор, обладает высокой механической прочностью на изгиб и кручение. Муфта выдерживает возникающие при коротких замыканиях механические нагрузки.

Концевая муфта ESP в фарфоровом корпусе

Концевые муфты ESP предназначены для сетей с номинальными напряжениями 110 кВ ($U_{НР}=123$ кВ), 132 кВ ($U_{НР}=145$ кВ) и 150 кВ ($U_{НР}=170$ кВ). Фарфоровый корпус муфты имеет два варианта экранирования. В остальном по конструктивному исполнению аналогична муфте типа ESS.

Концевая муфта EST сухого исполнения предназначена как для наружной, так и для внутренней установки, на номинальные напряжения 110 кВ ($U_{НР}=123$ кВ) и 132 кВ ($U_{НР}=145$ кВ). Включает концевой модуль типа ESF и три опорных изоляторы. Не содержит жидкой изолирующей среды, может устанавливаться в любом положении и имеет самонесущую конструкцию.

Штекерные системы и муфты HV-CONNEX

Предназначены для внутренней установки, рассчитаны на номинальные напряжения

132 кВ ($U_{НР}=145$ кВ), 150 кВ ($U_{НР}=170$ кВ) и выше.

Имеют следующие преимущества:

- сокращенная примерно на 50% монтажная длина по сравнению с аналогичными системами, изготовленными в соответствии со стандартами IEC60859 и IEC62271-209;
- возможно горизонтальное, вертикальное или наклонное расположение контактных разъемов системы по отношению к оборудованию КРУЭ и трансформатору;
- использование предварительно изготовленных и проверенных элементов (высокий уровень заводской готовности) обеспечивает безопасность и надежность, сводит к минимуму ошибки при монтаже.

Концевые муфты ESG (КЛ-КРУЭ) и ESU (КЛ-трансформатор)

Концевые муфты типа ESG и ESU предназначены для прямого ввода кабелей в элегазовое РУ или маслонаполненный трансформатор. Надеваемая силиконовая полерассеивающая часть находится в литом эпоксидном корпусе и надёжно отделена от РУ или маслонаполненного трансформатора. Изоляция внутри корпуса муфты усиливается специальной изолирующей массой.

Концевые муфты ESG предназначены для прямого подключения высоковольтного кабеля к элегазовому оборудованию. Они рассчитаны на номинальное напряжение до 150 кВ ($U_{НР}=170$ кВ). Данные муфты соответствуют стандарту МЭК (IEC) 60859-1 и могут располагаться как горизонтально, так и вертикально.

Концевые муфты ESU предназначены для прямого подключения полимерных кабелей к маслонаполненным трансформаторам на напряжения до 150 кВ ($U_{НР}=170$ кВ). По конструкции подобны модульным муфтам типа ESG. Для нестандартного оборудования могут быть изготовлены специальные адаптеры или корпуса штекеров. Таким образом муфта ESU может быть применена практически для всех типов трансформаторов.

Рекомендуемые термоусаживаемые манжеты для ремонта оболочки кабелей номинальным напряжением до 110 кВ

Таблица 3.13 - Основные габаритные параметры ремонтных манжет ф. «Tyco Electronics Raychem GmbH»

Наружный диаметр кабеля, мм	Внутренний диаметр манжеты, мм		Обозначение манжеты	Дли-на, мм
	до усадки (мин.)	после усадки (макс.)		
Ремонтные термоусаживаемые манжеты типа CRSM				
От 24 до 50	86	21	CRSM 84/20-750/239	750
			CRSM 84/20-1000/239	1000
			CRSM 84/20-1500/239	1500
От 31 до 65	108	27	CRSM 107/29-1000/239	1000
			CRSM 107/29-1500/239	1500
От 33 до 86	144	28	CRSM 143/36-1000/239	1000
			CRSM 143/36-1500/239	1500
От 56 до 120	203	50	CRSM 198/55-1000/239	1000
			CRSM 198/55-1500/239	1500
Армированные ремонтные термоусаживаемые манжеты типа RFSM				
От 20 до 65	71	18	RFSM 65/20-1000/123	1000
От 30 до 95	103	27	RFSM 95/30-750/123	750
			RFSM 95/30-1000/123	1000
			RFSM 95/30-1500/123	1500
От 40 до 125	135	36	RFSM 125/40-750/123	750
			RFSM 125/40-1000/123	1000
			RFSM 125/40-1500/123	1500
От 55 до 165	178	50	RFSM 165/55-750/123	750
			RFSM 165/55-1500/123	1500

Рекомендуемые капы для герметизации концов кабелей номинальным напряжением до 110 кВ

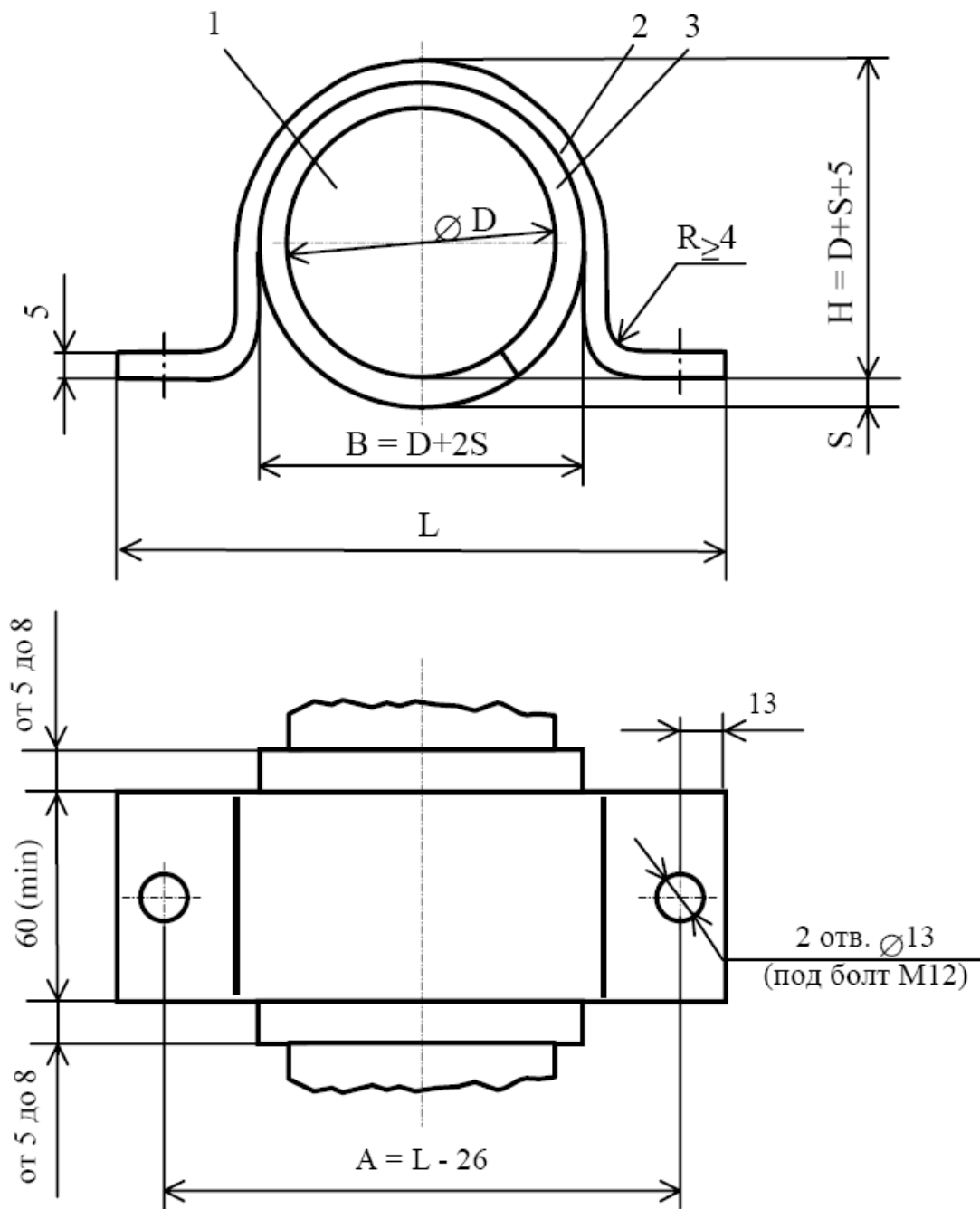
Таблица 3.14 – Основные габаритные параметры кап типа ОКТ по ТУ 16.К71-051-89

