

КАТАЛОГ ПРОДУКЦИИ
**КАБЕЛИ НА НАПРЯЖЕНИЕ
110/220 кВ**



® ГРУППА КОМПАНИЙ
СЕВКАБЕЛЬ



Группа «Севкабель» – одна из крупнейших российских компаний кабельной промышленности. На предприятиях группы выпускается более 20 тыс. марко-размеров кабельно-проводниковой продукции. Реализация продукции осуществляется в регионах и республиках РФ, странах СНГ и ЕС.

Цель развития компании – обеспечение стратегически важных отраслей российской промышленности высококачественной кабельной продукцией. Основная стратегическая задача заключается в формировании наиболее полной номенклатуры продукции для потребителей, отвечающей самым высоким современным требованиям качества, позволяющей комплексно выполнять заявки.

Географическое размещение структур обеспечивает минимизацию транспортных расходов клиентов, а также создает возможность сокращения сроков выполнения заявок за счет создания централизованных современных складов готовой продукции в Санкт-Петербурге, регионах России и странах СНГ.

На предприятиях компании установлено и введено в эксплуатацию новейшее оборудование ведущих мировых производителей, таких как Mallefer (Швейцария), Niehoff (Германия), Cortinovis (Италия), Rosendahl (Австрия), Sket (Германия). Производство отвечает международным стандартам, таким как DEKRA, МЭК, VDE. Система качества компании сертифицирована на соответствие стандарту ISO 9001:2000.

На предприятиях группы «Севкабель» производятся силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена низкого, среднего и высокого напряжения, силовые кабели с ПВХ изоляцией, кабели с пропитанной бумажной изоляцией, кабели гибкие с резиновой изоляцией, контрольные, радиочастотные, коаксиальные кабели. Осветительные, установочные, самонесущие изолированные провода. Кабели геофизические, оптические, шахтные, судовые кабели, а также специализированные кабели. Кабели производятся в исполнении LS, HF, FRHF.

В структуру компании входят собственный проектный институт НИИ «Севкабель», логистическая компания и инжиниринговый центр «Севкабель-Инжиниринг». Инжиниринговый центр оказывает комплексные услуги по поставке высоковольтных кабельных систем «под ключ» – проектирование, поставка, монтаж, ввод в эксплуатацию кабельных и воздушных линий высокого напряжения, гарантия на линии.

Введение	3
Глава 1. Кабели СПЭ 110–220 кВ Севкабель	5
1.1. Начало производства	5
1.2. Конструкция кабеля	5
1.3. Этапы производства высоковольтного кабеля	6
1.3.1. Современное оборудование	6
1.3.2. Технологический процесс	6
1.3.3. Испытания кабеля	8
1.4. Номенклатура кабеля	8
1.5. Технические характеристики	11
1.6. Наружный диаметр и масса кабелей	15
Глава 2. Выбор кабеля 110–220 кВ	18
2.1. Выбор номинального сечения токопроводящей жилы	18
2.1.1. Таблицы длительно допустимых токов	18
2.1.2. Таблицы поправочных коэффициентов	22
2.1.3. Электрические параметры кабелей	27
2.2. Пример выбора сечения токопроводящей жилы кабеля	29
2.2.1. Методика теплового расчета	30
2.2.2. Способы заземления экрана	32
2.2.3. Пример расчета сечения медного экрана	36
2.2.4. Программа Экран, пример запроса на расчет	37
2.3. Расчет усилий тяжения кабеля	39
2.3.1. Радиальная нагрузка	40
2.3.2. Пример расчета усилия тяжения	40
Глава 3. Кабельная арматура и комплектующие	41
3.1. Общие положения	41
3.2. Кабельная арматура	41
3.2.1. Концевые муфты наружной установки	41
3.2.2. Соединительные муфты	42
3.2.3. Штекерные муфты	44
3.2.4. Переходные муфты	46
Глава 4. Монтаж кабельных систем 110–220 кВ	48

ОГЛАВЛЕНИЕ

4.1. Общие указания	48
4.2. Оборудование для монтажа КЛ 110–220 кВ	48
4.3. Требования к электромонтажным организациям	49
4.4. Монтаж кабеля 110–220 кВ (инструкция)	49
4.5. Монтаж арматуры и комплектующих	58
4.6. Комплексная система обеспечения безопасности эксплуатации высоковольтных кабельных линий	60
4.7. Крепёжный материал	61
4.8. Испытания после монтажа	67
4.9. Ремонт оболочки кабеля	68
4.10. Шеф-надзор	70
4.11. Исполнительная документация	70
Глава 5. Эксплуатация КЛ 110–220 кВ	71
5.1. Техническое обслуживание	71
5.2. Замечания по эксплуатации	71
Приложения	72
Список использованной литературы	73
Контактная информация ООО «Севкабель-Инжиниринг»	73

Завод «Севкабель» был основан в 1879 году. За время работы завод зарекомендовал себя как производитель кабельной продукции высокого качества.

Сегодня «Севкабель» предлагает:

- Проектирование КЛ 110-220 кВ;
- Консультирование, поддержку на этапе проектирования КЛ 110-220 кВ;
- Проведение технической экспертизы проектов;
- Изготовление кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение до 220 кВ;
- Комплектацию кабеля арматурой и необходимым оборудованием;
- Шефнадзор и шефмонтаж;
- Строительство и монтаж КЛ;
- Сдачу заказчику КЛ 110-220 кВ «под ключ» с предоставлением единой гарантии на кабельную линию.

В настоящее время производятся и эксплуатируются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение до 550 кВ. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (российское обозначение – СПЭ, английское – XLPE, немецкое – VPE, шведское – PEХ) в полной мере отвечают все более жестким требованиям по качественному и надежному обеспечению потребителя электроэнергией. Благодаря радиальной конструкции, диэлектрическим характеристикам сшитого полиэтилена и технологии производства удается достичь рекордно низких показателей по количеству пробоев во время эксплуатации.

Термин «сшивка» подразумевает обработку полиэтилена на молекулярном уровне. В результате этой химической реакции поперечные связи, образующиеся между макромолекулами полиэтилена, создают трехмерную структуру (рисунок 1.1), которая определяет высокие электрические и механические характеристики материала, меньшую гигроскопичность, широкий диапазон рабо-

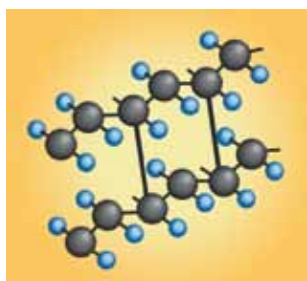


Рисунок 1.1

чих температур, прекрасные диэлектрические характеристики.

При производстве кабелей на напряжение 110-220 кВ используется пероксидная сшивка, происходит при помощи пероксидов в среде нейтрального газа при температуре 300–400 °С и давлении 20 атм. Она применяется при производстве кабелей среднего и высокого напряжений;

Изменения в свойствах п/э после сшивания:

- повышенная устойчивость к температуре и давлению;
- снижение температуры хрупкости и увеличение стойкости к растрескиванию под напряжением;
- способность восстанавливать форму после деформирования;
- долговечность.

В сравнении с маслонаполненными кабелями на высокое напряжение кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена имеют ряд преимуществ:

- высокий ток термической устойчивости при К.З.;
- низкая удельная повреждаемость;
- малая гигроскопичность;
- отсутствие масла, битума, свинца обеспечивает минимальное влияние на окружающую среду;
- большие строительные длины;
- повышенная нагрузочная способность, обусловленная более высокой допустимой температурой изоляции в рабочем режиме;
- малый вес;
- малый наружный диаметр, что позволяет уменьшить радиус изгиба кабелей;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- отсутствие жидкостей в конструкции кабеля и подпитывающей аппаратуры, что значительно снижает расходы на сооружение кабельной линии, ее ремонт и эксплуатацию;
- простая технология монтажа муфт и ремонта кабеля

В настоящее время идет замена проложенных ранее кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на среднее напряжение и маслонаполненных кабелей на напряжение 110 (220) кВ на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Широкое использование сшитого полиэтилена в качестве материала изоляции силовых кабелей обусловлено его превосходными диэлектрическими качествами (высокая электрическая прочность, низкий $\tan \delta$, низкая диэлектрическая проницаемость и, вследствие этого, малая емкость) и высокой температурной стабильностью, что позволяет

увеличить токовые нагрузки как в режиме эксплуатации, так и в режиме короткого замыкания.

Основным недостатком первых кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена было интенсивное старение полимерной изоляции. В настоящее время установлено, что старение полиэтилена в условиях воздействия электрического поля определяется прежде всего наличием неоднородностей в изоляции, возникающих как в процессе производства кабелей, так и свойственных самому изоляционному материалу в исходном состоянии. Если в полимерной изоляции кабеля существуют неоднородности, то под действием влаги и электрического поля в процессе эксплуатации в этой изоляции начинают развиваться проводящие каналы, известные под названием «дендритов» (древовидных образований) или «водных триингов». Триинги могут развиваться на поверхности изоляции, в основном на участках, в которых существует неоднородность структуры изоляции на границе с полупроводящими экранами по жиле и по изоляции, и из неоднородностей структуры, находящихся в толще изоляции (загрязнения,

включения, микропустоты). Образование триингов приводит к местным концентрациям электрического поля в изоляции. Область изоляции с триингом со временем подвергается более быстрому окислению, изоляция быстро стареет, и в результате может наступить пробой.

Разработанные ГК «Севкабель» конструкции, применяемые материалы и современная технология изготовления кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена позволяют свести к минимуму или исключить процесс триингообразования в течение длительного срока службы и прогнозировать работоспособность кабелей в течение 30 лет и более.

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110-220 кВ

1.1. Начало производства

С 2008 года «Севкабель» производит кабель на напряжение 110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена, в 2011 году налажен выпуск кабеля на напряжение 220 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Данная кабельная продукция производится по ТУ 16-705-495-2006, ТУ 3530-405-00217053-2009 разработанным ВНИИКП. Кабель соответствует требованиям стандартов МЭК 62067: 2006 и МЭК 60840:2004 по надежности, эксплуатационным характеристикам и областям применения. При производстве кабеля на высокое напряжение используется полиэтилен фирмы Borealis.

1.2 Конструкция кабеля

На Рис.1.2 представлена типовая конструкция высоковольтного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена, производимая ГК «Севкабель».

При передаче больших токовых нагрузок на высоких напряжениях переменный ток протекает преимущественно во внешних повивах жил кабеля (поверхностный или скин-эффект). Магнитные поля соседних кабелей оказывают возмущающее действие на распределение тока по сечению жилы (эффект близости). Эти эффекты приводят к увеличению сопротивления жилы до 15 %. Повышение сопротивления ведет к увеличению тепловых потерь в жиле. Для снижения потерь используется специальная конструкция жилы – «Милликен» (жила скручивается из изолированных сегментов).

Конструкция:

1. Многопроволочная, круглая, уплотненная токопроводящая жила, алюминиевая или медная, класс гибкости жилы 1. Жилы сечением 1000 мм² и 1200 мм² – сегментированные, скрученные по системе «Милликен».

2. Внутренний экструдированный электропроводящий слой

3. Изоляция из пероксидносшитого полиэтилена

4. Внешний экструдированный электропроводящий слой

5. Слой обмотки электропроводящей полимерной лентой или электропроводящей бумагой, или электропроводящей водоблокирующей лентой (кабели с индексом «Г» или «2Г»)

6. Экран из медных проволок. Возможно введение в экран распределенного оптического датчика температуры

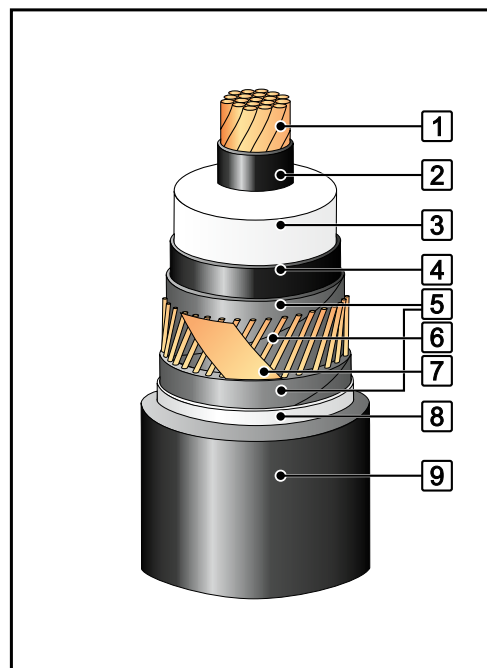


Рисунок 1.2 – Схема кабеля

7. Медная лента
8. Алюмополимерная лента для кабелей с индексом «2Г»
9. Наружная оболочка из полиэтилена, ПВХ пластика или пластика пониженной горючести, не содержащей галогенов (кабели с индексом «нг(A)», «HF»)

Наложение внутреннего полупроводящего слоя, изоляции и внешнего полупроводящего слоя поверх проводника из меди или алюминия производится в один технологический процесс, что обеспечивает ровные поверхности раздела и отсутствие загрязнений. Эти три слоя в сочетании с жилой образуют сердечник кабеля. Сердечник кабеля окружен медным проволочным экраном, который защищает кабель во время прокладки, поддерживает нулевой потенциал на поверхности кабеля, несет зарядные токи, отводит токи при коротких замыканиях. Зона экрана из медных проволок обеспечивается продольной водонепроницаемостью с помощью водонабухающего материала так, чтобы вода не могла проникнуть в кабель при повреждении внешней оболочки. Двойная герметизация экрана обеспечивается алюминиевой лентой с полимерным покрытием, которая сварена с наружной полиэтиленовой оболочкой. Внешняя оболочка выполняется из износостойкого светостабилизированного полиэтилена высокой плотности, или ПВХ пластика.

1.3. Этапы производства высоковольтного кабеля

1.3.1 Современное оборудование

При производстве силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110-220 кВ на Севкабеле используется современное оборудование ведущих мировых производителей:

Используется новейшее оборудование ведущих мировых фирм:

- наклонная линия сухого сшивания полиэтилена «EPL 50», фирмы «Maillefer» (Финляндия);
- экранировочная бронировочная машина общей скрутки «Drum Twister» («Cortinovis», Италия);
- экранировочная бронировочная машина («Caballe», Испания);
- линия наложения оболочки («Maillefer», Финляндия);
- испытательная станция (с приложением напряжения до 350 кВ) фирмы «High Volt» (Германия);
- испытательная высокотоковая станция для проверки параметров изолированной жилы с одновременным приложением температуры $t = +95^{\circ}\text{C}$, напряжения $U=318$ кВ и номинального тока (в зависимости от сечения) фирмы «High Volt» (Германия);

1.3.2 Технологический процесс

Технологический процесс производства кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Процесс производства кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена соответствует последним достижениям в области кабельной техники:

- в производстве применяются материалы только наилучшего качества, прошедшие входной контроль: триингостойкие суперчистые изоляционные и полупроводящие композиции сшиваемого полиэтилена и полиэтилена высокой плотности для оболочек производства фирмы «Borealis»;
- максимальную чистоту изоляции обеспечивает применение вакуумной упаковки при транспортировке изоляционных материалов и закрытого процесса их загрузки и экструзии;

Токопроводящие жилы скручиваются и уплотняются на крутильной машине фирмы «Cortinovis». Применение уплотнения по повивам позволяет получить высокий коэффициент уплотнения жилы и гладкую ее поверхность. На крутильной машине при необходимости накладываются также водоблокирующие материалы. Совершенный промежуточный контроль в процессе производства всех материалов и выполнения кабельной жилы обеспе-

чивает соответствие самым высоким стандартам качества;



Рис. 1.3 – Скрутка жил

«Чистые комнаты» для хранения материалов имеют класс чистоты 1000, что равносильно классу чистоты при производстве полупроводников.



Рис. 1.4 – Чистые комнаты

Полностью замкнутая система подачи смесей для изоляции и экранирования исключает возможность загрязнения исходных материалов.

Сухое сшивание выполняется в атмосфере сжатого азота.

Система с тройным экструдером и оснасткой обеспечивает исключительно гладкие поверхности раздела между полупроводящими экранами и изоляцией.

Линия наложения изоляции Maillefer EPL 50 (Финляндия)

Одновременное наложение изоляции и полупроводящих экранов осуществляется на наклонной линии газовой вулканизации фирмы «Maillefer», вулканизация происходит в среде азота при высоких значениях температуры и давления



Рис. 1.5 – Производственный процесс-
линия наложения изоляции Maillefer EPL 50
(Финляндия)

(«сухая» вулканизация), что исключает попадание влаги в изоляцию. Получается гладкая и однородная изоляция без пустот и посторонних включений, с плотно прилегающими полупроводящими экранами. Линия была приобретена и смонтирована в 2007 г. и является в настоящее время самой современной и высокотехнологичной изоляционной линией в России. Толщина и эксцентриситет слоев непрерывно контролируются приборами рентгеновского и лазерного контроля. Уникальная система ЭНТ (Entry Heat Treatment) – термообработка на входе. В совокупности с обеспечением непрерывного вращения изолированной жилы в вулканизационной трубе позволяет сохранить высокую точность геометрии кабеля и отличные свойства изоляции. Процесс наложения изоляции полностью автоматизирован. Система мониторинга Sikora с помощью рентгеновских лучей позволяют контролировать геометрические параметры изолированной жилы.

Наложение обмоток водонабухающими лентами, экранов из медных проволок и лент производится на универсальной крутильной машине Drum Twister фирмы «Cortinovis».

Экструдирование наружных оболочек кабелей и наложение алюмополимерных лент (при необходимости) происходит на экструзионной линии фирмы «Maillefer», оснащенной приборами изме-



Рис. 1.6 – Система мониторинга Sikora



Рис. 1.7 – Экранирование кабеля

рения диаметра, контроля герметичности оболочки и устройством для маркирования методом термотрансферной печати;

Комплекс испытательного оборудования фирмы «HighVolt» позволяет проводить испытания кабелей на наличие в изоляции частичных разрядов, а также испытания готовых кабелей повышенным



Рис. 1.8 – Наложение оболочки

напряжением;

Все перечисленное оборудование имеет компьютеризированное управление технологическими процессами и испытаниями на базе математического, программного и технического обеспечения, разработанного фирмой «Siemens», включая системы рецептов и отчетов.

Система управления производством включает в себя следующие функции:

- автоматический расчет технологических параметров линий (например, для наклонной линии газовой вулканизации – послойное соотношение температуры как функции времени, основанное на расчете теплопередачи между слоями, температурной зависимости периода полураспада пероксида и т.д.);

- обеспечение полной синхронизации всех узлов линий в зависимости от параметров технологического процесса и их изменений;
- сигнализацию и мониторинг в случае достижения одним или несколькими технологическими параметрами своих критических значений;
- отслеживание стабильности параметров технологического процесса и обеспечение практически мгновенной реакции на их текущие измерения.

Система управления оборудована современными промышленными компьютерами с интерфейсом, позволяющим создавать, хранить, а при необходимости и выдавать технологические параметры или результаты испытаний для принятия управленческих решений.

1.3.3 Испытания кабеля

В соответствии с ТУ 16-705-495-2006, ТУ 3530-405-00217053-2009 и МЭК 60840 кабели подвергаются приемно-сдаточным, периодическим и типовым испытаниям.

В процессе приемно-сдаточных испытаний каждая строительная длина кабелей подвергается следующим видам испытаний:

- проверка конструкции и конструктивных размеров;
- проверка размеров выступов на поверхности электропроводящих слоев и наличия полостей и инородных включений в изоляции;
- проверка маркировки и упаковки;
- определение электрического сопротивления токопроводящей жилы постоянному току;
- испытание переменным напряжением с частотой 50 Гц в течении 30 мин: 160 кВ – для кабелей 64/110 кВ и 318 кВ для кабелей 127/220кВ;
- измерение уровня частичных разрядов;
- проверка стойкости изоляции кабеля к тепловой деформации.

Периодические испытания проводятся не реже 1 раза в год в следующем объеме:

- определение значения тангенса угла диэлектрических потерь;
- испытания импульсным и переменным напряжением;
- измерение удельного объемного электрического сопротивления электропроводящих экранов кабеля.

Типовые испытания проводят по программе, согласованной с разработчиком. По результатам испытаний, оформленных протоколом и актом, принимается решение о возможности и целесооб-

разности внесения изменений в техническую документацию.

Для получения высококачественного кабеля должны использоваться материалы, отвечающие соответствующим требованиям. Поэтому в сотрудничестве с поставщиками были разработаны технические требования для полупроводящих и изолирующих материалов. Материал проверяется при каждой поставке.

Кроме того, размеры и физические показатели кабеля контролируются в процессе производства.

Хотелось бы отметить, что требования наших внутренних испытаний являются более строгими, чем необходимые по соответствующим стандартам. Наш многолетний опыт производства кабельной продукции подтверждает правильность этого подхода.

Испытательная база



Рис.1.9 – Экранированная лаборатория HIGH VOLT для испытаний высоковольтных кабелей

На рис.1.9 показана полностью экранированная лаборатория для испытаний высоковольтных кабелей.

1.4 Номенклатура кабеля



Рис. 1.10 – испытательная лаборатория фирмы HIGH VOLT

Таблица 1.1 – Области применения кабелей

Марка кабеля	Наименование кабеля	Основная область применения
ПвПг АПвПуг	Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена, с водоблокирующими лентами, с усиленной оболочкой из полиэтилена высокой плотности	Для прокладки в земле в не зависимости от степени коррозионной активности грунта (в траншеях или бетонных лотках), если кабель защищен от механических повреждений.
ПвП2г АПвПу2г	То же, с алюмополимерной лентой	Для прокладки в земле в не зависимости от степени коррозионной активности грунта (в траншеях или бетонных лотках), а также в воде, если кабель защищен от механических повреждений
ПвКП2г АПвКП2г	То же, бронированный круглыми проволоками	Для прокладки в земле (в траншеях), на сырых и заболоченных участках, а также в воде, в районах, где возможно смещение почвы, механические воздействия на кабель. Конструкция может предусматривать наличие продольной (г), продольной и поперечной герметизации (2), герметизацию токопроводящей жилы (2гж).
ПвВнг(А) АПвВнг(А)	То же, в оболочке из поливинилхлоридного пластиката пониженной горючести	Для групповой прокладки в кабельных сооружениях и производственных помещениях, а так же в сухих грунтах с влажностью менее 14%.
ПвПнг(А)2г-НГ АПвПнг(А)2г-НГ	Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена, с алюмополимерной лентой поверх герметизированного экрана, в оболочке из композиции, не содержащей галогенов	Для групповой прокладки в кабельных сооружениях, производственных помещениях, где есть требования по ограничению воздействия коррозионно-активных газов
ПвКПнг(А)2г-НГ АПвКПнг(А)2г-НГ	То же, бронированный круглыми проволоками	То же, в местах, где возможны механические воздействия на кабель, в т.ч. значительные растягивающие усилия
ПвПнг(А)2г АПвПнг(А) 2г	Кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена, с алюмополимерной лентой поверх герметизированного экрана, в оболочке из полиэтилена, не распространяющего горение	Для прокладки в земле (в траншеях), а также для групповой прокладки в кабельных сооружениях, производственных помещениях
ПвКПнг(А)2г АПвКПнг(А)2г	То же, бронированный круглыми проволоками	Для прокладки в земле (в траншеях), в районах, где возможно смещение почвы

Основные области применения кабелей приведены в таблице 1.1.

Примечание – Индекс (А) в марке означает, что кабель соответствует категории а по нераспространению горения по ГОСТ Р МЭК 60332-3-22-2005., индекс (НГ) в марке означает повышенные требования к пониженному дымо- и газовыделению и

требования по ограничению воздействия коррозионноактивных газов.

Максимальное сечение жилы:

- 1200 мм² на напряжение 110 кВ;
- 800 мм² на напряжение 220 кВ;

Жила сечением 1000-1200 мм² выполнена по типу Milliken. Максимальное сечение экрана 400 мм². Воз-

ГЛАВА 1. КАБЕЛИ СПЭ 110-220 кВ «СЕВКАБЕЛЬ»

Таблица 1.2 – Ряд сечений кабеля на напряжение 110-220 кВ производства «Севкабель»

Номинальное сечение жилы напряжением 110 кВ, мм²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200
Номинальное сечение жилы напряжением 220 кВ, мм²					400	500	630	800		
Сечение экрана, мм ²	Площадь поперечного сечения медного экрана выбирается на этапе проектирования и может быть изготовлена до 400 мм ²									

Таблица 1.3 – Соответствие марок

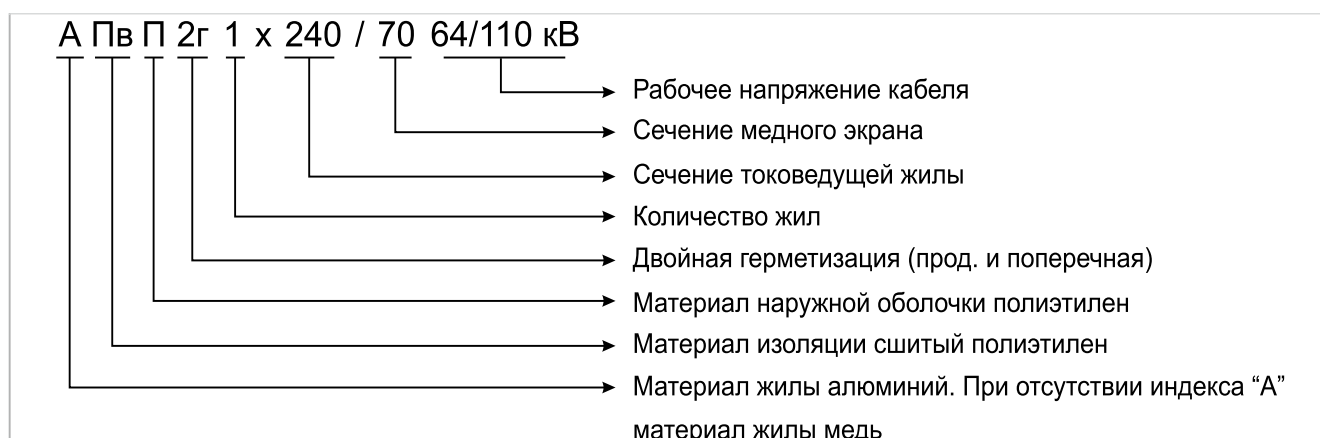
С медными жилами				
Россия	Германия	Польша	Украина	Другие страны
ПвВ	N2XSY, N2XSEY (2XSY, 2XSEY)	УНКХС	ПвЭВ	
ПвВнг(А)	N2XSY, N2XSEY (2XSY, 2XSEY)	У _n НКХС	ПвЭВнг	
ПвПг, в том числе ПвПуг с усиленной оболочкой	N2XS(F)2Y (2XS(F)2Y)	ХУНКХС	ПвЭгП	
ПвП2г, в том числе ПвПу2г с усиленной оболочкой	N2XS(FL)2Y (2XS(FL)2Y)	ХРУНКХС	ПвЭгаП, ПвЭгаПу	FXLJ, HXCHBMK
С алюминиевыми жилами				
АПвВ	NA2XSY, NA2XSEY (A2XSY, A2XSEY)	УНАКХС	АПвЭВ	
АПвВнг(А)	NA2XSY, NA2XSEY (A2XSY, A2XSEY)	У _n НАКХС	АПвЭВнг	
АПвПг, в том числе АПвПуг с усиленной оболочкой	NA2XS(F)2Y (A2XS(F)2Y)	ХУНАКХС	АПвЭгП	
АПвП2г, в том числе АПвПу2г с усиленной оболочкой	NA2XSF(L)2Y, NA2XS(FL)2Y	ХРУНАКХС	АПвЭгаП, АПвЭгаПу	АНХЛМК-W
Россия	Германия	Польша	Украина	Другие страны

можно применения оптоволоконного модуля для температурного мониторинга состояния линии.

Индекс «у», указываемый в маркировке кабеля АПвПуг 110-220 кВ некоторыми производителями

КПП обозначает усиленную оболочку из полиэтилена толщиной 6 мм. Возможно изготовление оболочки стандартной толщины 3,4 мм, с продольными рёбрами жёсткости, выступающими на 6 мм.

Расшифровка элементов марки кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 64/110 кВ:



В этом случае в маркировке кабеля также указывается индекс «у» и это должно оговариваться при заказе и отражаться в маркировке.

Пример обозначения при заказе или в документации другого изделия:

1. Кабель марки ПвПу2г на напряжение 110кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена, с электропроводящей водоблокирующей лентой, с алюмополимерной лентой с усиленной оболочкой из полиэтилена, толщиной 6 мм, с медной жилой сечением 1000 мм² и медным экраном сечением 185 мм²:

«Кабель ПвПу2г 1х1000/185 – 64/110 кВ»

2. Кабель марки АПвВнг(А) на напряжение 110кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена, в оболочке из ПВХ-пластиката пониженной горючести, с алюминиевой жилой сечением 500 мм² и медным экраном сечением 150мм²:

«Кабель АПвВнг(А) 1х500/150 – 64/110 кВ»

3. По требованию заказчика токоведущие жилы кабелей марок ПвПг, АПвПг, ПвП2г, АПвП2г изготавливаются с продольной герметизацией. В этом случае в обозначение кабеля добавляется индекс «гж». Например: АПвП2г 1х300(гж)/120 – 64/110 кВ.

1.5 Технические характеристики

Таблица 1.4 – Технические характеристики

№ п/п	Технические характеристики (Наименование параметра)	Значение параметра
1.	Основные технические характеристики	
1.1	Изготовитель	ГК «Севкабель»
1.2.	Заводской тип (марка)	(А)ПвП2г, (А)ПвВнг(А)
1.3	Вид внутренней изоляции	XLPE
1.4	Значение тангенса угла диэлектрических потерь, измеренное при напряжении 64кВ частотой 50Гц и температуре жилы +(95-100) °С	Не более 0,001
1.5	Тип внешней изоляции	Полиэтилен/ПВХ
1.6	Номинальное рабочее фазное напряжение, кВ	110/√3 (220/√3)
1.7	Наибольшее рабочее фазное напряжение, кВ	126/√3 (252/√3)
1.8	Номинальная частота, Гц	50
1.9	Допустимый длительный ток, А, не менее	Табл.2.1-2.6

ГЛАВА 1. КАБЕЛИ СПЭ 110-220 кВ «СЕВКАБЕЛЬ»

№ п/п	Технические характеристики (Наименование параметра)	Значение параметра
1.10	Допустимая кратковременная перегрузка при прокладке в земле, %	17
1.11	Допустимая кратковременная перегрузка при прокладке в воздухе, %	20
1.12	Допустимый ток трехфазного короткого замыкания, жила, кА, не менее	Табл.2.14
1.13	Допустимый ток однофазного короткого замыкания, экран, кА, не менее	Табл.2.15
1.14	Максимальная длительность короткого замыкания, с	1,0
1.15	Ток термической стойкости при протекании в течение 0,5 с, кА, не менее	Табл.2.17
1.16	Ток электродинамической стойкости, кА	Табл.2.16
1.17	Индуктивность фазы, мГн/км	Табл.2.18
1.18	Емкость фазы кабеля, мкФ/км	Табл.2.18
1.19	Потери в трехфазной кабельной линии при номинальном токе: потери в проводнике, кВт/км; потери в экране, кВт/км; общие потери, кВт/км.	Требует расчета. Зависит от конкретного проекта
1.20	Длительная допустимая температура жилы, °С	90
1.21	Предельно допустимая температура нагрева жилы кабеля в аварийном режиме (или в режиме перегрузки)	130 °С не более 1000 часов за срок службы
1.22	Предельно допустимая температура жилы при КЗ, °С	250
1.23	Предельно допустимая температура экрана при КЗ, °С	350
2.	Технические требования к конструкции, изготовлению и материалам	
2.1	Максимальное продольное усилие, Н, не менее	30 Н/мм ² - алюминиевая жила 50 Н/мм ² - медная жила
2.2	Максимальное поперечное усилие, Н, не менее	
2.3	Минимальный радиус изгиба, мм	15 Dн (Dн- номинальный диаметр кабеля)
2.4	Способ обеспечения герметичности кабеля (А)ПвП2г (гж): герметизация жилы, герметизация экрана, материал водозащитного слоя.	Водоблокирующие нити, бумажные водоблокирующие ленты, алюмополимерная лента
2.5	Тип жилы сечением до 800 мм ²	Круглая многопроволочная
2.6	Тип жилы сечением от 1000 мм ²	Милликен
2.8	Материал токоведущей жилы кабелей АПвП2г, АПвВнг(А)	Алюминий
2.9	Материал токоведущей жилы кабелей ПвП2г, ПвВнг(А)	Медь
2.10	Сечение токоведущей жилы, мм ²	Табл. 2.18
2.11	Сопротивление токоведущей жилы постоянному току, не более, Ом	Табл. 2.19
2.12	Сопротивление токоведущей жилы переменному току, не более, Ом	Табл. 2.20

ГЛАВА 1. КАБЕЛИ СПЭ 110-220 кВ «СЕВКАБЕЛЬ»

№ п/п	Технические характеристики (Наименование параметра)	Значение параметра
2.13	Тип экрана	Проволочный
2.14	Материал экрана	Медь
2.15	Сечение экрана, мм ² , не менее	Определяется на этапе проектирования, может быть до 400 мм ²
2.16	Сопротивление экрана постоянному току, Ом*м	Табл. 2.19
2.17	Сопротивление экрана переменному току, Ом*м	Табл. 2.20
2.18	Номинальный диаметр готового кабеля, мм	Табл. 1.5
2.19	Масса кабеля, кг/м	Табл. 1.5
2.20	Поставка кабеля на металлических барабанах диаметром, м	от 2,2 до 3,6
3.	Условия прокладки	
3.1	Количество цепей (3-х фазных систем)	Определяется проектом
3.2	Заземление экранов кабелей по концам для каждой цепи (системы)	Определяется проектом
3.3	Прокладка кабелей в каналах с засыпкой песчано-гравийной смесью: • расположение фаз кабелей в цепи • глубина прокладки, м	уточняется при разработке РД
3.4	Прокладка кабелей через дороги в полиэтиленовых трубах (п/э): • диаметр трубы, мм • длина трубных участков, м • глубина прокладки, м	Определяется проектом
3.5	Засыпка кабелей выполняется специально составленным грунтом, (да, нет) Удельное тепловое сопротивление, не более км/Вт	уточняется при разработке РД
4.	Климатическое исполнение и стойкость к воздействию климатическим факторам по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89	
4.1	Категория размещения и климатическое исполнение	У1
4.2	Температура окружающего воздуха, 0С верхняя рабочая – нижняя рабочая • - для кабелей в полиэтиленовой оболочке • - для кабелей в ПВХ оболочке	От плюс 50 °С до минус 60 °С От плюс 50 °С до минус 50 °С
4.3	Минимальная температура при прокладке кабеля с поливинилхлоридной оболочкой, без прогрева, °С	-5
4.4	Минимальная температура при прокладке кабеля с поливинилхлоридной оболочкой, с прогревом, °С	-15
4.5	Минимальная температура при прокладке кабеля с полиэтиленовой оболочкой, без прогрева, °С	-10
4.6	Минимальная температура при прокладке кабеля с полиэтиленовой оболочкой, с прогревом, °С	-20
4.7	Высота установки над уровнем моря, м	1000
5.	Требования к электрической прочности изоляции по IEC 60840	
5.1	Испытание импульсным напряжением, кВ, не менее	550

ГЛАВА 1. КАБЕЛИ СПЭ 110-220 кВ «СЕВКАБЕЛЬ»