Рекомендуемый диаметр кабеля, мм		Обозначение капы ТУ 16.К71-051-89	Размеры капы, мм	
мин.	макс.		Внутренний диаметр до усадки (мин.)	Внутренний диаметр после свободной усадки (макс.)
17	30	ОКТ 30/17-100	38	16
30	40	ОКТ 40/30-120	47	25
40	55	ОКТ 55/40-140	66	35
55	70	ОКТ 70/55-170	86	50
45	95	ОКТ 90/45-110	102	43
75	115	ОКТ 115/75-135	126	70
90	120	ОКТ 120/90-190	135	80

Таблица 3.15 – Основные габаритные параметры кап типа 102L ф. «Tusco Electronics Raychem GmbH»

Рекомендуемый диаметр кабеля, мм		Обозначение капы	Размеры капы, мм			
мин.	макс.		Внутренний диаметр до усадки (мин.)	Внутренний диаметр после свободной усадки (мин.)	Внутренний диаметр после свободной усадки (макс.)	Толщина капы
17	30	102L033-135-R05/S	35	15	90	3,2
30	45	102L044-135-R05/S	55	25	143	3,9
45	65	102L048-37-R05/S	75	32	150	3,3
65	95	102L055-37-R05/S	100	45	162	3,8
95	115	102L066-37-R05/S	120	70	145	3,8

Приложение И (Рекомендуемое) Примеры крепления кабеля



размеры в миллиметрах

1 – кабель

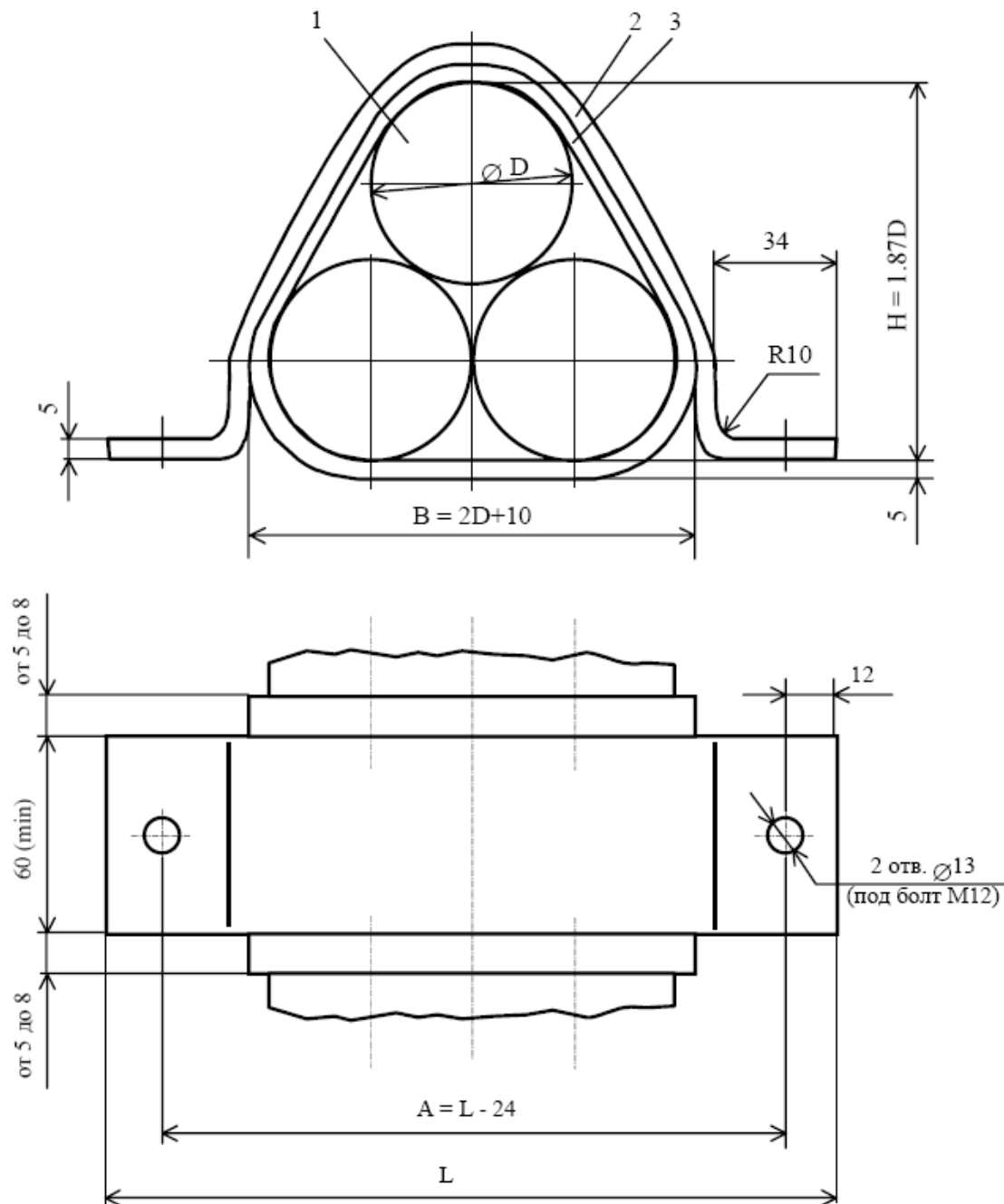
2 – хомут (скоба) из алюминия или алюминиевого сплава

3 – прокладка из эластичного материала (резина, поливинилхлорид и т.д.)

Примечание. 1) Крепежные изделия (болты, гайки, шайбы) не показаны.

2) D – наружный диаметр кабеля, S – толщина прокладки (4-5 мм).