№ п/п	Технические характеристики (Наименование параметра)	Значение параметра
5.2	Испытание напряжением переменного тока, кВ, не менее	160
6.	Требования по надежности	
6.1	Срок службы, лет	30
6.2	Периодичность и объем технического обслуживания, не чаще	Не требует
6.3	Вероятность безотказной работы за весь срок службы	100%
7.	Гарантии изготовителя	
7.1	Гарантийный срок эксплуатации, месяцев	60
8.	Требования по экологии	
8.1	Напряжение радиопомех (НРП), измеренное при максимальном рабочем напряжении, мкВ, не более	Зависит от проекта
8.2	Максимальная напряженность электрического поля на расстоянии 0,8 м от кабеля, В/м	Зависит от проекта
9.	Требования по безопасности	
9.1	Номер и дата Российского Сертификата безопасности, (да, нет)	Сертификат соответствия № 0839125 26.06.2008
10.	Комплектность поставки	
10.1	Кабель 110 кВ, строительные длины	Согласно спецификации
10.2	Эксплуатационная документация (Технический паспорт, Протоколы испытаний, Руководство по эксплуатации и техническое описание) на русском языке, техническая инструкция на прокладку и монтаж КЛ-110 кВ, экз. на поставку	Да
10.4	Мониторинг (контроль температуры)	Согласуется дополнительно
11.	Маркировка, упаковка, транспортировка, условия хранения по МЭК 61089, МЭК 60794	
11.1	Маркировка, упаковка и консервация в соответствии ГОСТ или по требованиям МЭК, (да, нет)	Да
11.2	Условия транспортирования	
11.3	Наличие "шок-индикатора" на транспортной упаковке для контроля условий транспортировки	По требованию заказчика
11.4	Раस्ताмживание и доставка оборудования до места назначения	Поставщик
11.5	Монтаж кабеля выполняется с участием шеф-инженера фирмы – поставщика	Да
11.6	Условия хранения, срок хранения, отдельно хранящихся деталей, сборочных единиц	
11.7	Срок хранения кабеля, (лет) не более На открытых площадках В закрытых помещениях (на складах)	2 5
12.	Требования по сертификации	
12.1	Наличие ТУ, согласованных с РАО «ЕЭС России» или ОАО «ФСК ЕЭС», (да, нет)	Да

1.6 Наружный диаметр и масса кабелей

Массогабаритные параметры кабелей на напряжение 110кВ приведены в таблице 1.5

Таблица 1.5

Марка кабеля	Материал жилы	Номинальное сеч. жилы/экрана, мм ²	Диаметр жилы	Диаметр по изоляции, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Масса 1 км кабеля, кг
ПвПг (АПвПг)	медь	185/95	16,0±0,2	50,0±1,8	62,2+3,5-2,5	4984
	алюминий					3816
	медь	240/95	18,2±0,2	52,2±1,8	64,4+3,5-2,5	5626
	алюминий					4111
	медь	300/120	20,3±0,3	54,3±1,8	67,3+3,5-2,5	6573
	алюминий					4679
	медь	350/120	21,9±0,3	55,9±1,8	69,0+3,5-2,5	7133
	алюминий					4924
	медь	400/120	23,5±0,3	55,5±1,8	68,5+3,5-2,5	7492
	алюминий					4967
	медь	500/120	26,3±0,3	58,3±1,8	71,7+3,5-2,5	8613
	алюминий					5457
	медь	630/150	29,6±0,3	61,6±1,8	75,4+3,5-2,5	10262
	алюминий					6285
	медь	800/185	33,4±0,3	65,4±1,8	79,9+3,5-2,5	12400
	алюминий					7350
медь	1000/185	39,0±0,4	71,0±1,8	84,3+3,5-2,5	14520	
алюминий					8202	
медь	1200/185	43,0±0,4	75,0±1,8	88,3+3,5-2,5	16598	
алюминий					9026	
ПвП2г (АПвП2г)	медь	185/95	16,0±0,2	50,0±1,8	64,0+3,5-2,5	5106
	алюминий					3938
	медь	240/95	18,2±0,2	52,2±1,8	66,6+3,5-2,5	5791
	алюминий					4276
	медь	300/120	20,3±0,3	54,3±1,8	69,1+3,5-2,5	6705
	алюминий					4811
	медь	350/120	21,9±0,3	55,9±1,8	70,7+3,5-2,5	7310
	алюминий					5100
	медь	400/120	23,5±0,3	55,5±1,8	71,2+3,5-2,5	7667
	алюминий					5142
	медь	500/120	26,3±0,3	58,3±1,8	73,5+3,5-2,5	8753
	алюминий					5597
	медь	630/150	29,6±0,3	61,6±1,8	77,6+3,5-2,5	10454
	алюминий					6477
	медь	800/185	33,4±0,3	65,4±1,8	82,1+3,5-2,5	12604
	алюминий					7553
медь	1000/185	39,0±0,4	71,0±1,8	86,1+3,5-2,5	14683	
алюминий					8365	
медь	1200/185	43,0±0,4	75,0±1,8	90,1+3,5-2,5	16769	
алюминий					9197	

ГЛАВА 1. КАБЕЛИ СПЭ 110-220 кВ «СЕВКАБЕЛЬ»

Марка кабеля	Материал жилы	Номинальное сеч. жилы/экрана, мм ²	Диаметр жилы	Диаметр по изоляции, мм	Наружный диаметр кабеля, мм	Масса 1 км кабеля, кг
ПвКП2г (АПвКП2г)	медь	185/50	16,0±0,2	59,4±1,8	79,2+3,5-2,5	7265
	алюминий					6143
	медь	240/50	18,2±0,2	61,6±1,8	81,8+3,5-2,5	8024
	алюминий					6568
	медь	300/50	20,3±0,3	63,7±1,8	83,9+3,5-2,5	8773
	алюминий					6953
	медь	350/50	21,9±0,3	65,3±1,8	85,5+3,5-2,5	9392
	алюминий					7269
	медь	400/50	23,5±0,3	64,9±1,8	85,1+3,5-2,5	9703
	алюминий					7276
	медь	500/50	26,3±0,3	67,7±1,8	88,3+3,5-2,5	10929
	алюминий					7896
	медь	630/50	29,6±0,3	71,0±1,8	92,2+3,5-2,5	12509
	алюминий					8687
медь	800/70	33,4±0,3	74,8±1,8	95,9+3,5-2,5	14562	
алюминий					9709	
ПвВнг(А) АПвВнг(А)	медь	185/95	16,0±0,2	50,0±1,8	68,4+3,5-2,5	5241
	алюминий					4073
	медь	240/95	18,2±0,2	52,2±1,8	71,2+3,5-2,5	5893
	алюминий					4378
	медь	300/120	20,3±0,3	54,3±1,8	73,3+3,5-2,5	6870
	алюминий					4976
	медь	350/120	21,9±0,3	55,9±1,8	75,1+3,5-2,5	7437
	алюминий					5228
	медь	400/120	23,5±0,3	55,5±1,8	74,7+3,5-2,5	7794
	алюминий					5269
	медь	500/120	26,3±0,3	58,3±1,8	77,9+3,5-2,5	8949
	алюминий					5793
	медь	630/150	29,6±0,3	61,6±1,8	81,8+3,5-2,5	10346
	алюминий					6638
медь	800/185	33,4±0,3	65,4±1,8	85,6+3,5-2,5	12797	
алюминий					7747	
медь	1000/185	39,0±0,4	71,0±1,8	91,3+3,5-2,5	14962	
алюминий					8644	
медь	1200/185	43,0±0,4	75,0±1,8	94,8+3,5-2,5	17086	
алюминий					9514	

ГЛАВА 1. КАБЕЛИ СПЭ 110-220 кВ «СЕВКАБЕЛЬ»

Массогабаритные параметры кабелей на напряжение 220кВ приведены в таблице 1.6

Таблица 1.6

Марка кабеля	Номинальное сечение жилы (сечение экрана) кабеля, мм ²	Наружный диаметр кабеля, мм	Масса 1 км кабеля, кг	
			Алюминиевая жила	Медная жила
1	2	3	4	5
ПвП2г, АПвП2г	400(225)	92,95	8798,41	11290,41
	500(225)	95,70	9341,19	12461,47
	630(225)	98,89	10013,97	13945,53
	800(225)	102,97	10878,74	15877,55
ПвПу2г, АПвПу2г	400(225)	96,95	9396,01	11888,01
	500(225)	99,70	9956,10	13076,39
	630(225)	102,89	10648,96	14580,52
	800(225)	106,97	11539,41	16538,22
ПвВ, АПвВ	400(225)	90,03	9099,29	11591,28
	500(225)	92,78	9652,72	12773,00
	630(225)	95,97	10337,85	14269,41
	800(225)	100,05	11218,43	16217,24
ПвВу, АПвВу	400(225)	94,03	9814,16	12306,16
	500(225)	96,78	10384,48	13504,76
	630(225)	99,97	11088,85	15020,41
	800(225)	104,05	11993,49	16992,30

В таблицах указано минимальное сечение экрана. Кабель может изготавливаться с увеличенным сечением экрана в соответствии с требованиями заказчика.

Вес кабелей приведен в качестве справочного материала и является приблизительным.

Выбор кабеля 110–220 кВ

Выбор сечения жилы и экрана кабеля, а так же способа заземления экрана кабеля, должен быть согласован с заводом-изготовителем.

2.1 Выбор номинального сечения токоведущей жилы

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена могут прокладываться в воздухе по конструкциям, в земле, в железобетонных лотках, в трубах, в кабельных помещениях (туннели, галереи, эстакады). Условия прокладки кабелей выбирается на стадии проектирования кабельной линии. В зависимости от условий прокладки выбирают марку кабеля.

Выбор номинального сечения жил и экранов производится с помощью таблиц длительно допустимых токов. При выборе учитываются условия прокладки (в земле или в воздухе), располо-

жение кабелей (в плоскости или треугольником). При больших длинах трасс кабельных линий, превышающих 1 км, чтобы избежать больших потерь в экранах кабелей, может потребоваться один или несколько циклов транспозиции экранов. Соединительные кабельные муфты с выводом экрана для транспозиции устанавливаются в двух местах кабельной линии таким образом, чтобы поделить ее на три примерно равных по длине участка.

2.1.1 Таблицы длительно допустимых токов

Длительно допустимый ток (англ. *Permissible sustained current*) – ток, который может длительно протекать по проводнику, причем установившаяся температура проводника не должна превышать заданное значение при определенных условиях.

Таблица 2.1 – Длительно допустимые токи кабелей при прокладке в земле, кабели расположены треугольником, экраны соединены и заземлены с двух сторон.

Номинальное сечение жилы, мм ²	Материал жилы	Одна цепь (110/220 кВ)		Две цепи(110/220 кВ)	
		Кн=0,8	Кн=1,0	Кн=0,8	Кн=1,0
185	Медь	502	429	452	382
	Алюминий	396	340	358	303
240	Медь	572	489	515	434
	Алюминий	455	389	409	345
300	Медь	632	538	567	476
	Алюминий	507	432	455	383
350	Медь	678	577	608	508
	Алюминий	545	462	490	408
400	Медь	723/695	612/592	645/618	539/518
	Алюминий	587/568	497/485	524/506	439/426
500	Медь	798/777	673/659	709/608	590/574
	Алюминий	654/640	553/545	583/599	486/476
630	Медь	859/845	721/713	760/744	630/619
	Алюминий	719/780	605/600	637/650	530/523
800	Медь	932/925	779/776	820/809	677/671
	Алюминий	787/779	659/657	694/684	575/570
1000	Медь	1009	840	884	729
	Алюминий	864	722	759	628
1200	Медь	1081	895	944	775
	Алюминий	938	779	820	675

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Таблица 2.2 – Длительно допустимые токи кабелей при прокладке в земле, кабели расположены треугольником, экраны соединены по системе правильной транспозиции

Номинальное сечение жилы, мм ²	Материал жилы	Одна цепь		Две цепи	
		Кн=0,8	Кн=1,0	Кн=0,8	Кн=1,0
185	Медь	518	445	469	397
	Алюминий	404	347	366	310
240	Медь	597	512	539	455
	Алюминий	467	400	421	356
300	Медь	674	576	607	512
	Алюминий	528	452	475	401
350	Медь	736	625	656	551
	Алюминий	560	485	515	435
400	Медь	787/774	670/667	706/694	593/589
	Алюминий	619/609	527/524	555/545	467/463
500	Медь	884/869	751/747	790/776	663/657
	Алюминий	699/687	594/590	625/613	524/519
630	Медь	993/975	841/835	884/867	740/732
	Алюминий	792/778	671/665	705/791	591/584
800	Медь	1146/1125	968/960	1017/997	849/839
	Алюминий	904/888	764/758	803/787	670/662
1000	Медь	1285	1083	1137	947
	Алюминий	1020	860	902	752
1200	Медь	1410	1183	1242	1031
	Алюминий	1127	946	994	825

Таблица 2.3 – Длительно допустимые токи кабелей при прокладке в земле, кабели расположены в горизонтальной плоскости, экраны соединены и заземлены с двух сторон.

Номинальное сечение жилы, мм ²	Материал жилы	Одна цепь		Две цепи	
		Кн=0,8	Кн=1,0	Кн=0,8	Кн=1,0
185	Медь	480	407	427	357
	Алюминий	391	333	348	293
240	Медь	537	453	475	396
	Алюминий	442	375	392	328
300	Медь	581	488	511	425
	Алюминий	486	410	429	358
350	Медь	615	515	540	448
	Алюминий	520	438	457	372
400	Медь	644/650	538/548	564/567	466/472
	Алюминий	549/549	460/466	482/481	400/402

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Номинальное сечение жилы, мм ²	Материал жилы	Одна цепь		Две цепи	
		Кн=0,8	Кн=1,0	Кн=0,8	Кн=1,0
500	Медь	693/703	576/589	604/610	497/504
	Алюминий	599/602	501/509	524/527	433/437
630	Медь	737/752	610/626	639/648	524/531
	Алюминий	649/658	540/551	564/569	465/471
800	Медь	785/805	648/669	677/690	554/567
	Алюминий	703/714	583/597	608/615	500/508
1000	Медь	841	691	721	588
	Алюминий	758	626	652	534
1200	Медь	879	720	751	611
	Алюминий	802	659	687	561

Таблица 2.4 – Длительно допустимые токи кабелей при прокладке в земле, кабели расположены в горизонтальной плоскости, экраны соединены по системе правильной транспозиции.

Номинальное сечение жилы, мм ²	Материал жилы	Одна цепь		Две цепи	
		Кн=0,8	Кн=1,0	Кн=0,8	Кн=1,0
185	Медь	539	463	483	409
	Алюминий	421	361	377	319
240	Медь	622	533	556	470
	Алюминий	486	417	435	367
300	Медь	704	602	627	529
	Алюминий	551	470	491	414
350	Медь	767	653	682	573
	Алюминий	602	513	535	451
400	Медь	824/805	701/695	731/715	614/607
	Алюминий	647/633	551/546	574/562	482/477
500	Медь	927/906	787/781	821/803	687/679
	Алюминий	732/716	621/616	647/633	542/536
630	Медь	1045/1022	885/879	922/902	770/761
	Алюминий	830/812	703/697	732/717	612/605
800	Медь	1176/1152	993/986	1033/1011	861/852
	Алюминий	943/923	797/790	828/811	691/683
1000	Медь	1368	1153	1197	996
	Алюминий	1078	908	943	785
1200	Медь	1510	1267	1315	1091
	Алюминий	1195	1003	1041	864

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

При прокладке в земле длительно допустимые токи представлены для расположения кабелей треугольником и в горизонтальной плоскости для расстояния между кабелями 1D, глубины прокладки 1,5 м, расстояние между цепями 0,8 м, удельного термического сопротивления грунта 1,2 К·м/Вт, коэффициента нагрузки $K_n=0,8$ и 1,0. При других условиях прокладки применяются поправочные коэффициенты глубины прокладки (табл. 2.7), термического сопротивления грунта (табл. 2.8), количества цепей (табл. 2.9), температуры грунта (табл. 2.10), прокладки в трубах (табл. 2.11).

$$I_{дд} = I_{Таб} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n,$$

где:

$I_{дд}$ – длительно допустимый ток,

$I_{Таб}$ – ток в таблице,

$k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n$ – поправочные коэффициенты.

Допустимые токи кабеля в режиме перегрузки при прокладке в земле рассчитываются путем умножения значения длительно допустимого тока на коэффициент 1,17.

$$I_{дп} = I_{дд} \cdot 1,17,$$

где

$I_{дп}$ – допустимый ток в режиме перегрузки,

$I_{дд}$ – длительно допустимый ток.

Таблица 2.5 – Длительно допустимые токи кабелей при прокладке на воздухе, кабели расположены треугольником.

Номинальное сечение жилы, мм ²	Материал жилы	Экраны кабелей соединены и заземлены с двух сторон, А (110/220кВ)		Экраны кабелей соединены по схеме правильной транспозиции, А (110/220кВ)	
185	Медь	610		667	
	Алюминий		491		520
240	Медь	698		780	
	Алюминий		568		609
300	Медь	773		895	
	Алюминий		637		700
350	Медь	830		983	
	Алюминий		689		771
400	Медь	883/887		1068/1018	
	Алюминий		739/730		839/799
500	Медь	974/994		1219/1159	
	Алюминий		827/825		961/906
630	Медь	1066/1096		1399/1329	
	Алюминий		919/924		1110/1055
800	Медь	1185/1227		1651/1570	
	Алюминий		1029/1042		1293/1233
1000	Медь	1288		1895	
	Алюминий		1135		1486
1200	Медь	1378		2123	
	Алюминий		1230		1676

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Таблица 2.6 – Длительно допустимые токи кабелей при прокладке на воздухе, кабели расположены в горизонтальной плоскости.

Номинальное сечение жилы, мм ²	Материал жилы	Экраны кабелей соединены и заземлены с двух сторон, А (110/220кВ)		Экраны кабелей соединены по схеме правильной транспозиции, А (110/220кВ)	
185	Медь	597		667	
	Алюминий		482		520
240	Медь	680		780	
	Алюминий		555		609
300	Медь	747		895	
	Алюминий		618		700
350	Медь	802		983	
	Алюминий		668		771
400	Медь	846/841		1068/1020	
	Алюминий		713/701		839/801
500	Медь	926/916		1219/1150	
	Алюминий		792/782		961/921
630	Медь	997/982		1399/1339	
	Алюминий		870/860		1110/1060
800	Медь	1074/1098		1651/1517	
	Алюминий		954/961		1293/1216
1000	Медь	1143		1895	
	Алюминий		1035		1486
1200	Медь	1200		2123	
	Алюминий		1102		1676

При прокладке на воздухе длительно допустимые токи представлены для расположения кабелей треугольником при расстоянии между цепями 250мм и в горизонтальной плоскости при расстоянии между осями соседних кабелей 2D. Допустимые токи приведены для температуры окружающей среды 25°С. При других условиях прокладки для расчета длительно допустимого тока приме-

няются поправочные коэффициенты, указанные в табл.2.12, 2.13.

$$I_{ДД} = I_{Таб} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n,$$

где:

$I_{ДД}$ – длительно допустимый ток,

$I_{Таб}$ – ток в таблице,

$k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n$ – поправочные коэффициенты.

2.1.2. Таблицы поправочных коэффициентов

Таблица 2.7 – Поправочные коэффициенты на глубину прокладки

Глубина прокладки	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	10,0
Поправочный коэффициент	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,95	0,91	0,86	0,84	0,83	0,82	0,81	0,79

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Таблица 2.8 – Поправочные коэффициенты на термическое сопротивление грунта

Состав грунта для примера	Удельное термическое сопротивление грунта К·м/Вт	Поправочный коэффициент
Дно водоема	0,4	1,33
песок влажностью более 9 %	0,7	1,14
песчано-глинистая почва влажностью более 14 %	0,8	1,09
песок влажностью 7-9 %	1,0	1,00
песчано-глинистая почва влажностью 12-14%	1,2	0,93
песок влажностью более 4 – 7%	1,5	0,84
песчано-глинистая почва влажностью 8-12%	2,0	0,74
песок влажностью до 4%	2,5	0,67
каменистая почва	3,0	0,61

Таблица 2.9 – Поправочные коэффициенты для проложенных в грунте кабельных цепей (групп)

Расстояние между группами кабелей, мм	Число групп кабелей				
	2	3	4	5	6
0 (касающиеся)	0,85	0,76	0,70	0,66	0,62
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

Таблица 2.10 – Поправочные коэффициенты на температуру грунта

Расчетная температура грунта, °С	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Поправочный коэффициент	1,06	1,03	1,0	0,96	0,92	0,89	0,85	0,81	0,77	0,73

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Таблица 2.11 – Поправочные коэффициенты при прокладке кабеля в трубах в земле

Условия прокладки	Кабели частично проложены в трубах	Кабели в отдельных трубах	Кабели в общей трубе
Поправочный коэффициент	0,94	0,9	0,9

Коэффициент необходимо учитывать, когда длина участка кабеля в трубах более 10 м.

Таблица 2.12 – Поправочные коэффициенты на температуру окружающего воздуха

Расчетная температура окружающей среды, °С	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Поправочный коэффициент	1,14	1,13	1,08	1,05	1,0	0,96	0,91	0,86	0,81	0,76

Допустимые токи кабеля в режиме перегрузки при прокладке на воздухе рассчитываются путем умножения значения длительно допустимого тока на коэффициент 1,20.

$$I_{ДП} = I_{ДД} \cdot 1,20,$$

где:

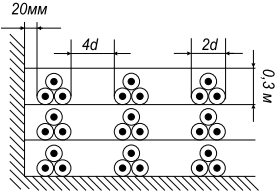
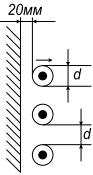
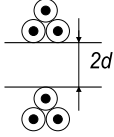
$I_{ДП}$ – допустимый ток в режиме перегрузки

$I_{ДД}$ – длительно допустимый ток

Таблица 2.13 – Поправочные коэффициенты на количество групп из трех одножильных кабелей, проложенных в воздухе k_{B2}

Способ размещения		Кабели располагаются в одной плоскости. Расстояние = Один диаметр кабеля (d). Расстояние до стены не менее 20 мм			Кабели располагаются в треугольнике. Расстояние = Два диаметра кабеля (2d). Расстояние до стены не менее 20 мм		
Количество групп		1	2	3	1	2	3
На поверхности пола		Поправочный коэффициент			Поправочный коэффициент		
		0,92	0,89	0,88	0,95	0,9	0,88
На металлических лотках (ограниченная циркуляция воздуха)	Количество лотков						
	1	0,92	0,89	0,88	0,95	0,90	0,88
	2	0,87	0,84	0,83	0,90	0,85	0,83
	3	0,84	0,82	0,81	0,88	0,83	0,81
На металлических лестницах	Количество лестниц						
	1	1,00	0,97	0,96	1,00	0,98	0,96
	2	0,97	0,94	0,93	1,00	0,95	0,93
	3	0,96	0,93	0,92	1,00	0,94	0,92
	4	0,94	0,91	0,90	1,00	0,93	0,90

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Расположение, при котором нет необходимости в снижении токовой нагрузки	Охлаждение кабелей в одной плоскости при увеличении интервала улучшается, в то время как потери в металлических экранах и оболочках возрастают, снижая тем самым допустимую токовую нагрузку. Для каждого отдельного случая требуется индивидуальный расчет					
Системы, расположенные друг над другом	Поправочный коэффициент				Поправочный коэффициент	
На конструкциях или на стене	0,94	0,91	0,89	0,89	0,86	0,84

Коэффициент нагрузки

Потребление электроэнергии, а значит, и нагрузка кабеля, колеблется в течение суток и в течение года в целом. На рисунке 2.1 приведен пример суточной кривой потребления электроэнергии (в процентах от максимального значения).

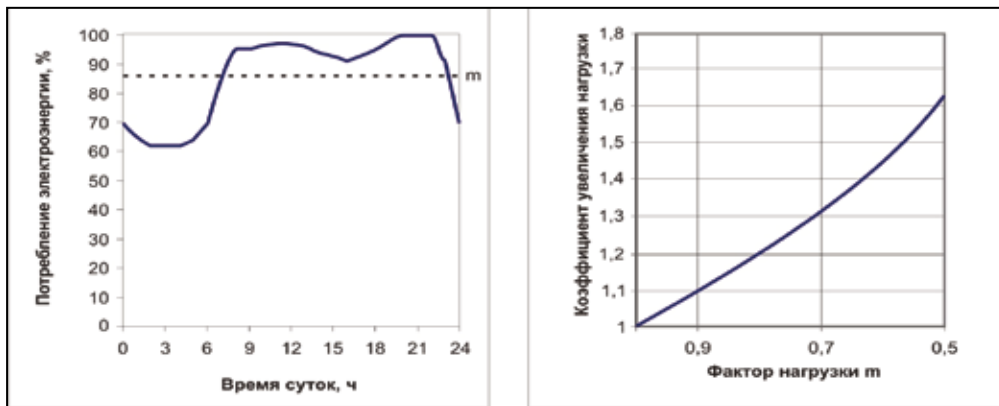


Рис. 2.1 – Коэффициент нагрузки

В зависимости от суточной кривой потребления для кабеля, проложенного в земле, допустимы более высокие нагрузки, чем в случае непрерывной работы при 100%-ной нагрузке. Фактор нагрузки m рассчитывается как отношение площади под кривой потребления электроэнергии, к площади прямоугольника $100\% \cdot 24$ ч (для примера, приведенного на рис. 2.2, $m = 0,87$).

В таблицах токовых нагрузок (табл. 2.1–2.4) приведены значения тока для $K_n = 0,8$ и $K_n = 1$, если K_n другой, то $I_{доп}$ рассчитывается следующим образом:

По графику, в зависимости от фактора нагрузки, выбираем коэффициент увеличения нагрузки и умножаем табличный допустимый ток на этот коэффициент. В этом случае:

$$I_{доп} = I_{доп.таб} \cdot 1,12$$

где:

$I_{доп}$ – допустимый ток

$I_{доп.таб}$ – допустимый ток из таблиц 2.1-2.4

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Таблица 2.14 – Допустимые токи односекундного короткого замыкания в жиле кабеля.

Номинальное сечение жилы, мм ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	
Допустимый ток односекундного короткого замыкания*, кА	медь	26,5	34,3	42,9	50,1	57,2	71,5	90,1	114,5	143,1	171,7
	алюминий	17,5	22,7	28,4	33,1	37,8	47,2	59,5	75,6	95,5	113,4

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

Таблица 2.15 – Допустимые токи односекундного короткого замыкания в экране кабеля

Номинальное сечение медного экрана, мм ²	70	95	120	150	185	210	240	265	300
Допустимый ток односекундного короткого замыкания*, кА	12,5	16,9	21,4	26,7	32,9	37,4	42,7	47,2	53,4

*Токи короткого замыкания рассчитаны при температуре медного экрана до начала КЗ 80 °С и предельной температуре медного экрана при коротком замыкании 350 °С.

Для других значений сечения медного экрана допустимый ток односекундного короткого замыкания рассчитывается по формуле

$$I_{КЗ} = K \cdot S_{\mathcal{E}}$$

где:

$S_{\mathcal{E}}$ – площадь сечения экрана,
коэффициент $K=0,178$ кА/мм².

Для продолжительности короткого замыкания, отличающийся от односекундного, значение допустимого тока односекундного КЗ из таблиц 2.14, 2.15 необходимо умножить на поправочный коэффициент K , рассчитанный по формуле:

$$K = 1/\sqrt{t}, \text{ где:}$$

t – продолжительность короткого замыкания, с.

Таблица 2.16 – Токи электродинамической стойкости

Номинальное сечение жилы, мм ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	
Ток электродинамической стойкости, кА	медь	66,2	85,7	107,2	125,2	143	178,7	225,2	286,2	357,7	429,2
	алюминий	43,7	56,7	71	82,7	94,5	118	148,7	189	238,7	283,5

Таблица 2.17 – Токи термической стойкости при протекании в течение 0,5 с, кА

Номинальное сечение жилы мм ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	
Допустимый ток термической стойкости при протекании в течение 0,5 с, кА	медь	37,5	48,5	60,7	70,8	80,9	101,1	127,4	161,9	202,4	242,8
	алюминий	24,7	32,1	40,1	46,8	53,4	66,7	84,1	106,9	135	160,3

Динамические нагрузки при коротком замыкании

В случае короткого замыкания помимо термического фактора следует учитывать также динамические силы в кабеле. Динамические нагрузки на кабель возникают вследствие взаимного отталкивания параллельно проложенных кабелей, при протекании в них тока. Это вызвано воздействием электромагнитных полей.

Динамические нагрузки между проводниками в режиме короткого замыкания можно рассчитать по формуле:

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

$$F = \frac{0,2}{s} \cdot I_{уд}^2$$

где:

F – наибольшая сила, действующая на кабель при коротком замыкании, (кН/м)

$$I_{уд} = 2,5 \cdot I_{кз}, \text{ кА}$$

$I_{кз}$ – ток короткого замыкания, (кА)

s – расстояние между осями кабелей, (мм).

2.1.3. Электрические параметры кабелей

Таблица 2.18 – Электрические параметры кабеля

Номинальное сечение жилы, мм ²			185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200
Площадь поперечного сечения металлического экрана, мм ²			95	95	120	120	120/225	120/225	150/225	185/225	185	185
Максимальное электрическое сопротивление постоянному току жилы кабеля при температуре +20 °С (медная)	Ом/км		0,0991	0,0754	0,0601	0,0543	0,0470	0,0366	0,0283	0,0221	0,0176	0,0151
	Ом/км		0,164	0,125	0,100	0,0890	0,0778	0,0605	0,0469	0,0367	0,0291	0,0247
Максимальное электрическое сопротивление постоянному току металлического экрана при температуре +20 °С		Ом/км	0,193	0,193	0,153	0,153	0,153	0,153	0,124	0,0991	0,0991	0,0991
Расчетные значения индуктивности кабеля	кабели треугольником вплотную мГн/км		0,45	0,44	0,41	0,40	0,39/ 0,45	0,37/ 0,44	0,35/ 0,42	0,35/ 0,40	0,34	0,32
	кабели в одной плоскости с расстоянием 1D в свету мГн/км		0,66	0,63	0,61	0,59	0,58/ 0,64	0,56/ 0,62	0,54/ 0,60	0,53/ 0,58	0,51	0,49
Расчетные значения емкости кабеля		мкФ/км	0,137	0,147	0,158	0,165	0,180/ 0,134	0,194/ 0,142	0,210/ 0,152	0,226/ 0,165	0,245	0,264
Зарядный ток		А/км	2,75	3,04	3,24	3,38	3,52	3,82	4,30	4,68	5,1	5,6

Индуктивность кабеля при других условиях прокладки рассчитывается по формуле:

$$L = 0,1 + 0,2 \ln \frac{h-r}{r},$$

где:

L – индуктивность кабеля, (мГн/км);

h – расстояние между центрами жил кабеля, мм;

r – радиус жилы кабеля, мм.

Индуктивное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$X_L = 2\pi f \cdot \frac{L}{1000}, \text{ Ом/км}$$

где:

X_L – индуктивное сопротивление, Ом/км

f – частота (Гц),

L – индуктивность (мГн/км).

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Таблица 2.19. Сопротивление жил и экранов кабелей постоянному току при 20 °С

Номинальное сечение жилы (экрана), мм ²	Сопротивление, Ом/км, не более, для жилы (экрана)	
	Из алюминия	Из меди
35	–	0,524
50	–	0,387
70	–	0,268
95	–	0,193
120	–	0,153
150	–	0,124
185	0,164	0,0991
240	0,125	0,0754
300	0,100	0,0601
350	0,089	0,0543
400	0,0778	0,047
500	0,0605	0,0366
630	0,0469	0,0283
800	0,0367	0,0221
1000	0,0291	0,0176
1200	0,0247	0,0151

Таблица 2.20. Сопротивление жил и экранов кабелей переменному току при 20 °С

Номинальное сечение жилы (экрана), мм ²	Сопротивление, Ом/км, не более, для жилы (экрана)	
	Из алюминия	Из меди
35	–	0,668
50	–	0,494
70	–	0,342
95	–	0,246
120	–	0,196
150	–	0,159
185	–	0,127
240	0,161	0,097
300	0,129	0,078
350	0,115	0,071
400	0,101	0,061
500	0,079	0,048
630	0,062	0,038
800	0,049	0,031
1000	0,039	0,024
1200	0,032	0,019

Сопротивление жил и экранов постоянному току при температуре отличной от 20 °С, рассчитывается по формуле:

для медной жилы или экрана:

$$R_t = R_{20} \frac{242,5 + t}{262,5} \text{ Ом/км};$$

для алюминиевой жилы:

$$R_t = R_{20} \frac{228 + t}{248} \text{ Ом/км},$$

где:

t – температура, отличная от 20 °С,

R_t – сопротивление жил и экранов постоянному току при температуре отличной от 20 °С.

R_{20} – сопротивление жил и экранов постоянному току при температуре 20 °С.

2.2 Пример выбора сечения токопроводящей жилы кабеля

Исходные данные:

Условия прокладки:

- длина трассы – 6,653 км,
- одноцепная линия,
- номинальное напряжение – 110 кВ,
- Ток трехфазного короткого замыкания $I^{(III)}$ к.з. = 58,3 кА,
- Ток однофазного короткого замыкания $I^{(I)}$ к.з. = 42,3 кА,
- прокладка в земле, в лотках, «треугольником»,
- глубина прокладки – 1,5 м,
- максимальная длина прокладки в трубах (длина подводного перехода через реку методом ГНБ) – 635 м,
- глубина прокладки кабеля в реке не менее 2 м от отметки проектного дна,
- строительная длина ~ 540 м.
- материал жилы – медь,
- материал экрана – медь,
- коэффициент загрузки – 100%,
- тепловое сопротивление грунта – 1,2,
- температура грунта +15 °С,
- пропускная способность кабельной линии □ 199,2 МВА.

1. Расчетный ток одной цепи линии составит:

$$I_{p.l} = \frac{S_{p.l}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot N}, \text{ где:}$$

$S_{p.l}$ – расчетная передаваемая мощность кабельной линии,

U_H – номинальное среднее напряжение,

N – количество цепей.

$$I_{p.l} = \frac{199200000}{\sqrt{3} \cdot 115000} = 1000 \text{ А}$$

Длительно допустимый ток для заданных условий прокладки кабеля в траншее рассчитывается при помощи поправочных коэффициентов:

Поправочный коэффициент на глубину прокладки 1,5 м:

$$k_1 = 1,0 \text{ (табл.2.7),}$$

Поправочные коэффициенты на термическое сопротивление грунта 1,2 К•м/Вт:

$$k_2 = 0,93 \text{ (табл.2.8),}$$

Поправочные коэффициенты на температуру грунта +15 °С:

$$k_4 = 1,0 \text{ (табл.2.10),}$$

Поправочные коэффициенты при прокладке кабеля в трубах в земле учитывается, при длине трубы более 10 м.

$$k_5 = 0,94 \text{ (табл.2.11)}$$

$$I_{p.l} = 1000 \times 1,0 \times 0,93 \times 1,0 \times 0,94 = 874,2 \text{ А}$$

2. Согласно расчету длительно допустимый ток пропускаемый кабелем в заданных условиях будет меньше расчетного из-за негативного влияния на цепь. Необходимо выбрать номинальное сечение жилы, допустимый ток для которого равен или превышает 1000 А.

Для способа прокладки треугольником, при заземлении экранов по системе правильной транспозиции:

В таблице 2.2 указан подходящий кабель с медной жилой сечением 1000 мм², допустимый ток 1083 А.

Кабель с сечением жилы 1000 мм² обеспечивает требуемую токовую нагрузку.

По таблице 2.15 – допустимый ток односекундного короткого замыкания в медной жиле кабеля, сечением 1000 мм² составляет 143,1 кА, что удовлетворяет условиям стойкости к току КЗ.

По таблице 2.14 – допустимый ток односекундного короткого замыкания в медном экране кабеля, сечением 240 мм² составляет 42,7 кА, что удовлетворяет условиям стойкости к току КЗ.

Для прокладки в земле выбираем кабель с двойной герметизацией марки ПвП2г сечение жилы 1х1000/240–64/110 кВ.