Рис. № И.1 – Пример крепления одного кабеля на металлоконструкции



размеры в миллиметрах

1 – кабель

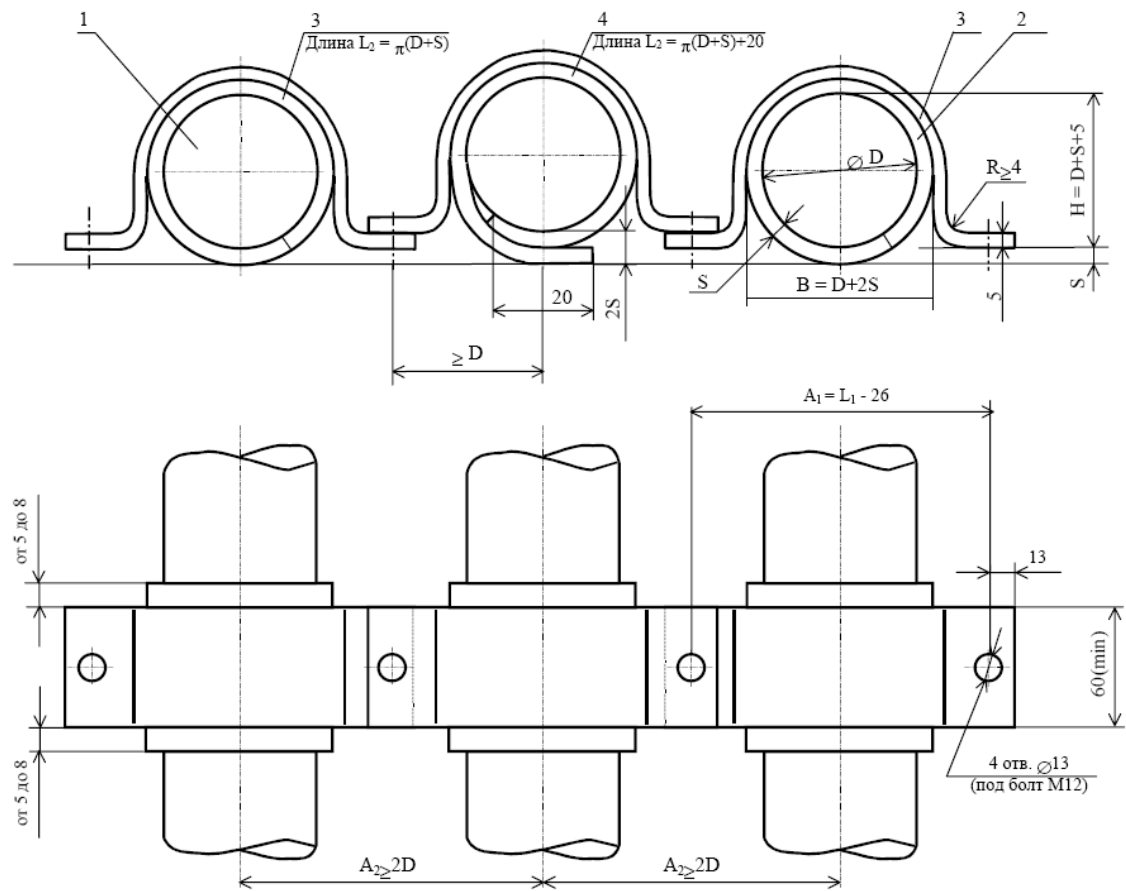
2 – хомут (скоба) из алюминия или алюминиевого сплава толщиной 5 мм или из стального листа толщиной 3-4 мм

3 – прокладка из эластичного материала (резина, поливинилхлорид и т.д.) толщиной 4-6 мм

Примечание. 1) Крепежные изделия (болты, гайки, шайбы) не показаны.

2) D - наружный диаметр кабеля.

Рис.№ И.2 – Пример крепления трех кабелей в связке на металлоконструкции



размеры в миллиметрах

1 – кабель

2 – хомут (скоба) из алюминия или алюминиевого сплава

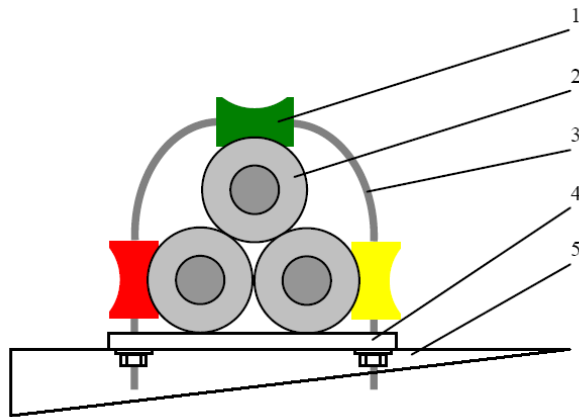
3, 4 – прокладки из эластичного материала (резина, поливинилхлорид и т.д.)

Примечания. 1) Крепежные изделия (болты, гайки, шайбы) не показаны.

2) D - наружный диаметр кабеля, S – толщина прокладок (4-5 мм).

3) Размер A_2 равен размеру A_1 и определяется с учетом величин наружного диаметра кабеля D и выбранного радиуса гибки полки хомута R .

Рис. № И.3 – Пример крепления трех кабелей на металлоконструкции



1 – клица кабельная (цвет клицы соответствует фазе кабеля); 2 – кабель; 3 – оцинкованный хомут; 4 – пластина; 5 – кабельная полка

Рис. № И.4 – Пример крепления кабеля по эстакаде с помощью тройникового клицевого узла, разработанного ООО «Русэнерго»

Приложение К (Рекомендуемое) Применение ОПН для защиты экранов кабелей 35-110 кВ

Табл. № К.1 – Применение ОПН для защиты экранов кабелей 35-110 кВ

№	Состояние экрана	Схема
1	Заземлен в «начале»	
2	Заземлен в «конце»	
3	Заземлен с двух сторон	
4	Применена транспозиция экранов (N полных циклов)	

Приложение Л (Рекомендуемое) Перечень приемо-сдаточной документации на кабельную линию

При сдаче кабельной линии в эксплуатацию должна быть представлена следующая документация:

- скорректированный проект кабельной линии, имеющей в своем составе, в том числе, мероприятия по антикоррозионной защите, пожарной и экологической безопасности;
- исполнительный чертеж трассы КЛ с указанием мест установки соединительных муфт, выполненный в масштабе 1:200;
- материалы по согласованию трассы КЛ;
- протоколы заводских испытаний кабелей;
- акты о состоянии кабелей на барабанах и в случае необходимости акты разборки и осмотра образцов (разборка является обязательной для кабелей, изготовленных зарубежными фирмами);
- кабельный журнал с указанием количества и типов смонтированных муфт, даты их монтажа, фамилий электромонтажников, длин кабеля между муфтами, номеров барабанов, а также схема кабельной линии с указанием заводских номеров барабанов и соединительных муфт;
- инвентарная опись всех элементов кабельной линии;
- акты строительных и скрытых работ с указанием пересечений и сближений кабелей со всеми подземными коммуникациями;
- акты на монтаж кабельных муфт;
- акты приемки траншей, блоков, труб и каналов под монтаж;
- акты на монтаж устройств по защите КЛ от электрохимической коррозии, а также результаты коррозионных испытаний и измерений в соответствии с проектом (в том числе протоколы анализа грунтов трассы кабельной линии по характерным участкам);
- результаты измерения сопротивления изоляции;
- протоколы испытания КЛ после прокладки;
- чертеж профиля трассы КЛ в местах пересечений с дорогами и другими коммуникациями для кабельных линий на напряжение 35-110 кВ и особо сложных трасс кабельных линий на напряжение 6-10 кВ;
- протоколы испытаний и осмотра кабелей на барабанах перед прокладкой (протокол входного контроля);
- акты проверки и испытаний автоматических стационарных установок пожаротушения и пожарной сигнализации;
- акты осмотра кабельной канализации в траншеях и каналах перед закрытием;
- протоколы прогрева кабелей на барабанах перед прокладкой при низких температурах.