2.2.1 Методика теплового расчета

Кабели служат для передачи тока при приложенном напряжении. Ток и напряжение порождают потери и нагревание кабеля. Тепло выделяется в окружающую среду и передается путем:

- Проводимости
- Излучения
- Конвекции

Излучение и конвекция существенны для воздушных кабельных линий, теплопроводность актуальна только для кабелей, проложенных в земле. Тогда как физико-математические критерии воздушных кабелей легко исследовать, расчет допустимой токовой нагрузки кабеля, проложенного в земле, требует использования упрощающих моделей (IEC 60287):

Общее тепло, производимое в кабеле, направляется через грунт к поверхности

Поверхность грунта имеет бесконечную абсорбционную способность

Независимо от времени дня температура поверхности земли приравнивается к температуре окружающей среды незагруженного кабеля.

Модель

Тепловое сопротивление между проводником и внешней средой одинаково в любой точке по всей длине кабеля. При этом существует только радиальное излучение тепла.

T_{4w} = тепловое сопротивление влажной зоны

T_{4d} = тепловое сопротивление сухой зоны

T_3 = тепловое сопротивление антикоррозионного защитного покрова

λ_2 = отношение потерь в броне к потерям в проводнике

T_2 = тепловое сопротивление подушки

λ_1 = отношение потерь в металлической оболочке к потерям в проводнике

W_d = потери в диэлектрике на единицу длины

T_1 = тепловое сопротивление изоляции

W_c = потери в проводнике на единицу длины

$\Delta\theta$ = превышение температуры проводника над температурой окружающей среды

Формула

Из тепловой диаграммы можно получить следующую зависимость для увеличения температуры:

$$\Delta\theta = W_c \cdot T_1 + 0.5 \cdot W_d \cdot T_1 + [W_c \cdot (1 + \lambda_1) + W_d] \cdot T_2 + [W_c \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2) + W_d] \cdot (T_3 + T_{4d} + T_{4w})$$

Потери проводника: $W_c = I^2 \cdot R$

Следующее значение действительно для тока проводника I:

$$I = \sqrt{\frac{\nabla\theta - W_d \cdot (0.5 \cdot T_1 + T_2 + T_3 + T_{4d} + T_{4w})}{R \cdot T_1 + R \cdot (1 + \lambda_1) \cdot T_2 + R \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \cdot (T_3 + T_{4d} + T_{4w})}}$$

Здесь содержатся все компоненты, участвующие в генерировании тепла.

Далее показывается, как соответствующие меры могут повлиять на каждый компонент и пропускную способность по току.

Проводник

Вообще понятно, что, чем больше поперечное сечение проводника, т.е. ниже электрическое сопротивление кабеля, тем больше пропускная способность. Сопротивление проводника возрастает с увеличением температуры проводника. В случае переменного тока необходимо рассмотреть дополнительные явления.

Магнитное поле вокруг нагруженного проводника вызывает индукцию во всех проводниках, размещенных в этом поле, в самом проводнике это приводит к скин-эффекту.

Различают скин-эффект, который вызывается собственным магнитным полем, и эффект близости, вызываемый током соседних проводников.

Чем больше диаметр проводника, тем больше его сопротивление переменному току. С экономической точки зрения это допустимо для поперечного сечения проводника примерно до 1000 мм².

Проводники с поперечным сечением 1000 мм² и больше производятся из пяти сегментов, которые изолируются один от другого. Внутри этого так называемого Милликен (Milliken) проводника отдельные проволоки во внешних слоях сегмента имеют разное расстояние до центра проводника в продольном направлении. Сопротивление отдельных проволок переменному току уменьшается, что приводит к значительному уменьшению дополнительных потерь.

Изоляция

Материал и размер изоляции выбираются в зависимости от ожидаемой нагрузки по напряжению в период эксплуатации. Изоляция имеет большое значение для нагрузочной способности, поскольку диэлектрические потери W_d образуются в изоляции и рассеиваются вместе с потерями в проводнике в виде теплового сопротивления T_1 .

Поскольку тепловое сопротивление стандартных изолирующих материалов известно и толщина стенки установлена по другим критериям, нагрузочная способность не может зависеть от T_1 .

Диэлектрические потери Wd возрастают в функции квадрата напряжения:

$$Wd = U^2 \cdot w \cdot c \cdot tg \delta$$

Металлический экран

Экран из медных проволок в высоковольтных кабелях выполняет защитную функцию, он всегда должен быть заземлен. Медный экран обеспечивает защиту от удара током, отводит зарядный ток и ток замыкания на землю.

Токи в проводниках при 3-фазной системе индуцируют напряжения в этих металлических слоях.

Если медные экраны трех фаз соединены на концах, протекает уравнивающий ток. Кроме того, могут быть вихревые токи, которые, однако, так малы, что они должны учитываться только в случае Милликен-проводников.

Поскольку оба типа токов пропорциональны току проводника, производимые ими потери показываются как фактор потерь проводника:

λ_1 для экрана

λ_2 для брони

Эти дополнительные потери нежелательны, поскольку они могут значительно уменьшить нагрузочную способность кабеля. Соответствующими мерами, однако, можно повлиять на величину этих потерь.

Расположение при прокладке

Нужно сказать: чем меньше промежутки между центрами проводников, тем меньше реактивное сопротивление и меньше дополнительные потери.

В случае треугольной укладки получают наименьшие промежутки между центрами проводников и симметричное распределение токов. Однако, только 2/3 кабельной поверхности участвует в рассеянии тепла, поэтому в зоне касания кабелей никакое рассеяние тепла в атмосферу не происходит.

Окружающая среда для кабеля

Земля

Земля состоит из трех компонентов с очень разными значениями теплового сопротивления:

	тепловое удельное сопротивление
твердая часть	0.25 К · м/Вт
вода	1.7 К · м/Вт
воздух	40 К · м/Вт

Самое низкое, насколько возможно, значение T_{4w} влажной зоны достигается:

- благоприятным распределением частиц по размеру, т.е. маленькие и очень маленькие частицы создают тепловые мосты между большими частицами
- механическим уплотнением материала подушки и вынутого грунта
- высоким влагосодержанием и, следовательно, незначительными воздушными промежутками в порах

Высушивание почвы

Если кабель нагревается, повышенная температура поверхности кабеля приводит к увеличению давления водяного пара в окружающей почве. Этот водяной пар распространяется до более холодных зон с низким давлением пара, там конденсируется и в виде воды течет обратно, к кабелю, под воздействием капиллярных сил. До тех пор, пока не нарушена эта циркуляция, почва остается влажной и тепловое сопротивление почвы остается постоянным.

Если разность температур поверхности кабеля и окружающей среды превышает некоторое значение, грунт, окружающий кабель, начинает высушаться, пока разность температур между поверхностью сухой зоны и окружающей земли не упадет ниже этого предельного значения.

Тепловое удельное сопротивление почвы в сухой зоне обычно в среднем принимается 2.5 К · м/Вт.

Материал обратной засыпки

Обратная засыпка, кроме своей функции механической защиты, для кабельной системы с большой нагрузкой выполняет еще и термическую функцию.

Пока на влагосодержание можно повлиять только с помощью больших технических средств, например, проводя ирригацию, низкое тепловое сопротивление почвы можно достичь, гармонизируя распределение частиц по размерам, при этом – в совершенно сухом состоянии.

Специальный материал засыпки означает, что в высушенном состоянии значение 1.2 К · м/Вт не превышает

Прокладка в трубах

Если кабель проложен в трубе, воздух в трубе создает дополнительное тепловое сопротивление, помимо стенок трубы, что может уменьшить пропускную способность кабеля.

Излучение тепла в воздух производится путем радиации и конвекции, т.е. тепловое сопротивление – постоянно для труб разных диаметров.

а) Принудительное охлаждение

Излучение тепла, как описано выше, вызывает естественное охлаждение кабелей. Искусственный отбор тепла может значительно увеличить нагрузочную способность.

Вообще действительно следующее: чем ближе отбор тепла производится к источнику тепла, тем больше будет улучшение пропускной способности.

С другой стороны, должно быть ясно, что потери увеличиваются в функции квадрата тока проводника.

б) Непосредственное охлаждение

Кабели прокладываются в отдельных трубах, по которым пропускают охлаждающую среду (например, воду)

Рассеяние тепловых потерь происходит с тепловым сопротивлением кабеля.

ПРЕИМУЩЕСТВА:

Передаваемая мощность может быть увеличена в 2-3 раза

Низкие требования к качеству воды

НЕДОСТАТКИ:

Необходимо принимать специальные меры для охлаждения аксессуаров

Термомеханические движения кабеля в охлаждающей трубе

в) Косвенное охлаждение

Охлаждающие трубы укладываются параллельно с кабелями.

Часть тепловых потерь должна преодолеть тепловое сопротивление почвы.

ПРЕИМУЩЕСТВА:

Увеличение передаваемой мощности в 1,5 – 1,8 раза по сравнению с естественным охлаждением кабелей

Кабели и аксессуары те же, что у кабелей с естественным охлаждением

2.2.2. Способы заземления экранов кабелей

Самым универсальным, эффективным и безопасным способом радикального снижения паразитных потерь в однофазных кабелях является транспозиция экранов. Для реализации транспозиции экранов необходимо наличие специальных транспозиционных муфт, которые вспомогательными кабелями соединяются с коробкой транспозиции, внутри которой осуществляется их

перекрестное соединение. По трассе предусматриваются несколько транспозиционных коробок, на рис. 2.2 в качестве примера приведена одна из них.



Рис. 2.2 – Пример общего вида шкафа транспозиции экранов

Из соединительной муфты каждой фазы выводятся два вспомогательных одножильных кабеля, соответствующих «левому» и «правому» участкам экрана силового кабеля: в коробку транспозиции КТ, таким образом, необходимо завести шесть одножильных кабелей. Возможен вариант, когда из соединительной муфты каждой фазы выводится один вспомогательный коаксиальный кабель, жила и экран которого соответствуют «левому» и «правому» участкам экрана силового кабеля: в коробку транспозиции КТ, таким образом, необходимо завести три коаксиальных кабеля.

Тип коробки транспозиции (число входов и внутреннее обустройство) целиком определяется типом соединительных муфт. Некоторые производители транспозиционных муфт выводят «левую» и «правую» части экрана силового кабеля с помощью двух одножильных кабелей, а другие – одним коаксиальным кабелем с равными сечениями жилы и экрана. Это необходимо предусмотреть на стадии проектирования. Внутри коробки транспозиции есть шесть опорных изоляторов, незаземленные фланцы которых можно соединять металлическими перемычками. При работе кабеля должна обеспечиваться транспозиция экранов.

В процессе эксплуатации персонал должен иметь доступ к коробке транспозиции с целью осуществления переключений перемычек, что приводит к необходимости размещения КТ в доступном для персонала месте – в колодцах транспозиции, которые представляют собой железобетонные коробки, размещаемые под землей. В колодец тран-

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

спозиции можно попасть через люк, имеющийся в его крыше.

Высота короба составляет около 2 м, а размер пола примерно 2х2 м. в таком колодце, герметизированном для предотвращения попадания воды, одновременно могут работать несколько человек.

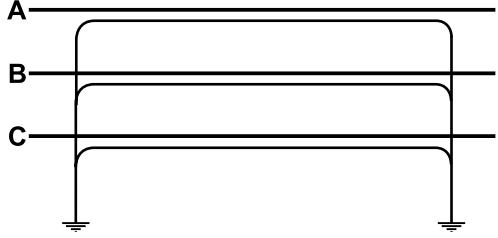
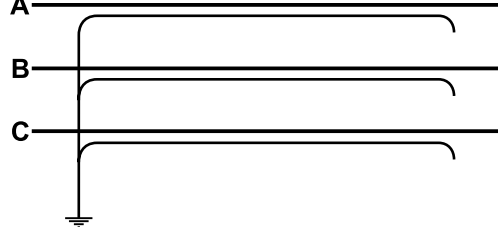
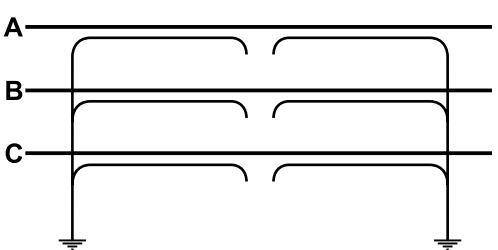
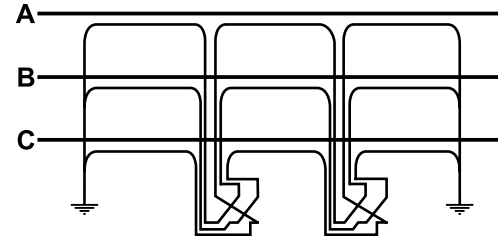
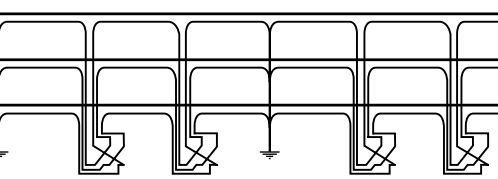
Значительные размеры колодца связаны еще и с тем, что в нем размещается не одна коробка транспозиции, а две, поскольку, как правило, кабельные линии состоят из двух цепей.

Проектировщикам следует быть осторожными, поскольку некоторые зарубежные коробки транспозиции достигают линейных размеров бо-

лее 0,6 метра и после строительства колодца транспозиции не могут быть в него помещены, так как не пройдут в горловину люка. Не имея точной информации о размере коробки транспозиции, крышку люка следует задавать максимально большой из того, что предлагает промышленность.

До недавнего времени широкому применению транспозиции в отечественных кабельных сетях мешала высокая стоимость и большие сроки поставок коробок, которые изготавливались только за границей. Однако в настоящее время уже появились отечественные запатентованные конструкции.

Рис 2.3 Схемы заземления экранов

Длина кабельной трассы, м	Способ обустройства экрана
0–500	
500 – 4000	
4000 – 6000	
6000 – 10000	
10000 – 15000	

Общие требования

Все части электрической системы, к которым не прикладывается напряжение, должны быть заземлены. Это означает, что все металлические слои в кабельной системе должны быть соединены с помощью муфт и заземлены в концевых заделках. В настоящее время применяется несколько способов заземления медных экранов. Экраны кабельной линии, выведенные из концевых муфт, могут заземляться с одной стороны кабельной линии или одновременно с двух сторон. При заземлении с двух сторон при необходимости к экранам кабеля может быть применена транспозиция, состоящая из одного (реже двух) полных циклов транспозиции.

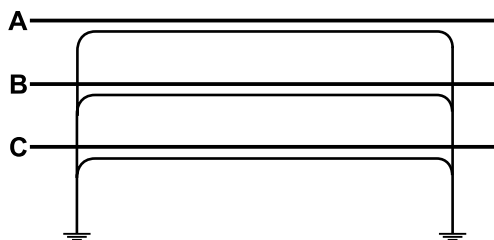


Рис. 2.4. Заземление медных экранов с двух концов

1. Заземление экрана на двух концах кабельной линии

Общепринятая схема заземления экранов применяется для коротких линий с незначительным наведенным напряжением на экране кабеля. Напряжение в точках присоединения к контуру заземления равно нулю, ток в экране значителен.

При этом медные экраны трех фаз соединяются и заземляются с двух сторон кабельной линии, при этом эффект дополнительных потерь медного экрана будет полным (рис. 2.4).

Потери энергии в экране при таком способе заземления обусловлены токами, циркулирующими по экрану. Эти потери меньше при прокладке кабелей треугольником, чем при прокладке в плоскости. При прокладке кабелей в плоскости потери в экране можно уменьшить путем регулярной транспозиции кабелей (рис. 2.7) не менее чем в двух местах по длине кабельной линии. В местах транспозиции кабелей рекомендуется выдерживать расстояние в свету между кабелями не менее диаметра кабеля.

2. Заземление экрана на одном конце кабельной линии

Экраны соединяются и непосредственно заземляются только на одном конце кабельной линии. На втором конце экраны соединяются с землей через ограничитель перенапряжения (ОПН) (рис. 2.5). При таком способе заземления на экранах появля-

ется наведенное напряжение E , прямо пропорциональное току, протекающему по кабелю, и длине кабельной линии L . При этом способе соединения экранов потери в экранах обусловлены вихревыми токами, и их величина меньше, чем при заземлении экрана по способу 1, что дает возможность повысить длительно допустимые токовые нагрузки кабелей. Если заземление выполняется только с одной стороны, отвод тока утечки гарантируется в любом случае. Наведенное напряжение возникает в медном экране пропорционально длине до незаземленного конца. Длина такой секции кабеля, поэтому, ограничивается примерно 1000 м по допустимому контактному напряжению – в зависимости от типа кабеля и условий его прокладки.

Кроме того, должны устанавливаться ограничители напряжения оболочки, чтобы избежать напряжения в несколько киловольт, которое может возникнуть при коротком замыкании.

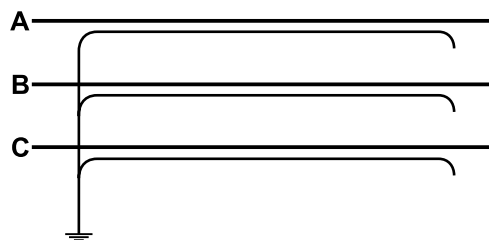


Рис. 2.5 – Заземление с одного конца

Схема позволяет избежать потерь в экране, но не снижает наведенного напряжения на экране.

Применяется при наведенном напряжении на экране менее допустимого для кабеля. Заземленный конец экрана должен быть защищен ограничителем перенапряжений в соответствии с уровнем наводимого напряжения. Не допускается прикосновение человека к разземленному концу экрана. Напряжение на конце экрана присоединенного к контуру заземления равно нулю, на противоположном имеет значение обусловленное наведенным напряжением. Ток в экране равен «0».

Допускаемая нагрузка кабеля может быть значительно выше по сравнению с системой, заземленной с обоих концов, поскольку никакие дополнительные потери не разогревают кабель, за исключением очень низких потерь на вихревые токи.

Схема позволяет снизить наведенное напряжение на экране и исключить потери в экране. Схема должна быть учтена при выборе релейной защиты. Напряжение на экране на концах линии не равно нулю и обусловлено наведенным напряжением. Ток в экране равен «0». Не допускается прикосновение человека к экрану по концам линии.