Приложение М (Справочное)

Пример 1. Расчет токов и напряжений в экранах одножильных силовых кабелей 35 кВ при различных способах заземления экранов

Исходные данные

- шесть ниток кабеля 35 кВ (по две нитки на фазу) питают трансформатор мощностью 80 МВА;
- тип кабелей АПвВнг-35-6(1х630/35),
- длина КЛ – 1200 м;
- прокладка КЛ производится по эстакаде;
- основные расчетные случаи: нормальный симметричный режим; трехфазное короткое замыкание в сети;
- исходно экран каждой одножильной нитки кабеля заземлен с двух сторон.

Расчет

1. Определим геометрические параметры кабеля

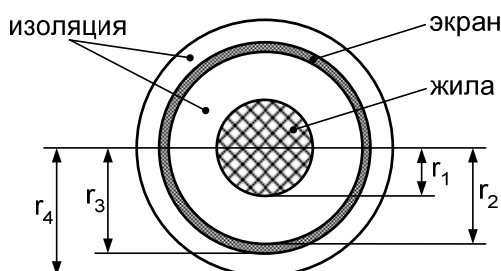


Рис. М.1. Конструкция однофазного кабеля с СПЭ-изоляцией с обозначениями для расчета

Табл. № М.1 – Основные используемые обозначения и геометрические данные для кабеля АПвВнг-35-6(1х630/35)

Название	Обозначение	Величина
Внешний радиус жилы (м)	r_1	$14,2 \cdot 10^{-3}$
Внутренний радиус экрана (м)	r_2	$22,2 \cdot 10^{-3}$
Внешний радиус экрана (м)	r_3	$22,4 \cdot 10^{-3}$
Внешний радиус кабеля (м)	r_4	$27,4 \cdot 10^{-3}$
Сечение жилы (м ²)	$F_{ж} = \pi \cdot r_1^2$	$630 \cdot 10^{-6}$
Сечение экрана (м ²)	$F_{э} = \pi \cdot (r_3^2 - r_2^2)$	$35 \cdot 10^{-6}$
Длина кабеля (м)	L_K	1250
Относительная диэлектрическая проницаемость изоляции между жилой и экраном (о.е.)	ε_1	2,3

Относительная диэлектрическая проницаемость изоляции экрана (<i>о.е.</i>)	ε_2	2,3
Абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума ($\Phi/м$)	ε_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$
Абсолютная магнитная проницаемость вакуума ($Гн/м$)	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$
Удельное сопротивление материала жилы ($Ом \cdot м$)	$\rho_{ж}$ алюминий	$2,9 \cdot 10^{-8}$
Удельное сопротивление материала экрана ($Ом \cdot м$)	$\rho_{э}$ медь	$1,75 \cdot 10^{-8}$
Удельное сопротивление грунта $Ом \cdot м$	ρ_3	1000
Расстояние между осями соседних фаз в случае расположения в ряд ($м$)	s	$70 \cdot 10^{-6}$
Глубина заложения кабеля ($м$)	h	-
Круговая частота напряжений и токов ($рад/с$)	$\omega = 2\pi f$	314
Частота напряжений и токов ($Гц$)	f	50

2. Основные электрические параметры и комплексные сопротивления исследуемого кабеля 35 кВ рассчитаем по формулам, приведенным в табл. 2-3. В этой же таблице представим результаты расчета.

Табл. №. М.2 – Основные электрические параметры кабеля АПвВнг-35-6(1х630/35)

Активное сопротивление жилы ($Ом/м$)	$R_{ж}^* = \rho_{ж} \frac{1}{F_{ж}}$	$0,464 \cdot 10^{-4}$
Активное сопротивление экрана ($Ом/м$)	$R_{э}^* = \rho_{э} \frac{1}{F_{э}}$	$0,05 \cdot 10^{-2}$
Активное сопротивление земли ($Ом/м$)	$R_3^* = \frac{\pi}{4} \mu_0 f$	$4,93 \cdot 10^{-5}$
Эквивалентная глубина ($м$)	$D_3 = 2,24 \sqrt{\frac{\rho_3}{\omega \cdot \mu_0}}$	$3,57 \cdot 10^3$
Собственная индуктивность жилы ($Гн/м$)	$L_{ж}^* = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_3}{r_1}\right)$	$2,49 \cdot 10^{-6}$
Собственная индуктивность экрана ($Гн/м$)	$L_{э}^* = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_3}{r_2}\right)$	$2,40 \cdot 10^{-6}$
Взаимная индуктивность между жилой (экраном) и соседним кабелем ($Гн/м$)	$M_K^* = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_3}{s}\right)$	$3,55 \cdot 10^{-6}$
Взаимная индуктивность между жилой и экраном одного и того же кабеля ($Гн/м$)	$M_{жэ}^* = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{D_3}{r_2}\right)$	$2,40 \cdot 10^{-6}$
Емкость между жилой и экраном ($\Phi/м$)	$C_{жэ}^* = \frac{2\pi\varepsilon_1\varepsilon_0}{\ln\frac{r_2}{r_1}}$	$2,86 \cdot 10^{-10}$

Табл. № М.3 – Собственные и взаимные сопротивления кабеля АПВВнг-35-6(1х630/35) присоединения ДСП-80, выражаемые комплексными числами (мнимая единица $j = \sqrt{-1}$)

Собственное сопротивление жилы (Ом)	$\dot{Z}_ж = (R_ж^* + R_ж^* + j\omega L_ж^*)L_K$	$0,1196 + j0,9775$
Собственное сопротивление экрана (Ом)	$\dot{Z}_э = (R_э^* + R_э^* + j\omega L_э^*)L_K$	$0,6799 + j0,9425$
Взаимное сопротивление жилы (экрана) и соседнего кабеля (Ом)	$\dot{Z}_K = (R_ж^* + j\omega M_K^*)L_K$	$0,0549 + j1,394$
Взаимное сопротивление между жилой и экраном одного и того же кабеля (Ом)	$\dot{Z}_{жэ} = (R_э^* + j\omega M_{жэ}^*)L_K$	$0,0549 + j0,9425$

3. Для определения погонных продольных активно-индуктивных сопротивлений трехфазной системы однофазных кабелей токам прямой и нулевой последовательностей, которые используются в расчетах нормальных и аварийных режимов работы сети, необходимо указать состояние экрана кабеля (граничные условия), от которого эти параметры зависят (табл. № М.4). Соответственно, расчетными случаями полагаем приведенные в табл. № М.4.

Табл. № М.4 – Состояние экрана и граничные условия

№	Состояние экрана	Схема	Граничные условия
1	Заземлен в с одной стороны		$\dot{I}_{ЭА} = 0$ $\dot{I}_{ЭВ} = 0$ $\dot{I}_{ЭС} = 0$
2	Заземлен с двух сторон		$\Delta \dot{U}_{ЭА} = 0$ $\Delta \dot{U}_{ЭВ} = 0$ $\Delta \dot{U}_{ЭС} = 0$

Примечание

В п.2 таблицы пренебрегаем емкостными токами в начале кабеля

Формулы для расчетов продольных активно-индуктивных параметров исследуемого кабеля АПвВнг-35-6(1х630/35) по прямой и нулевой последовательностям приведены в табл. № М.5. Там же приведены расчетные значения указанных параметров.

Табл. № М.5 – Продольные параметры кабеля 35 кВ длиной 1250 м по прямой и нулевой последовательностям

№	Состояние экрана	Сопротивление прямой последовательности, Ом	Сопротивление нулевой последовательности, Ом
1	Заземлен с одной стороны	$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_{Ж} - \dot{Z}_К$	$\dot{Z}_0 = \dot{Z}_{Ж} + 2\dot{Z}_К$
		$0,0647 - j0,4165$	$0,1745 + j3,765$
2	Заземлен с двух сторон	$\dot{Z}_1 = (\dot{Z}_{Ж} - \dot{Z}_К) - \frac{(\dot{Z}_{ЖЭ} - \dot{Z}_К)^2}{\dot{Z}_Э - \dot{Z}_К}$	$\dot{Z}_0 = (\dot{Z}_{Ж} + 2\dot{Z}_К) - \frac{(\dot{Z}_{ЖЭ} + 2\dot{Z}_К)^2}{\dot{Z}_Э + 2\dot{Z}_К}$
		$0,279 - j0,2617$	$0,6136 + j0,1347$

4. С помощью табл. № М.6 можно вычислить напряжение на экране кабеля 35 кВ относительно земли в нормальном режиме (по фазам протекает ток нагрузки), а в аварийном режиме (по фазам протекает ток трехфазного короткого замыкания сети).

Табл. № М.6 – Напряжение (В), наводимое на разземленном конце экрана кабеля относительно земли в нормальном режиме

№	Состояние экрана	Нормальный режим работы		
		коэффициент	сомножитель	Напряжение, В/ампер тока в жиле
1	Заземлен с одной стороны	$ \dot{Z}_{ЖЭ} - \dot{Z}_К $	$ \dot{I}_{Жнорм} = 1000 \text{ А}$	0,204
2	Заземлен с двух сторон	≈ 0		0

5. Таким образом, зная ток в жиле каждого кабеля, можно вычислить напряжение на экране, используя множитель 0,204. Если принять номинальный рабочий ток кабеля сечения 630 мм² с алюминиевой жилой равным 1000 А (среднее значение из каталогов АВВ и прочих производителей), получим в нормальном режиме на разземленном конце экрана кабеля напряжение **204 В**. При меньшем значении тока нагрузки напряжение на экране будет ниже.

Отметим, что при трехфазном к.з. вне кабельной линии с током к.з 19,2 кА (расчетная мощность к.з. при напряжении в линии питания 35 кВ составляет 672 МВА), протекающим по жилам кабеля АПВВнг-35-1(1х630/35) линии 35 кВ, расчетное напряжение на разземленном конце экрана каждой нитки кабеля составит 3,92 кВ.

Если для данного кабеля исключено прикосновение человека к экрану, то в качестве допустимого напряжения на экране необходимо принять напряжение, которое отвечает прочности изоляции экрана: $|U_э| \leq 5000 \text{ В}$ (испытательное 1-минутное постоянное напряжение изоляции экранов кабелей 6-35 кВ и выше).

Если для данного кабеля возможно прикосновение человека к экрану, то в качестве допустимого напряжения на экране необходимо принять напряжение, которое отвечает нормам безопасности: $|U_э| \leq 24 \text{ В}$.

Указанные значения допустимого напряжения справедливы для всех существующих в эксплуатации режимов кабельной линии 35 кВ.

6. С помощью табл. № М.7 определим токи в экранах фаз кабеля в указанных симметричных режимах при различных способах обустройства экранов.

Комплексы токов в жилах кабелей и фазных напряжений в табл. № М.7 определяются, исходя из нормального фазного напряжения сети $|\dot{U}_{ЖА}| = 20,2 \text{ кВ}$ ($U_{НОМ} = 35 \text{ кВ}$) и тока в жиле кабеля $|\dot{I}_{ЖА}| = 1000\text{-}1050 \text{ А}$. Тогда

$$|\dot{I}_{ЖА}| = 1000 \text{ А};$$

$$|\dot{I}_{ЖВ}| = a^2 \dot{I}_{ЖА} = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 1000 = -500 - j866 \text{ А};$$

$$|\dot{I}_{ЖС}| = a \dot{I}_{ЖА} = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 1000 = -500 + j866 \text{ А};$$

$$|\dot{U}_{ЖА}| = 20200 \text{ В};$$

$$|\dot{U}_{ЖВ}| = a^2 \dot{U}_{ЖА} = \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 20200 = -10100 - j17490 \text{ В};$$

$$|\dot{U}_{ЖС}| = a \dot{U}_{ЖА} = \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 20200 = -10100 + j17490 \text{ В}.$$

Длина кабеля принята равной 1250 м.

Табл. № М.7 – Токи в экранах фаз кабеля АПвВнг-35-6(1х630/35) в симметричном режиме (нормальном или при трехфазном к.з.)

№	Состояние экрана	Формула для определения	Комплексные значения тока в экране, А	Модуль комплекса тока $ \dot{I}_{ЭА} = \dot{I}_{ЭВ} = \dot{I}_{ЭС} , \text{ А}$
1	Заземлен в с одной стороны	$\dot{I}_{ЭА} = j\omega(C_{ЖЭ}^* \cdot L_K) \cdot \dot{U}_{ЖА}$ $\dot{I}_{ЭВ} = j\omega(C_{ЖЭ}^* \cdot L_K) \cdot \dot{U}_{ЖВ}$ $\dot{I}_{ЭС} = j\omega(C_{ЖЭ}^* \cdot L_K) \cdot \dot{U}_{ЖС}$	$\dot{I}_{ЭА} = j2,2687$ $\dot{I}_{ЭВ} = 1,964 - j1,134$ $\dot{I}_{ЭС} = -1,964 - j1,134$	2,27
2	Заземлен с двух сторон	$\dot{I}_{ЭА} = -\frac{\dot{Z}_{ЖЭ}^* - \dot{Z}_K^*}{\dot{Z}_{Э}^* - \dot{Z}_K^*} \dot{I}_{ЖА}$ $\dot{I}_{ЭВ} = -\frac{\dot{Z}_{ЖЭ}^* - \dot{Z}_K^*}{\dot{Z}_{Э}^* - \dot{Z}_K^*} \dot{I}_{ЖВ}$ $\dot{I}_{ЭС} = -\frac{\dot{Z}_{ЖЭ}^* - \dot{Z}_K^*}{\dot{Z}_{Э}^* - \dot{Z}_K^*} \dot{I}_{ЖС}$	$\dot{I}_{ЭА} = -342,9 + j474,7$ $\dot{I}_{ЭВ} = 582,5 + j59,62$ $\dot{I}_{ЭС} = -239,6 + j534,3$	585,6

7. Заключение по результатам расчета

Расчеты были произведены для самого неблагоприятного случая, когда по каждой нитке кабеля протекает номинальный ток в 1000 А. Анализ показал, что в эксплуатации такие режимы маловероятны, особенно учитывая использование двух ниток кабеля АПвВнг-35-1(1х630/35) на фазу. Следовательно, даже при номинальной загрузке трансформатора мощностью 80 МВА фазный ток (на две нитки кабеля 35 кВ) не превысит 1320 А. Значит, по каждой нитке кабеля, при условии их равномерной загрузки, будет протекать ток порядка 660 А. Тогда ток в экране единичного кабеля АПвВнг-35-1(1х630/35), составляющий 58,5% от тока жилы (табл. № М.7), должен быть порядка 386 А.