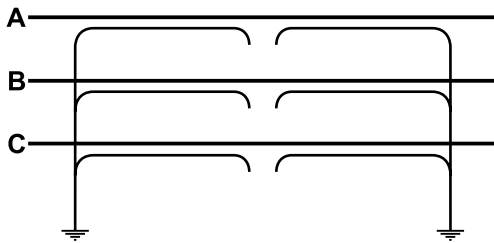


Рис. 2.6 – Заземление экрана в средней точке

2.4. Поперечное соединение экранов (cross-bonding)

При этом способе заземления экраны соседних кабелей соединяются между собой и заземляются через ОПН через равные промежутки по длине кабельной линии (рис. 2.7). в этом случае максимальное напряжение наводится у соединительных коробок, потери в экране обусловлены только вихревыми токами. Длительно допустимые токи можно повысить так же, как и при заземлении по способу 2 (рис. 2.8), но длина кабельной линии не ограничивается. При этом способе заземления необходима установка дополнительного оборудования (экраноразделительных муфт и соединительных коробок).

Схема снижает наведенное напряжение, сводит потери к техническому минимуму. Экран кабеля должен быть заземлен с обоих концов линии. Ко-

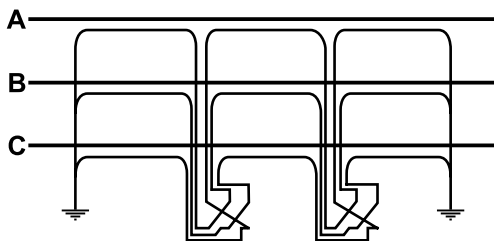


Рис. 2.7 – транспозиция экранов, один цикл

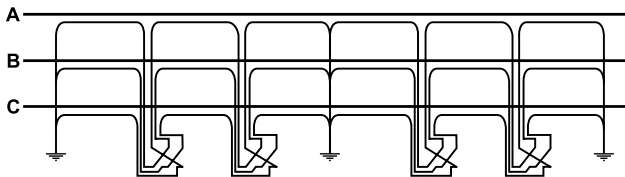


Рис. 2.8 – Транспозиция экранов, два цикла

личество циклов транспозиции определяется местными условиями. Количество транспозиционных участков на которые делится кабель должно быть кратно трем.

Дополнительных потерь из-за компенсирующего тока можно также избежать в кабельной системе любой длины выполняя транспозицию (crossbonding) кабельных оболочек.

Проводники соединяются муфтой, как обычно. Корпус муфты, однако, секционирован изолирующим кольцом, т.е. оболочки соединяемых кабелей электрически изолированы.

Две половины корпуса соединяются с концевыми заделками в соединительной коробке транспозиции специальными кабелями с низкой индуктивностью. Шесть концевых заделок соединяются в коробке таким образом, что оболочка одной фазы соединяется за стыком с оболочкой другой фазы.

Если это сделано циклически, напряжение индуцируется в оболочке, фаза которой смещена на 120° . в случае трех последовательных участков кабелей, равной длины, индуцированные напряжения стремятся к нулю.

Транспозиция медных экранов дает возможность отказаться от прокладки кабелей треугольником, в данном случае целесообразно расположить кабель в плоскости. При плоской укладке вся поверхность кабеля может участвовать в рассеянии тепла. Рассеяние тепла даст возможность увеличить пропускаемый ток.

Экраны заземляются через ограничители напряжения в промежуточных коробках транспозиции для того, чтобы большие скачки напряжения не вызвали пробой наружных оболочек кабеля.

Напряжение, наведенное в экране кабеля при заземлении экранов на одном конце кабельной линии или при поперечном соединении экранов, может быть рассчитано по формуле:

$$E = I \cdot X_L, \text{ где}$$

E – напряжение, наведенное в экране, В/км

I – ток, протекающий по жиле, А

X_L – индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км

$$X_L = \omega \cdot L, \text{ где}$$

ω – угловая частота, (1/с)

L – индуктивность кабеля, (Гн)

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \text{ где}$$

π – математическая постоянная, ($\pi = 3,14$)

f – частота, ($f = 50$ Гц)

Если прикосновение человека к экрану кабеля невозможно, то максимально допустимое напряжение на экранах кабеля относительно земли в нормальном режиме не нормируется, а при коротких замыканиях оно составляет 5 кВ (действующее значение напряжения промышленной частоты).

При выборе способа обустройства экранов следует обращать внимание на потери в экранах кабеля, длительно существующие в нормальном режиме работы, на напряжения в незаземленных концах экрана и в узлах транспозиции, существующие и в длительном нормальном режиме работы, и при кратковременном аварийном режиме короткого замыкания.

Выбор способа обустройства экранов зависит от сечения экрана, от соотношения сечений жилы и экрана и их удельных сопротивлений, от длины кабеля, от величин токов однофазного и трехфазного коротких замыканий в районе расположения кабеля, от способа прокладки кабеля.

Выбор способа обустройства экранов должен осуществляться с учетом требований обеспечения безопасности жизнедеятельности человека.

Если не приняты специальные меры и объективно существует возможность прикосновения человека к экрану кабеля, то при выбранном способе обустройства экранов напряжение на экране относительно земли, определенное в нормальном режиме и при коротких замыканиях, должно иметь безопасное значение.

Допустимые потери в экране

Целесообразно принять величину потерь в экране не более 20 % от потерь в проводнике.

$$\lambda_1 = \frac{Q_{\text{э}}}{Q_{\text{ж}}} \leq 20\%$$

Где

λ_1 – коэффициент, показывающий соотношение потерь в экране и жиле;

$Q_{\text{э}}$ – потери в медном экране;

$Q_{\text{ж}}$ – потери в жиле кабеля.

Потери рассчитываются по формуле:

$$Q = I^2 \cdot R,$$

Где:

Q – потери в рассматриваемом проводнике, Вт;

I – ток в рассматриваемом проводнике, А;

R – сопротивление проводника, Ом.

В каждом конкретном случае способ обустройства экранов определяется проектом, при выполнении которого удобно использовать программу «ЭКРАН» (свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2008615762 от 02.12.2008), разработанную ЗАО «Завод энергозащитных устройств».

При заземлении экранов только с одной стороны на разземленном конце недопустимо объединение экранов фаз кабеля: незаземленный конец экрана каждой фазы кабеля должен соединяться с землей через отдельный ОПН.

Вопросы применения ОПН для защиты изоляции кабеля от импульсных перенапряжений, а также вопросы транспозиции экранов рекомендуется согласовывать с ГК «Севкабель».

2.2.3. Пример расчета сечения медного экрана

Исходные данные:

Кабель ПвП2Г 1х1200–64/110 кВ.

Условия прокладки:

- длина трассы – 6,653 км,
- одноцепная линия,
- номинальное напряжение – 110 кВ,
- частота 50 Гц,
- ток в нормальном режиме $I_{\text{н}} = 1000$ А,
- ток трехфазного короткого замыкания $I_{\text{кз}}^{(3)} = 58,3$ кА,
- ток однофазного короткого замыкания $I_{\text{кз}}^{(1)} = 59,7$ кА,
- полное время отключения тока КЗ $t = 0,8$ с,
- прокладка в земле, в лотках, «треугольником»,
- материал жилы – медь,
- материал экрана – медь,
- удельное сопротивление грунта – 100 Ом*м,
- сечение жилы 1200 мм².

Выбираем сечение медного экрана по условию стойкости к токам короткого замыкания.

Для продолжительности короткого замыкания, отличающийся от односекундного, значение тока односекундного КЗ, указанное в таблице 2.14 необходимо умножить на поправочный коэффициент K , рассчитанный по формуле:

$$K = 1/\sqrt{t},$$

где:

t – продолжительность короткого замыкания, с.

Из табл.2.15 выбираем медный экран сечением $S_{\text{э}} = 300$ мм², для которого ток короткого замыкания $I_{\text{кз}} = 53,4$ кА.

Для продолжительности короткого замыкания $t = 0,8$ с ток короткого замыкания по экрану составит:

$$I_{\text{кз}} = 53,4 \cdot 1/\sqrt{0,8} = 59,7 \text{ кА.}$$

Выбранное сечение экрана $S_{\text{э}} = 300$ мм² удовлетворяет исходным требованиям.

В каждом конкретном случае способ обустройства экранов определяется проектом, при выполнении которого удобно использовать программу «ЭКРАН» (свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2008615762 от 02.12.2008), разработанную ЗАО «Завод энергозащитных устройств».

При заземлении экранов только с одной стороны на разземленном конце недопустимо объединение экранов фаз кабеля: незаземленный конец

экрана каждой фазы кабеля должен соединяться с землей через отдельный ОПН.

Вопросы применения ОПН для защиты изоляции кабеля от импульсных перенапряжений, а также вопросы транспозиции экранов рекомендуется согласовывать с производителем этого оборудования.

На рис. 2.9 представлены примеры заземления экранов кабелей в зависимости от длины кабельной линии и тока нагрузки.

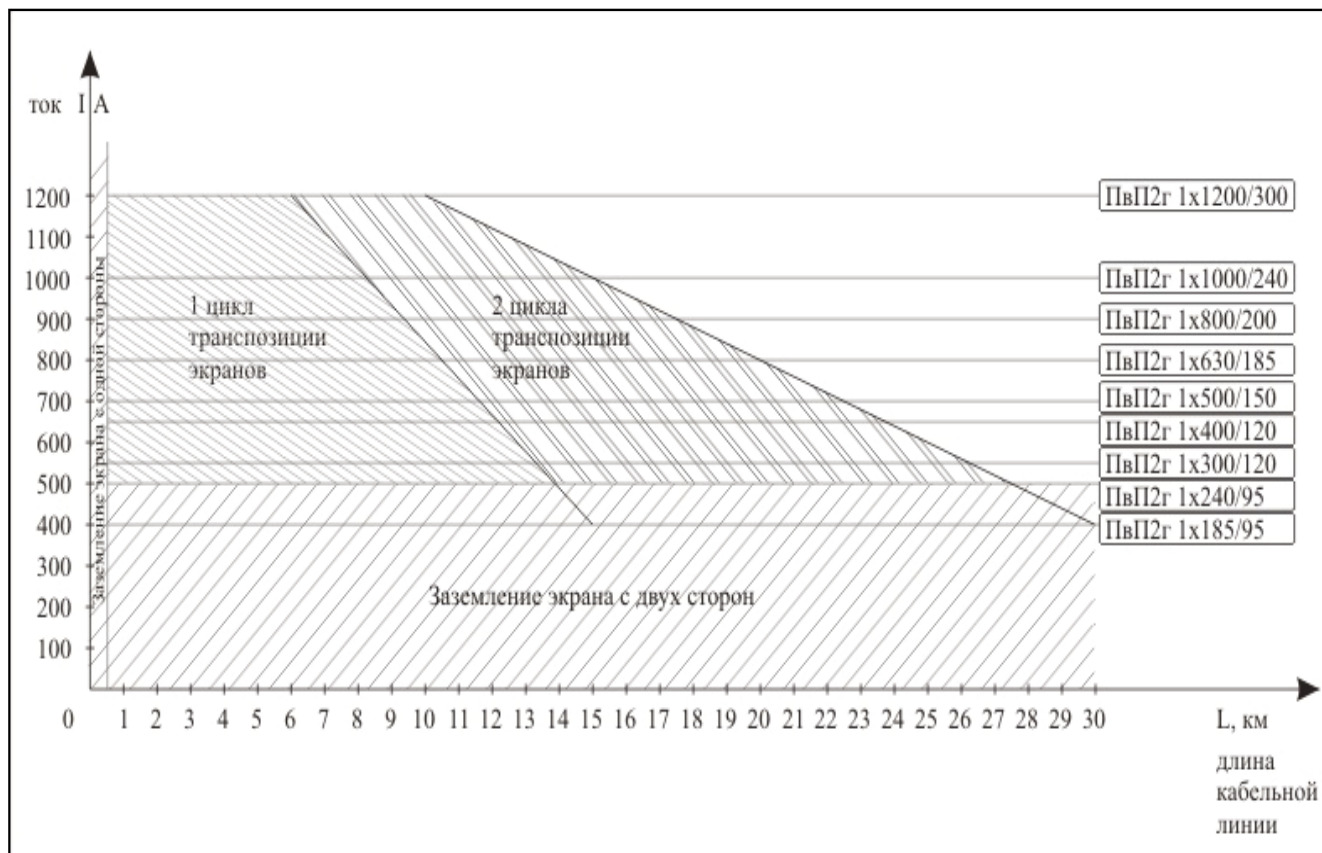


Рис. 2.9 – Примеры заземления экранов кабелей

2.2.4 Программа Экран, пример запроса на расчет

Проверим целесообразность выполнения транспозиции:

Для этого воспользуемся программой «Экран», которая поможет нам рассчитать токи в экранах кабелей и напряжение на них в различных режимах.

После внесения исходных данных программа «Экран» рассчитывает параметры линии:

ГЛАВА 2. ВЫБОР КАБЕЛЯ 110-220 кВ

Рис.2.10 Поле ввода исходных данных

Рис. 2.11 Параметры кабеля

Состояние экрана	Акт сопр прям посл	Инд сопр прям посл	Акт сопр нулев посл	Инд сопр нулев посл
Заземлен с одной стороны, Ом	0.111	0.598	1.096	12.552
Заземлен с двух сторон, Ом	0.292	0.447	0.553	0.245
Применена транспозиция, Ом	0.111	0.598	0.553	0.245

Рис 2.12 Нормальный режим

Состояние экрана	Ток в экране, кА	Напряжение на экране, кВ	Потери в экране, о.е.	
Заземлен с одной стороны	0.032	0.369	0.000	
Заземлен с двух сторон	0.639	0.000	1.636	
Применена транспозиция N=1	0.009	0.123	0.000	
Применена транспозиция N=2	0.005	0.061	0.000	

Рис. 2.13 Режим трехфазного короткого замыкания

Состояние экрана	Ток в экране, кА	Напряжение на экране, кВ
Заземлен с одной стороны	0.000	21.508
Заземлен с двух сторон	37.281	0.000
Применена транспозиция N=1	0.000	7.169
Применена транспозиция N=2	0.000	3.585

Рис. 2.14 Режим однофазного короткого замыкания

Ekran3			
Исходные данные Параметры кабеля Нормальный режим Трехфазн. КЗ Однофазн. КЗ 0 программе			
Состояние экрана	Ток в экране, кА	Напряжение на экране, кВ	
Заземлен с одной стороны	0.000	260.660	
Заземлен с двух сторон	41.397	0.000	
Применена транспозиция N=1	19.831	4.894	
Применена транспозиция N=2	19.831	2.447	

Как видно из результатов расчета, единственным правильным решением является применение двух циклов транспозиции экрана.

В итоге после выбора жилы и экрана получаем необходимую марку кабеля:

ПвП2г 1х1200/300–64/110 кВ.

2.3 Расчет усилий тяжения кабеля

Расчет усилий тяжения кабеля должен быть согласован с ГК «Севкабель».

а) Вычисление силы тяжения для прямого участка кабельной трассы без разницы высот.

Сила тяжения F в конце участка трассы вычисляется как:

$$F = G \cdot L \cdot \mu \text{ (Н)}$$

где:

F – усилие тяжения (Н)

G – вес 1м кабеля (Н/м)

L – длина участка трассы, (м)

μ – коэффициент трения

$$G = mg \text{ (Н/м)}$$

где:

m – масса 1 м кабеля, (кг/м);

g – ускорение свободного падения, (можно принять $g = 10 \text{ м/с}^2$).

б) Вычисление силы тяжения для прямого участка трассы с разницей высот.

Сила тяжения F увеличивается, при протягивании с подъемом, и уменьшается, при протягивании со спуском, вычисляется как:

Усилие тяжения F увеличивается, при протягивании с подъемом, и уменьшается, при протягивании со спуском, вычисляется как:

$$F = G \cdot L \cdot (\mu \cdot \cos\beta \pm \sin\beta)$$

где:

β – угол наклона ($^\circ$)

+ протягивании с подъемом

– протягивании со спуском

Для углов наклона $\beta = 0^\circ - 20^\circ$ может быть применена следующая упрощенная формула:

$$F = G \cdot L \cdot \mu \pm G \cdot h$$

где:

h – разница уровней рельефа [м]

Коэффициенты трения

Коэффициент трения μ зависит от двух материалов, находящихся в соприкосновении и используемой смазке. Смазка всегда используется, при протягивании кабелей ($l \geq 50 \text{ м}$) с внешней термопластической изоляцией в термопластические трубопроводы, поскольку местное нагревание от трения, особенно в изгибах, может привести к застреванию кабеля между стен трубопровода.

Коэффициент трения μ при тяжении кабеля

Протягивание по роликам	0,1-0,15
Протягивание в цементных трубах	0,40-0,60
Протягивание в термопластических трубах:	
консистентная смазка	0,10-0,20
водяная смазка	0,15-0,25
консистентная + водяная смазка	0,10-0,15

Вычисление силы тяжения для участков с изгибами.

Из-за изменений в направлении сила тяжения F значительно возрастает. Степень увеличения зависит от:

- усилия на прямом участке трассы перед изгибом;
- коэффициента трения μ ;
- угла α .

Растягивающее усилие за изгибом:

$$F_2 = F_1 \cdot e^{\mu\alpha}$$

где:

F_2 – сила на выходе из изгиба, (Н);

F_1 – сила на входе в изгиб, (Н);

e – Математическая константа, число Эйлера,

$e = 2,718$;

α – угол изгиба, (рад)

μ – коэффициент трения.

2.3.1 Радиальная нагрузка

При тяжении кабелей вокруг изгибов, возникает радиальная сила, величина которой зависит от усилия тяжения, радиуса и угла изгиба.

$$Z = \frac{F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{r \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}}$$

где:

Z – радиальная сила на единицу длины, (Н/м)

α – угол поворота, (°)

π – математическая постоянная, ($\pi = 3,14$) r – радиус изгиба,

F – сила тяжения, (Н)

В диапазоне углов поворота от 0° до 90° может быть применено следующее упрощение:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}$$

$$Z \cong \frac{F}{r}$$

где:

Z – радиальная сила на единицу длины, (Н/м)

r – радиус изгиба, (м)

F – сила тяжения, (Н)

Погрешность при расчете по этой формуле составляет менее чем 10 % при угле поворота $\alpha < 90^\circ$.