Вследствие переменной нагрузки исследуемой кабельной линии АПвВнг-35-6(1х630/35), обусловленной режимами работы нагрузки, рабочий ток

фазы и, соответственно, ток жилы каждой нитки кабельной линии, может значительно меняться – от единиц до сотен ампер. Поэтому токи в экранах кабеля также изменяются, однако составляют значительную долю от тока жилы – около 60%, при условии двустороннего заземления экрана. При малом сечении экрана это приводит к его значительному перегреву с ускоренным старением изоляции кабеля.

Разземление экрана кабеля с одной стороны приводит к практически полному устранению этого явления (токи в экранах снижаются до единиц ампер в любых симметричных режимах работы КЛ), однако напряжение на незаземленном конце экрана относительно земли при этом составляет более 200 В в нормальном режиме при токе 1000 А и порядка 135 В при оценочном токе единичного кабеля в 660 А (3,92 кВ и в режиме трехфазного к.з.) и существенно превышает допустимое напряжение при возможности прикосновения к экрану кабеля персонала – 24 В. Поэтому при одностороннем разземлении экранов кабелей АпвВнг-35-6(1х630/35) в сети 35 кВ необходимо обеспечить недопустимость прикосновения человека к экрану кабеля. В противном случае экран кабеля 35 кВ следует заземлить с двух сторон и решать проблему сверхтоков в экранах однофазных кабелей.

Пример 2. Расчет варианта транспозиции экранов одножильных силовых кабелей 10 кВ для ограничения токов в экранах

Исходные данные

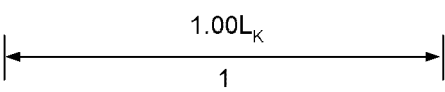
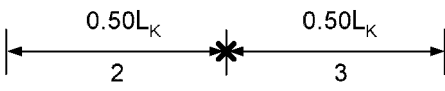
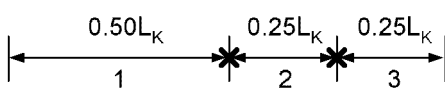
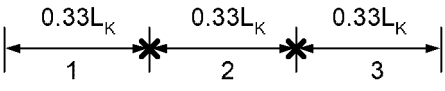
- шесть ниток кабеля 10 кВ (две цепи) питают трансформаторную нагрузку;
 - тип кабелей 2*АПвПуг-10-3х(1х500),
 - длина КЛ – 4500 м;
 - прокладка КЛ производится в траншее;
 - основные расчетные случаи: нормальный симметричный режим; трехфазное короткое замыкание в сети;
- Требуется выбрать вариант ограничения токов в экранах одножильных кабелей.

Расчет

Расчет производится в программном комплексе ЕМТР на основе положений, изложенных в [Дмитриев М.В. Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ / М.В. Дмитриев. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. – 154 с.].

Производителем кабельной арматуры не допускается оставлять изолированный экран одного из концов кабеля в муфте не допускается, поэтому в качестве способа ограничения токов в экранах кабелей применяется транспозицию экранов. Оценить эффективность различных вариантов транспозиции экранов можно на основе таблиц М8 и М9.

Таблица М8 – Частные случаи применения транспозиции одноцепной линии

Случай	Условие	Схема расположения муфт и коробок транспозиции
Нет транспозиции	$L_1 = L_K, L_2 = L_3 = 0$	
Одна коробка транспозиции ровно в середине трассы	$L_1 = 0, L_2 = L_3 = 0.5 L_K$	
Две коробки транспозиции при разных длинах участков	$L_1 = 0.5 L_K, L_2 = L_3 = 0.25 L_K$	
Идеальная транспозиция	$L_1 = L_2 = L_3$	

**Таблица М9 – Эффективность транспозиции для одноцепной линии
(относительные токи и потери в экранах)**

Случай	Условие	Ток	Потери
Нет транспозиции	$L_1 = L_K, L_2 = L_3 = 0$	$D_I^{1)}$	D_P
Одна коробка транспозиции ровно в середине трассы	$L_1 = 0,$ $L_2 = L_3 = 0.5 L_K$	$0.5 D_I$	$0.25 D_P$
Две коробки транспозиции при разных длинах участков	$L_1 = 0.5 L_K,$ $L_2 = L_3 = 0.25 L_K$	$0.25 D_I$	$0.0625 D_P$
Идеальная транспозиция	$L_1 = L_2 = L_3$	0	0

Примечания

- 1) D_I — величина тока в экране кабеля в симметричном режиме.
- 2) D_P — величина потерь в экране кабеля в симметричном режиме

Как следует из таблицы М9, наиболее эффективна идеальная транспозиция экранов кабелей. Для кабельной линии, состоящей из нескольких цепей наиболее эффективна независимая транспозиция экранов каждой цепи (без объединения экранов одноимённых фаз разных цепей в одной коробке транспозиции). С точки зрения ограничения токов в экранах наиболее предпочтительно расположение кабелей одной цепи в вершинах равностороннего треугольника. Кабели разных цепей, относящиеся к одной фазе, рекомендуется располагать как можно дальше друг от друга.

Для уточнения величин токов в экранах кабелей было выполнено математическое моделирование в ЕМТР. Расчет параметров кабелей выполнялся исходя из их основных конструктивных параметров и взаимного расположения. Принято, что кабели прокладываются в земле, основные конструктивные параметры кабеля типа АПвПуг-3*1*500 взяты из каталога «АББ Москабель». Для сравнения рассматривались два способа расположения кабелей обеих цепей друг относительно друга:

- 1-й способ — по три фазы в треугольник (рисунок М2, а);
- 2-й способ — горизонтальное расположение кабелей (рисунок М2, б).

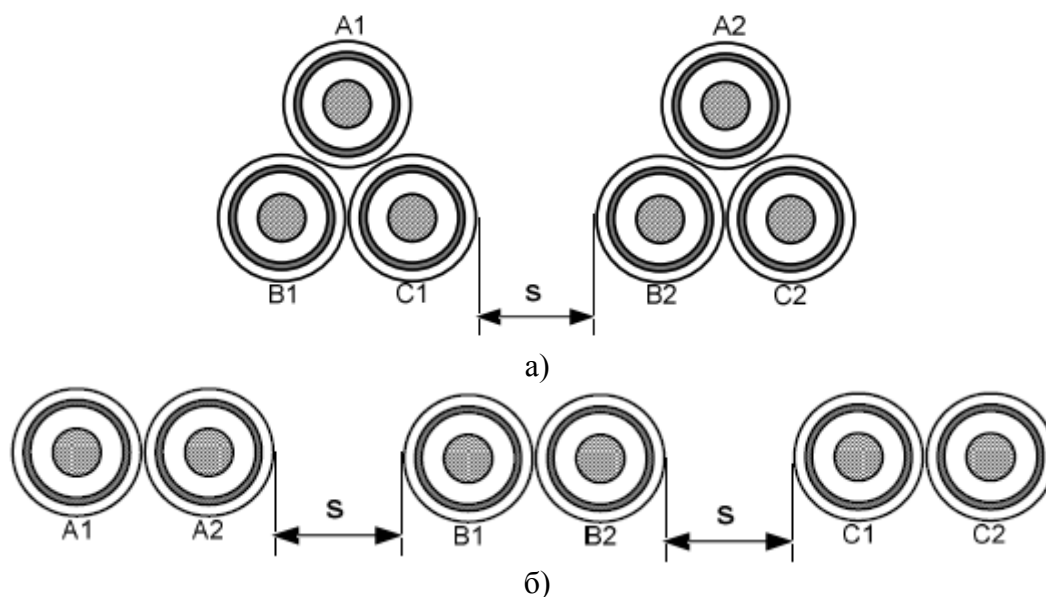


Рисунок М2 – Способы прокладки КЛ для сравнительного анализа

Расстояние S принято равным диаметру кабеля: для уточнения этого параметра следует руководствоваться положениями настоящего стандарта и рекомендациями производителя кабеля.

Рассматривался режим работы сети, при котором по рассматриваемым кабелям осуществляется питание симметричной нагрузки. Ток нагрузки, исходя из мощности нагрузки, определен значением 1000 А. При расчетах определялось отношение тока в жиле к току в экране кабеля $I_{\text{ж}} / I_{\text{экр}}$, поэтому величина принятой нагрузки не является принципиальной, так как, задавшись иным током нагрузки, через отношение $I_{\text{ж}} / I_{\text{экр}}$ можно оценить ток в экране, при предположении примерно равного распределения токов по цепям. Так как рассматриваемая кабельная линия является двухцепной, на распределение токов по кабелям одной цепи и разных цепей будет оказывать их взаимное расположение в пространстве. В результате будет наблюдаться некоторая несимметрия токов в жилах кабелей, а также в экранах, даже при симметричной нагрузке.

Так как токи в экранах рассчитываются с целью, как минимум, оценки ухудшения теплового режима КЛ, в таблице М10 для каждого рассматриваемого случая приводится максимальное из действующих значений токов в жилах (экранах).

Возможность транспозиции экранов ограничивается строительной длиной прокладываемой КЛ и, соответственно, достаточно сложно обеспечить идеальную транспозицию. Чтобы уточнить величину токов в экранах при других вариантах расстояний между точками транспозиции, нужно проводить дополнительные расчёты.

Таблица М10 – Результаты расчетов токов в экранах КЛ 2хАПвПуг-3х(1х500) при симметричной нагрузке

Случай	Условие	Ток в жиле $I_{ж}, \text{А}$	Ток в экране $I_{экр}, \text{А}$	$I_{ж} / I_{экр}$
1-й способ прокладки кабелей				
Нет транспозиции	$L_1 = L_K, L_2 = L_3 = 0$	531,1	85,5	6,21
Одна коробка транспозиции в середине трассы	$L_1 = 0,$ $L_2 = L_3 = 0.5 L_K$	534,5	45,7	11,70
Две коробки транспозиции при разных длинах участков	$L_1 = 0.5 L_K,$ $L_2 = L_3 = 0.25 L_K$	535,4	24,8	21,59
Идеальная транспозиция	$L_1 = L_2 = L_3$	535,7	6,4	83,70
2-й способ прокладки кабелей				
Нет транспозиции	$L_1 = L_K, L_2 = L_3 = 0$	551,3	309	1,78
Одна коробка транспозиции в середине трассы	$L_1 = 0,$ $L_2 = L_3 = 0.5 L_K$	586,5	175	3,35
Две коробки транспозиции при разных длинах участков	$L_1 = 0.5 L_K,$ $L_2 = L_3 = 0.25 L_K$	594,8	92	6,47
Идеальная транспозиция	$L_1 = L_2 = L_3$	597,9	38,6	15,49

Следует обратить внимание на выбор уставки МТЗ по времени $t_{ср.МТЗ}$ для отходящих ячеек 10 кВ ПС. При заданном сечении экрана допустимый односекундный ток короткого замыкания составляет для экрана 10,2 кА.

Рекомендации по результатам расчета

Оптимальным вариантом ограничения токов в экранах рассматриваемой кабельной линии являются следующие мероприятия:

1. Расположение кабелей каждой цепи в треугольник.
2. Кабели каждой цепи, относящиеся к одной фазе, рекомендуется располагать как можно дальше друг от друга.
3. Транспозицию экранов следует выполнять в двух точках по длине линии, по возможности на равных расстояниях.
4. Транспозиция экранов для каждой цепи КЛ выполняется отдельно.

Приложение Н (Справочное) Пример выбора номинальных сечений токопроводящей жилы и экрана кабеля напряжением 110 кВ

Исходные данные:

- передаваемая мощность линии 170 МВт, $\cos\varphi=0,95$;
- марка кабеля АПвВг (или АПвЭгВ, что то же);
- линия разделена на две группы кабелей. Кабели могут быть расположены одним из способов:
 - две группы кабелей, скрепленных в треугольник;
 - две группы кабелей проложены в плоскости с расстоянием между фазами, равным диаметру кабеля;
- расстояние в свету между группами кабелей: в траншее 700 мм, на эстакаде равно диаметру кабеля;
- кабельная линия прокладывается в грунте (траншее) и по территории предприятия по крытой эстакаде и имеет переход под автомобильной дорогой в керамической трубе длиной 9 м, проложенной на воздухе;
- глубина прокладки в земле 1,8 м, удельное тепловое сопротивление грунта $1,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}/\text{Вт}$;
- расчетная температура воздуха 30°C , грунта 20°C ;
- ток однофазного короткого замыкания на землю по данным проекта энергосистемы составляет 35 кА при времени отключения защиты однофазного короткого замыкания 0,3 с.

Расчет

1. Ток в линии рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} \text{ [A]}, \quad (\text{Н.1})$$

где:

P – передаваемая мощность, кВт;

U – номинальное линейное напряжение, кВ;

φ – угол сдвига фаз между напряжением и током.

$$I = \frac{170 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 0,95} \approx 939,2 \text{ А}. \quad (\text{Н.2})$$

Ток в одном кабеле:

$$I_1 = I / 2 = 469,6 \text{ А}. \quad (\text{Н.3})$$

2. Необходимо выбрать номинальное сечение жилы, допустимый ток для которого равен или превышает 469,6 А.

Для кабелей, проложенных в земле:

- а) для способа прокладки треугольником:

Номинальному сечению алюминиевой жилы 350 мм^2 соответствует длительно допустимый ток 487 А .