Таблица 2.21 – Максимальные допустимые радиальные нагрузки на кабель

При использовании 1 ролика на метр:
$Z=1500$ Н/м
При использовании блоков роликов – 3 ролика на метр:
$Z=4500$ Н/м
При использовании блоков роликов – 5 роликов на метр:
$Z=7500$ Н/м
При тяжении в трубопроводах:
$Z=10000$ Н/м

2.3.2 Пример расчета усилия тяжения

Вычисление усилия тяжения для прямого участка трассы без разницы высот.

Для кабеля ПвП2г 1х1200/300 – 64/110 кВ допустимое усилие тяжения 50 Н/мм² сечения жилы.

Максимально допустимое усилие тяжения при монтаже:

$$F_{max} = 50 \cdot 1200 = 60\,000 \text{ Н}$$

Коэффициент трения, при протягивании по роликам $\mu = 0,1$

Трасса состоит из нескольких участков. Длина первого участка $L_1 = 754$ м.

Масса 1м кабеля $m = 19,2$ кг.

Вес 1м кабеля:

$$G = 19,2 \cdot 10 = 192 \text{ Н}$$

В конце первого участка усилие тяжения составит:

$$F_1 = 192 \cdot 754 \cdot 0,1 = 14476,8 \text{ Н}$$

После первого участка трассы имеется поворот с углом $\alpha = 90^\circ$. Переведем угол в радианы

$$\alpha = 90^\circ = \pi/2 = 3,14/2 = 1,57 \text{ рад.}$$

Усилие тяжения после поворота в начале второго участка составит:

$$F_2 = 14476,8 \cdot e^{0,1 \cdot 1,57} = 16937,8 \text{ Н}$$

Длина второго участка $L_2 = 32$ м.

В конце второго участка усилие тяжения составит: $F_3 = F_2 + G \cdot L \cdot \mu = 16937,8 + 192 \cdot 32 \cdot 0,1 = 17552,2 \text{ Н}$

После второго участка трассы имеется поворот на угол $\alpha = 45^\circ$. Переведем угол в радианы:

$$\alpha = 45^\circ = \pi/4 = 3,14/4 = 0,785 \text{ рад.}$$

Усилие тяжения после поворота, в начале третьего участка составит:

$$F_4 = 17552,2 \cdot e^{0,1 \cdot 0,785} = 18985,57 \text{ Н}$$

Длина третьего участка $L_3 = 14$ м.

В конце третьего участка усилие тяжения составит: $F_5 = F_4 + G \cdot L \cdot \mu = 18985,57 + 192 \cdot 14 \cdot 0,1 = 19254,37 \text{ Н}$

19254,37 Н

В итоге получаем:

$$19254,37 \text{ Н} < F_{max} = 60\,000 \text{ Н.}$$

Усилие тяжения не превышает максимально допустимое.

Проверим, не превышает ли радиальная нагрузка максимально допустимое значение.

Для этого разделим максимальную силу тяжения $F_5 = 19254,37 \text{ Н}$ на минимальный радиус изгиба кабеля при проходе поворотов трассы $r = 3 \text{ м}$.

$$Z \cong \frac{19254,37}{3} = 6418 \text{ Н / м}$$

Полученному результату в таблице 2.21

удовлетворяет допустимая радиальная сила

$Z = 7500 \text{ Н/м}$ при использовании блоков роликов – 5 роликов на метр.

Кабельная арматура и комплектующие

3.1. Общие положения

Кабельная арматура (муфты соединительные, концевые и транспозиционные, аппаратные зажимы). Может поставляться в комплекте с кабелем на основании согласованных опросных листов для каждого типа и сечения кабеля. Монтаж кабельной арматуры выполняется согласно заводской инструкции по монтажу обученным персоналом.

Длительный срок эксплуатации и надежная эксплуатация высоковольтной кабельной арматуры непосредственно зависит от качества подготовки монтажной площадки и выполнения требований проекта.

3.2. Кабельная арматура

3.2.1 Концевые муфты наружной установки

Концевые муфты на напряжение до 145 кВ предназначены для кабелей 110 кВ с пластмассовой изоляцией и различными типами экранов, бро-



Рис 3.1 Концевая муфта в полимерном корпусе

ни и оболочек. Конструкция муфт предусматривает их надежную работу в условиях интенсивных промышленных и атмосферных загрязнений.

Рис.3.2 Основные элементы конструкции



Композитный корпус может поставляться с разной длиной пути утечки (до 50 мм/кВ), что соответствует требованиям для самых тяжелых условий загрязнения в соответствии с МЭК60071-1 1996, МЭК60071-2 1996 и IEEE-1313.1-1996.

Изоляция внутри армированной пластмассовой трубы обеспечивается наполнителем.

Особенности конструкции

- Легкий герметичный корпус
- Конус выравнивания напряженности электрического поля изготавливается из силиконовой резины и проходит обязательные заводские испытания
- Применение термоусаживаемых компонентов для герметизации
- Заполнение экологически и пожаробезопасным силиконом

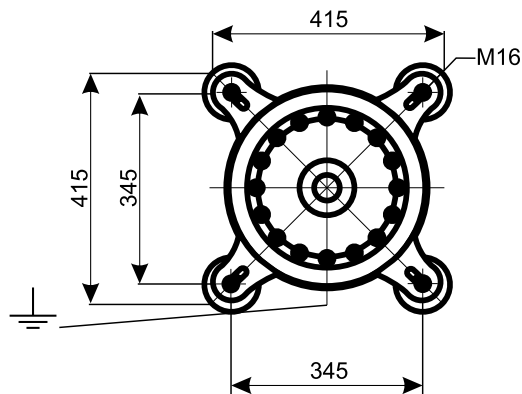


Рис. 3.2 Размеры плиты основания для муфты 110 кВ

Примерные размеры плиты основания для муфты 110 кВ указаны на рис.3.2.

Конструкция установочной площадки для концевых муфт изображена на рис. 3.3 .

Плита основания муфты монтируется на стальной конструкции, ориентировочные размеры которой даны ниже.

3.2.2 Соединительные муфты

Соединительные муфты с возможностью соединения экранов и разделения экранов представляет собой конструкцию, состоящую из предварительно изготовленных частей: двух адаптеров и главного изоляционного тела. Муфта предназначена для соединения кабельных линий с полимерной изоляцией и различными типами экранов, и оболочек.

Конструкция муфты позволяет производить разделение экранов кабеля для осуществления транспозиции экранов или их промежуточного разземления. Соединение жил осуществляется меха-

- Заливаемый силикон не требует предварительной подготовки перед заливкой
- Изолированное основание муфты для возможности разземления
- Муфты испытаны в соответствии со стандартами МЭК60840

Концевые муфты в полимерном корпусе предназначены для кабелей с пластмассовой изоляцией и различным типом экранов, брони и оболочек. Конструкция муфт предусматривает их надежную работу в условиях интенсивных промышленных и атмосферных загрязнений. Композитный корпус может поставляться с разной длиной утечки (до 50 мм/кВ), что соответствует требованиям для самых тяжелых условий загрязнения в соответствии с МЭК60071-1-1996, МЭК60071-2-1996 и IEEE-1313,1-1996.

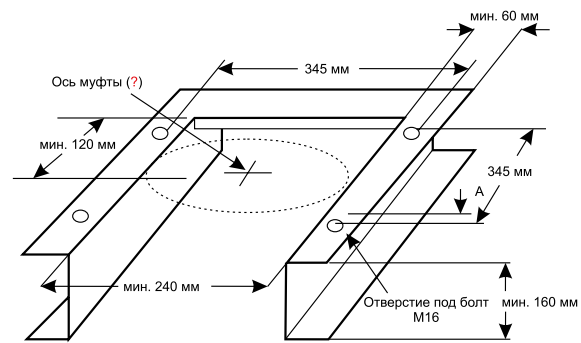


Рис. 3.3 Стальная конструкция для крепления концевых муфт

ническим соединителем со срывающимися болтами. Такая конструкция позволяет соединять кабели без специальных инструментов. Система с механическими болтовыми соединителями гарантирует надежность, и высокое качество соединения на длительный период времени. Стабильные параметры напряжения демонстрируются при монтаже в реальных условиях и соответствуют параметрам, полученным при многоциклических длительных испытаниях.

Муфты испытываются заводом производителем в соответствии со стандартами МЭК60840.

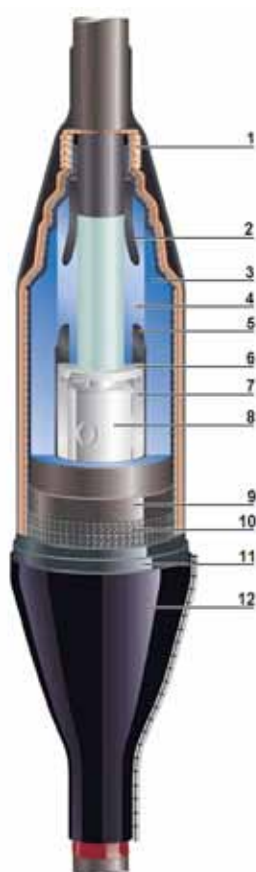
Преимущества и особенности конструкции:

- Конструкция состоит из трех предварительно изготовленных на заводе частей
- Использование механического болтового соединения

ГЛАВА 3. КАБЕЛЬНАЯ АРМАТУРА И КОМПЛЕКТУЮЩИЕ

- Интегрированная защита от проникновения влаги с использованием термоусаживаемых компонентов
- Малая длина разделки кабеля
- Не требуется специального инструмента для монтажа муфты
- Использование муфты с разделением экранов
- Муфта используется для соединения кабеля с различными сечениями токопроводящей жилы и экранов
- Предизготовительные адаптеры и главное изоляционное тело проходят обязательные заводские испытания
- Муфты испытываются в соответствии со стандартами МЭК60840 и IEE404

Рис. 3.5 Основные элементы конструкции соединительных муфт



Соединительная муфта



Соединительная муфта
(с разделением экранов)

Основные элементы конструкции:

1. Механический соединитель, предназначенный для восстановления целостности экрана (медные проволоки, медная лента, металлические оболочки).

2. Элемент управления полем, интегрированный в адаптер.

3. Главное изоляционное тело муфты. Благодаря своей исключительной эластичности при монтаже главного изоляционного тела муфты не требуется специального инструмента.

4. Кабельный адаптер. Адаптеры, выравнивающие область соединения изготовлены из силиконовой резины и предназначены для использования на различных диаметрах изоляции кабеля. Это поз-

воляет перекрывать несколько различных сечений кабеля одним главным изоляционным телом муфты (3). Так же это позволяет производить соединение кабелей с различными сечениями токопроводящей жилы без дополнительных комплектующих. Благодаря своей исключительной эластичности пне необходимости в специальном инструменте для их установки.

5. Элемент управления полем, интегрированный в адаптер.

6. Фиксирующие кольца, обеспечивающие необходимое расположение кабельного адаптера по отношению к фазной изоляции кабеля

7. Металлический экран – «Клетка Фарадея» поверх соединителя обеспечивает эффективную теплоотдачу и гладкую переходную поверхность

8. Механический соединитель (гильза) со срывающимися болтами. Соединитель применяется для многопроволочных цельнотянутых алюминиевых и медных жил. Для монтажа соединителя не требуется специальных инструментов.

3.2.3 Штекерные муфты



Рис. 3.5 Штекерная муфта сухого исполнения

Применение

Штекерные муфты сухого исполнения для распределительных устройств и трансформаторов до 145 кВ и предназначены для подключения кабельных линий к элегазовым распределительным устройствам и трансформаторам. Эти концевые муфты работают как в среде элегаза, так и в изоляционных жидкостях, таких как трансформаторное масло. При использовании муфты в качестве кабельного ввода в трансформатор дополнительный экран устанавливаемый на конце муфты обеспечивает необходимое экранирование соединения.

9. Полупроводящий слой
10. Медная сетка
11. Термоусаживаемая трубка, использующая термоусаживаемую технологию для обеспечения защиты муфты от внешних воздействий.
12. Термоусаживаемая манжета с интегрированной защитой от проникновения влаги.

Муфта с разделением экранов

Основные элементы конструкции

Конструкция муфты с разделением экранов аналогична обычной. Используя технологию термоусаживаемых материалов была создана муфта для использования в схемах транспозиции и промежуточных заземлений экранов кабеля.

1. Термоусаживаемая трубка для изоляции и защиты выведенного из муфты экрана
2. Герметизирующий элемент (клипса) для обеспечения влагозащиты конструкции муфты
3. Вывод экрана из муфты

Специальный адаптер для присоединения штекерной муфты к токоведущим частям элегазового распределительного устройства соответствует размерам «мокрых» (маслонаполненных) муфт, что определено стандартом МЭК 60859. Муфта может быть легко отсоединена от распределительного устройства и подключена снова. Она состоит из втычной 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. При использовании коротких кабельных перемычек в распределительном устройстве штекерные муфты могут быть предустановлены производителем кабеля, что дополнительно позволяет сократить объем и время монтажа электрооборудования.

Муфты производятся в соответствии со стандартом МЭК 60859 который регламентирует их размеры и конструкцию. Поэтому эти концевые муфты подходят ко всем элегазовым распределительным устройствам, выполненным в соответствии с указанным стандартом (ABB, AREVA, SIEMENS и т.д.).

Преимущества и особенности конструкции

- Муфты производятся в соответствии со стандартом МЭК 60859 который регламентирует их

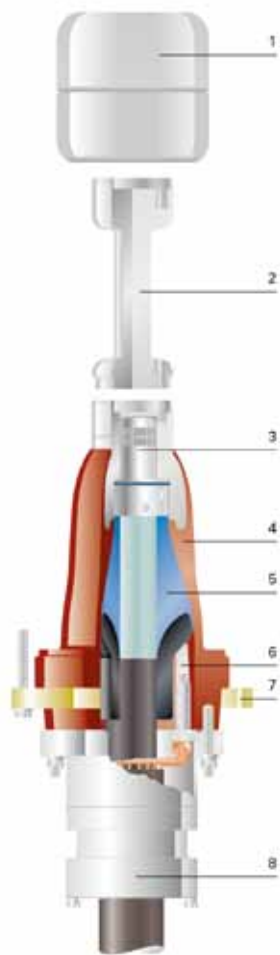


Рис. 3.6 Основные элементы конструкции

1 – экран «Анти-корона» для использования штекерной муфты в качестве кабельного ввода в трансформатор.

2 – адаптер для увеличения длины сухой штекерной муфты в соответствии с габаритом маслонаполненной

3 – мультиконтактный наконечник с самосрывающимися болтами. Наконечник применяется для многопроволочных и цельнотянутых алюминиевых и медных жил. Для монтажа наконечника не требуется специальных инструментов.

4 – эпоксидный изолятор со встроенным мультиконтактным электродом образует систему газонепроницаемого (маслонепроницаемого) подключения штекерной муфты к распределительному устройству (трансформатору).

5 – конус выравнивания напряженности электрического поля из силиконовой резины. Конус ВНЭП благодаря своей пластичности легко устанавливается без специальных инструментов.

6 – подпружиненное компрессионное кольцо для создания необходимого контактного усилия и обеспечения плотного прилегания конуса выравнивания напряженности электрического поля к изолятору.

7 – фиксирующее кольцо для крепления корпуса эпоксидного изолятора в распределительном устройстве (трансформаторе).

8 – система ввода и герметизации фиксирующая экран кабеля и броню. Система адаптирована к кабелям с различными типами экрана, оболочки и брони.

размеры и конструкцию. Поэтому эти концевые муфты подходят ко всем элегазовым распределительным устройствам, выполненным в соответствии с этим стандартом (ABB, AREVA, SIEMENS и т.д.)

- «Сухое» соединение без использования масла
- Газонепроницаемый изолятор рассчитан на повышенное давление
- Использование в среде элегаза и изоляционных жидкостях
- Силиконовый конус выравнивания напряженности электрического поля проходит обязательные
- заводские испытания
- Мультиконтактный болтовой наконечник
- Не требуется специальных инструментов для монтажа концевой муфты
- Система ввода и герметизации для обеспечения возможности изолирования кабельного экрана от заземленных конструкций

- Муфта испытана в соответствии со стандартами МЭК60840 и МЭК60859



Рис. 3.7 Штекерная муфта масло-наполненная

Применение

Штекерные муфты маслонаполненные для распределительных устройств для трансформаторов до 170 кВ и предназначены для подключения кабельных линий к элегазовым распределительным устройствам и трансформаторам. Эти концевые муфты работают как в среде элегаза, так и в изоляционных жидкостях, таких как трансформаторное масло. При использовании муфты в качестве кабельного ввода в трансформатор дополнительный экран устанавливаемый на конце муфты обеспечивает необходимое экранирование соединения. Муфта может быть легко отсоединена от распределительного устройства и подключена снова. Она состоит из разъемной 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. Муфты производятся в соответствии со стандартом МЭК 60859 который регламентирует их размеры и конструкцию. Поэтому эти концевые муфты подходят ко всем элегазовым распределительным устройствам, выполненным в соответствии с указанным стандартом (ABB, AREVA, SIEMENS и т.д.)