Допустимый ток для заданных условий прокладки кабеля в траншее рассчитывается при помощи поправочных коэффициентов $k_1 = 0,97$ (табл. №2), $k_2 = 0,98$ (табл. №5а), $k_3 = 1,00$ (табл. №6б), $k_5 = 0,93$ (табл. №4б).

$$I_2 = 487 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 1,00 \cdot 0,93 = 430,5 \text{ А},$$

т.е. сечения жилы 350 мм^2 при выбранных условиях прокладки недостаточно.

б) для прокладки в плоскости:

допустимый ток для номинального сечения жилы 350 мм^2 в земле 510 А . Найдем допустимый ток для заданных условий прокладки кабеля в траншее:

поправочные коэффициенты $k_1 = 0,97$ (табл. №2), $k_2 = 0,98$ (табл. №5а), $k_3 = 1,00$ (табл. №6б), $k_5 = 0,93$ (табл. №4б)

$$I_3 = 510 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 1,00 \cdot 0,93 = 450,9 \text{ А}.$$

Необходимо выполнить расчет для следующего номинального сечения жилы 400 мм^2 :

а) при прокладке треугольником:

допустимый ток в земле 524 А , поправочные коэффициенты см. выше:

$$I_4 = 524 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 1,00 \cdot 0,93 \approx 463,2 \text{ А},$$

б) при прокладке в плоскости:

допустимый ток 549 А , поправочные коэффициенты см. выше:

$$I_5 = 549 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 1,00 \cdot 0,93 = 485,3 \text{ А}.$$

Таким образом, сечение жилы 400 мм^2 при прокладке кабелей в земле в плоскости обеспечивает требуемую передаваемую мощность.

Проверка допустимых токовых нагрузок на участках трассы с другими условиями прокладки:

а) для участка кабеля, проложенного в трубе:

допустимый ток для сечения 400 мм^2 при прокладке в воздухе 775 А , поправочные коэффициенты $k_1 = 0,96$ (табл. №2), $k_6 = 1$ (труба менее 10 м):

$$I_6 = 775 \cdot 0,96 \cdot 1 = 744 \text{ А}.$$

б) для кабеля на эстакаде. Группы кабелей связаны в треугольники и проложены на двух полках, расположенных вертикально:

поправочные коэффициенты $k_1 = 0,96$ (табл. №2), $k_5 = 0,95$ (Приложение

Д)

$$I_7 = 775 \cdot 0,96 \cdot 0,95 = 706,8 \text{ А}.$$

Таким образом, выбранное номинальное сечение 400 мм^2 обеспечивает пропускную способность линии на всей длине трассы при прокладке кабелей в плоскости. При необходимости прокладки кабелей треугольником в земле

необходимо было бы принять следующее номинальное сечение кабеля 500 мм² и также проверить нагрузочную способность.

Для продолжительности короткого замыкания $t = 1$ с ток короткого замыкания по экрану составит:

$$I_s = 35 \cdot \sqrt{0,3} = 19,2 \text{ кА.}$$

Из табл. №8 при таком токе короткого замыкания необходимо сечение медного экрана 95 мм².

Таким образом, при указанных исходных данных может быть выбран кабель АПВГ-110 (1х400/95) для прокладки кабелей одной цепи в плоскости или АПВГ-110 (1х500/95) для прокладки кабелей одной цепи треугольником.

Приложение О (Справочное) Пример выбора номинальных сечений токоведущей жилы и экрана кабеля напряжением 10 кВ

Исходные данные:

- обеспечить питание двух трансформаторов ТМ-4000/10;
- линия состоит из двух групп одножильных кабелей АПвПг (или АП-вЭгП, что то же) группы могут быть расположены треугольником или в плоскости;
- линия прокладывается в грунте (в траншее) и по территории предприятия по эстакаде;
- расстояние между группами кабелей в траншее 200 мм, а на эстакаде равно диаметру группы кабелей, связанных в треугольник;
- линия имеет участок перехода в трубах длиной 20 м, проложенных в земле, каждый кабель в отдельной трубе.
- расчетная температура воздуха 30 °С, грунта 20 °С. Глубина прокладки в земле 1 м, удельное тепловое сопротивление грунта 1 °С·м/Вт;
- релейная защита отключает ток короткого замыкания через 0,2 с, величина тока короткого замыкания 24 кА.

Расчет

Расчетный ток кабельной линии в режиме допустимой перегрузки трансформатора на 40 % составит:

$$I_p = \frac{1,4 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 323,3 \text{ А.} \quad (\text{О.1})$$

Необходимо выбрать номинальное сечение жилы кабеля, допустимый ток которого не менее 324 А.

Для кабелей, проложенных в земле:

а) для способа прокладки треугольником:

Номинальному сечению алюминиевой жилы 240 мм² соответствует длительно допустимый ток в земле 367 А.

Допустимый ток для заданных условий прокладки кабеля в траншее рассчитывается при помощи поправочных коэффициентов $k_2 = 0,97$ (табл. №5б), $k_3 = 1,05$ (табл. №6б), $k_4 = 0,92$ (табл. №4а)

$$I_{\text{дол}} = 367 \cdot 0,97 \cdot 1,05 \cdot 0,92 = 343,9 \text{ А,}$$

т.е. сечения жилы 240 мм² при выбранных условиях прокладки достаточно.

б) для прокладки в плоскости:

Допустимый ток для номинального сечения жилы 240 мм² в земле 373 А.

Допустимый ток для заданных условий прокладки кабеля в траншее определяется с учетом коэффициентов $k_2 = 0,97$ (табл. №5б), $k_3 = 1,05$ (табл. №6б), $k_4 = 0,92$ (табл. №4а)

$$I_{\text{дон}2} = 373 \cdot 0,97 \cdot 1,05 \cdot 0,92 = 349,5 \text{ А.}$$

в) для участка кабеля, проложенного в отдельных трубах:

Допустимый ток составляет 351 А; поправочные коэффициенты $k_2 = 0,97$ (табл. №5б), $k_3 = 1,05$ (табл. №6б), $k_4 = 0,92$ (табл. №4а)

$$I_{\text{дон}3} = 351 \cdot 0,97 \cdot 1,05 \cdot 0,92 = 328,9 \text{ А.}$$

Для кабеля, проложенного на воздухе (на эстакаде):

Допустимый ток составляет 502 А, поправочный коэффициент $k_5 = 0,98$ (Приложение Д)

$$I_{\text{дон}4} = 502 \cdot 0,98 = 492 \text{ А.}$$

Таким образом, выбранное номинальное сечение 240 мм² обеспечивает пропускную способность линии на всей длине трассы при выбранных видах прокладки.

Допустимый односекундный ток короткого замыкания для выбранного сечения жилы кабеля 22,7 кА (табл. №7); соответствующий допустимый ток короткого замыкания продолжительностью 0,2 с составит

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{22,7}{\sqrt{0,2}} = 50,8 \text{ кА,}$$

т.е. больше требуемого тока 24 кА.

Из табл. №8 выбираем сечение медного экрана 70 мм²; при длительности короткого замыкания 0,2 с допустимый ток короткого замыкания по экрану составит:

$$I_{\text{к.з.э}} = \frac{14,2}{\sqrt{0,2}} = 31,8 \text{ кА.}$$

Таким образом, при указанных исходных данных может быть выбран кабель АПвПг-10 (1х240/70) либо АПвЭгП-10 (1х240/70).