Преимущества и особенности конструкции

- Муфты заполнены экологически и пожаробезопасным силиконовым маслом
- Размеры соответствуют МЭК 60859
- Газонепроницаемый изолятор рассчитан на повышенное давление
- Использование в среде элегаза и изоляционных жидкостях
- Силиконовый конус выравнивания напряженности электрического поля проходит обязательные заводские испытания
- Мультиконтактный болтовой наконечник
- Не требуется специальных инструментов для монтажа концевой муфты
- Система ввода и герметизации для обеспечения возможности изоляции кабельного экрана от заземленных конструкций
- Муфта испытана в соответствии со стандартами МЭК60840 и МЭК60859

3.2.4 Переходные соединительные муфты

В настоящее время в России идет постепенная замена маслонаполненных кабельных линий

КЛ 110 и выше на кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), вызванная старением, проведением строительных работ или выходом из

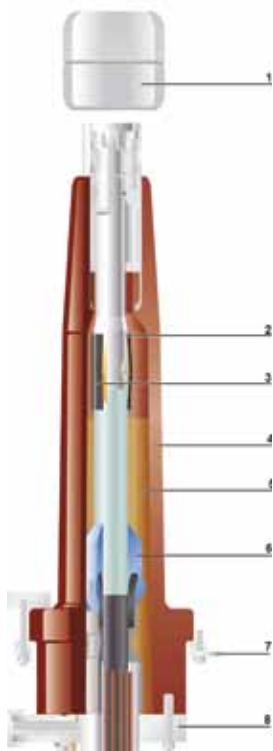


Рис. 3.8 Основные элементы конструкции

- (1) – экран «Анти-корона» для использования штекерной муфты в качестве кабельного ввода в трансформатор.
- (2) – мультиконтактный наконечник. Наконечник применяется для многопроволочных и цельнотянутых алюминиевых и медных жил. Для монтажа наконечника не требуется специальных инструментов.
- (3) – термоусаживаемая полимерная трубка, содержащая маслостойкий герметик, герметизирует переход от наконечника к изоляции кабеля.
- (4) – эпоксидный изолятор со встроенным мультиконтактным электродом образует систему газонепроницаемого (маслонепроницаемого) подключения штекерной муфты к распределительному устройству (трансформатору).
- (5) – силиконовое масло, экологически и пожаробезопасное.
- (6) – конус выравнивания напряженности электрического поля из силиконовой резины. Конус ВНЭП благодаря своей пластичности легко устанавливается без специальных инструментов.
- (7) – фиксирующее кольцо для крепления корпуса эпоксидного изолятора в распределительном устройстве (трансформаторе).
- (8) – основание муфты.
- (9) – система ввода и герметизации. Система адаптирована к кабелям с различными типами экрана, оболочки и брони.

строю участка линии. Полная модернизация КЛ возможна далеко не всегда по причине недостатка финансирования. Единственным решением данной проблемы является частичная замена за счет новых кабельных вставок. При этом возникают трудности с выбором соединительной арматуры между маслonaполненным кабелем и кабелем с изоляцией из СПЭ. Применение стопорнопереходных муфт может быть подходящим решением для КЛ до 220 кВ включительно (для маслonaполненных кабелей низкого и высокого давления).

Муфта состоит из двух заделок, разделенных эпоксидным стопорным изолятором – кабеля с изо-

ляцией из СПЭ и маслonaполненного кабеля. Заделка СПЭ-кабеля может быть выполнена в сухом исполнении или заполнена полибутиленовым маслом, расширение и сжатие которого контролируется встроенным компенсирующим устройством. Заделка маслonaполненного кабеля заполняется кабельным маслом. При установке внутреннего компенсатора давления в данной заделке муфта может быть установлена не только в колодец, но и непосредственно засыпана в котловане. Муфта может быть изготовлена для выполнения транспозиции экранов.

Монтаж кабельных систем 110-220 кВ

4.1 Общие указания

Настоящая глава распространяется на технологический процесс монтажа и эксплуатацию кабельных линий (КЛ) с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 110-220 кВ, проложенных в земле, на открытом воздухе или внутри кабельных сооружений.

Требования главы должны учитываться при составлении проектной документации на КЛ 110(220) кВ, а также при составлении проекта организации работ (ПОР) и проекта производства работ (ППР).

Монтаж и эксплуатация КЛ 110(220) кВ должны выполняться в соответствии с требованиями настоящей инструкции и действующих нормативных документов:

- правила устройства электроустановок (ПУЭ);
- правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок;
- правила технической эксплуатации электрических станций и сетей;
- СНиП 3.05.06-85 (Электротехнические устройства).

При прокладке кабелей должны также соблюдаться соответствующие нормы и правила, предусмотренные другими нормативными документами, утвержденными или согласованными в установленном порядке.

На подводную прокладку данная глава не распространяется (условия и способы подводной прокладки кабелей определяются при проектировании кабельной линии с учетом конкретных условий прокладки и должны быть согласованы с ГК «Севкабель».

Прокладка КЛ-110 (220) кВ (или ее участка) разрешается только после окончания строительных работ, и при наличии согласованного с ГК «Севкабель» проекта производства работ (ППР). Тяжение кабелей во время прокладки должно производиться при помощи проволочного кабельного чулка, закрепляемого на оболочке или за токопроводящую жилу при помощи клинового захвата.

4.2 Оборудование для монтажа КЛ 110-220 кВ

Примерный перечень инструментов, технологического инвентаря и монтажной оснастки для одноцепной кабельной трассы длиной 840 м (переход с воздушной линии в кабельную и обратно на воздушную линию) приведен в таблице 4.1.



Рис. 4.1 Условия прокладки

Таблица 4.1

№ п/п	Наименование	Количество
1	2-х ветвевой строп 2СК, г/п 25т.	6м 2 шт.
2	Кольцевой строп СКК, г/п 25т.	6м 2 шт.
3	Погрузочная траверса для кабельных барабанов до Ø 4000 мм с крюком подъемным	
4	Отдающее устройство (грузоподъемность 20 тонн)	1 шт.
5	Кабельная кабестановая лебедка 40 кН с динамометром, с мониторингом и регистрацией усилия тяжения и автоматическим отключением.	1 шт.
6	Тормозное приспособление	2 шт.
7	Поддерживающий вал для схода кабеля с барабана L=2000мм	1 шт.
8	Ролики для прокладки кабеля: – линейные – угловые	215 шт. 4 шт.
9	Воронка разъемная диаметром 50–200мм	1 шт.
10	Рулетка измерительная металлическая	2 шт.
11	Гвоздодер	1 шт.
12	Ножницы НБК-2	1 шт.
13	Стальной трос Ø 8 мм	900 м

ГЛАВА 4. МОНТАЖ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 110-220 кВ

№ п/п	Наименование	Количество
14	Вертлюг, Ø 45 мм, рабочая нагрузка 150 кН	2 шт.
15	Монтажный чулок 1 петлей для тяжелых кабелей рабочая нагрузка 150 кН	2 шт.
16	Крюк для направления кабеля при прокладке	1 шт.
17	Радиостанции до 1 км	4 шт.
18	Технический вазелин (для кабелей с ПЭ оболочкой)	6 кг
19	Опорные стойки для концевых муфт	12 шт.
20	Пила ленточная	1 шт.
21	Набор инструментов НКИ-3 ТУ 36-913-75	1 шт.
22	Инструмент (шуруповерт, пассатижи, молоток, топор)	1 комплект
23	Баллон с пропаном типа БЗ-50 с редуктором типа ДПИ-1-65	1 шт.
24	Горелка газовая со шлангами	1 шт.
25	Термоусаживаемые кабельные капы (колпаки) с клеевым слоем для кабеля Ø = 100 мм.	8 шт.
26	Лента-скотч армированная, для скрепления трех фаз кабеля в треугольник	800 м
27	Ножовки по дереву и металлу	
28	Тент брезентовый площадью 80 м ²	2 шт.
29	Щит деревянный 2х1,5м	20 шт.
30	Доска обрезная 100х40 мм	2 м.куб.
31	Брус деревянный 50х50 мм	1 м.куб.
32	Гвозди строительные 120х4	30 кг
Комплект материалов для ремонта оболочки кабеля:		
33	Бумага наждачная	
34	Ацетон технический ГОСТ 2768-84	2 л
35	Ремонтная термоусаживаемая манжета Raychem для кабеля	3 шт.
36	Штангенциркуль, линейка измерительная металлическая	2 шт.
37	Лента ПВХ пластика шириной 30-50мм ГОСТ 16272-79	0,2 кг

№ п/п	Наименование	Количество
38	Бязь белая ГОСТ 1680-76	2 м ²
39	Краска для наружных работ (желтый, зеленый и красный)	
40	Кисточка (ширина 15–20 мм)	
41	Ленты RULLE	2 рулона

4.3 Требования к электромонтажным организациям

Перед началом работ по монтажу кабеля необходимо провести инструктаж персонала, который будет заниматься монтажом. Прокладку КЛ 110(220) кВ должна выполнять специализированная монтажная организация, имеющая соответствующее кабелепрокладочное оборудование, специализированный инструмент, необходимый материал, а также квалифицированный персонал, прошедший соответствующее обучение и допущенный к проведению данных работ на основании соответствующих сертификатов. В случае если электромонтажная организация не имеет сертификатов на самостоятельный монтаж кабеля 110(220) кВ производства ГК «Севкабель», монтаж кабеля должен проводиться с обязательным присутствием шеф-инженера завода «Севкабель».

4.4 Монтаж кабеля 110-220 кВ (инструкция)

Подготовительные работы

Перед началом проведения работ по монтажу кабельной линии необходимо составить проект производства работ, в который необходимо включить следующие пункты:

1. Пояснительная записка.
2. Указание мер безопасности.
3. Подготовительные работы.
4. Порядок производства работ при прокладке кабеля.
5. Работы по окончании прокладки кабеля (испытания).
6. Мероприятия по безопасному производству работ (техника безопасности).

Приложения:

1. Перечень инструментов, технологического инвентаря и монтажной оснастки.
2. Схемы кабельной трассы
3. Список персонала, ознакомленного с ППР.
4. График производства работ.

Монтаж кабельной трассы

Кабельные трассы должны быть запланированы настолько прямо, насколько это возможно, избегая крутых изгибов в пределах трассы. Месторасположение люков для протяжки и соединения должно быть заранее предусмотрено в тех местах, которые доступны для транспорта с оборудованием и материалами. Если используются системы с транспозицией экрана, то отдельные кабельные секции между соединением должны быть приблизительно равными по длине. В определенных местах устанавливаются кабельные барабаны и машина для протяжки кабеля. Отверстия в стенах должны иметь отверстия не только для кабеля, но так же и для протягивающей веревки.

Подготовка и приемка трассы

Перед началом прокладки кабелей трасса кабельной линии должна быть принята от строителей с составлением соответствующего акта. При необходимости допускается приёмку трассы производить участками от муфты до муфты.

Приёмку трассы должны производить представители заказчика, и организаций осуществляющих монтаж и шефмонтаж кабеля и муфт.

Трасса должна соответствовать проектной документации, требованиям настоящей инструкции и действующей нормативной документации.

До прокладки кабелей должны быть выполнены следующие работы:

- подсыпка дна траншеи песчано-гравийной смесью с толщиной слоя не менее 100 мм с предъявлением Протокола по составу песчано-гравийной смеси (ПГС) согласно ГОСТ 23735-79 или соответствующего сертификата (соотношение песка и гравия: 1:1, гравий фракции от 5 до 15 мм). Лотки для прокладки кабеля должны быть уложены и состыкованы без смещений, на поворотах стыки заделаны бетоном.
- установлены опорные стойки (фундаменты) для концевых муфт;
- выполнены пересечения с другими коммуникациями;
- подготовлены проходы для вводов кабелей в здания и сооружения, и в них вставлены трубы;

- в кабельных сооружениях смонтированы опорные конструкции согласно проекту;
- из траншей откачана вода, удалены камни, прочие посторонние предметы и строительный мусор, дно траншеи должно быть спланировано;
- проходимость блочных труб должна быть проверена специальными калибрами;
- заготовлена вдоль трассы песчано-гравийная смесь (песок с размером зёрен не более 2 мм и гравий с размерами частиц от 5 до 10 мм в соотношении по весу 1:1);
- заготовлены железобетонные плиты для перекрытия кабелей, предусмотренные проектом;
- подготовлены котлованы для монтажа соединительных муфт, из них удалена вода, на дне котлованов в местах расположения соединительных муфт уложены железобетонные плиты;
- на заходах в котлованы и колодцы вырыты ямки для укладки кабелей после монтажа муфт.

При наличии опасности осыпания края траншеи и на участках с сыпучими или влажными грунтами стенки траншеи должны быть раскреплены деревянными щитами, при этом высота щитов должна быть не менее, чем на 10 см выше кромки бровки для исключения смыва грунта во время дождей. Крепления не должны мешать последующей прокладке кабеля.

Трубы должны быть уложены прямо, без отклонений от оси траншеи. Заходы труб с внутренней стороны должны быть скруглены 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. После закладки труб они с обеих сторон должны быть закрыты заглушками. Перед прокладкой кабеля заглушки должны быть сняты. Дно траншеи перед входами труб должно быть ниже труб на 15-20 см для предотвращения попадания песка и гравия в трубы при тяжении кабеля.

После осмотра трассы и предъявления всех необходимых сертификатов (паспортов) на использованные материалы, представитель шеф-монтажной организации (шеф-инженер) дает разрешение на прокладку кабеля

Транспортировка и хранение кабеля

Транспортировка и хранение кабелей должны соответствовать требованиям ГОСТ 18690-82. Допускается хранение кабелей на барабанах в обшито-м виде на открытых площадках не более 2

лет, в закрытых помещениях (складах) – не более 5 лет. Сохранение заводских гарантийных обязательств возможно при обеспечении мер исключаящих попадание влаги внутрь кабеля, а также при обеспечении защиты от механических повреждений и хищения.

Кабельные барабаны должны транспортироваться вертикально, так, чтобы вес был распределен на обоих фланцах. Они не могут быть положены на бок. В течение транспортировки кабельные барабаны должны быть должным образом закреплены. Никогда не допускайте того, чтобы кабельные барабаны падали с грузовиков или трейлеров, поскольку и барабан, и кабель могут быть повреждены. Используйте только подходящее оборудование для того, чтобы производить операции подъема, предпочтительно грузовик, оснащенный подъемным краном или трейлер со средствами обеспечения загрузки – разгрузки. Рампа также может использоваться для разгрузки. Барабаны можно катить на короткие расстояния, если соблюдать правила Руководства по перемещению, то есть, внешние кабельные концы обращены назад по ходу движения. Барабаны могут вращаться передней частью в противоположном направлении помощи штанги и подъемного устройства.

Вывозить барабаны на трассу рекомендуется не более чем за один день до прокладки, чтобы избежать возможных повреждений при длительном хранении барабанов на трассе.

При погрузке и разгрузке барабанов с кабелем применять грузозахватное приспособление, которое крепится в осевом отверстии щек барабана. Допускается разгрузка барабанов вилочным погрузчиком с обеспечением мер, исключаяющих воздействие вилок погрузчика на кабель.

В присутствии шеф-инженера и представителя Заказчика произвести внешний осмотр барабанов с кабелем. Убедиться в отсутствии повреждений обшивки и целостности кап на концах кабелей. Проверить документы на кабельную продукцию. Установить барабаны с кабелем на отдающие устройства так, чтобы при размотке конец кабеля сходил сверху.

Связь

Надежная связь между персоналом при кабельном барабане, промежуточных входных отверстиях, в начале кабеля и лебедке необходима для координации работ и выполнения их надлежащим образом. Обычно используются переносные

рации. Используемое оборудование должно иметь высокую надежность и быть полностью проверено перед операцией укладки кабеля.

Кабельная лебедка

Чтобы гарантировать надежную операцию разматывания стального троса или веревки, лебедка должна быть надежно установлена и закреплена на расстоянии приблизительно 10 м от траншеи или отверстия кабельного трубопровода. Тянувший трос должен быть присоединен к кабелю посредством вертлюга, позволяющего им совершать свободные вращения. Сила тяжения должна быть заранее проверена и постоянно отслеживаться. в случае необходимости оператор лебедки должен быть в состоянии остановить процесс в любое время. Кабельная лебедка должна быть оборудована устройством контроля усилия тяжения и механизмом автоматического отключения при превышении усилий тяжения.

Ролики

Ролики линейные, угловые, направляющие необходимо расставить по трассе. Расстояние между роликами должно быть не более 3 м, для кабеля с алюминиевой жилой, и не более 2,5 м для кабеля с медной жилой. На поворотах трассы расстояние между роликами должно быть не более 1 м (необходимо учитывать допустимые радиальные нагрузки). Выбор расстояния между роликами зависит от массы кабеля – чем тяжелее кабель, тем чаще должны быть установлены ролики.

Раскатка кабеля

Кабель всегда раскручивается от вершины барабана. Барабаны должны быть установлены на кабельном трейлере или на домкратах таким способом, что бы иметь возможность установки размыкающих устройств. Если ожидается большая сила натяжения кабеля, то протягивающее устройство может быть размещено около барабана.

Расположение и установка кабельных роликов на кривых участках трассы требуют большого внимания. Ни в коем случае не меняйте положение роликов под нагрузкой. Чтобы успешно вести кабель, нужно установить как горизонтальные, так и вертикальные ролики. Число вертикальных роликов будет зависеть от максимальной силы бокового давления.

Условия прокладки (усилия тяжения, радиус изгиба, температура)

Надежность обслуживания кабельных систем зависит непосредственно не только от качества кабеля, но также и в большой степени от используемых методов и тщательности выполнения работ при укладке кабеля и монтажа принадлежностей. В течение изготовления, которое выполняется с предельной тщательностью, каждая кабельная длина полностью проверена после проводимого технологического процесса, и, прежде чем осуществить отправку заказчику, подвергнута серьезному окончательному тестированию. Очень важно предпринять правильные действия, транспортируя и укладывая кабель. Каждая фаза операции укладки должна контролироваться непосредственно шеф-инженером, особенно если используется труд рабочих со средней квалификацией. Все рабочие должны полностью осознавать возможность серьезных последствий в случае чрезмерного изгиба или деформации кабеля. Фактом является то, что убытки в течение транспортировки и укладки кабеля вызваны недостаточной подготовкой работ или их неправильным проведением. Если это возможно, то методы укладки должны быть указаны в перспективном проектировании для того, чтобы это могло быть учтено при проведении работ гражданского строительства. Тем самым будет гарантировано правильное укладывание кабеля, а так же позволит избежать дополнительных работ и связанных с ними затрат.

Допустимые усилия тяжения на всех участках прокладки не должны превышать: 50 Н/мм^2 (5 кгс/мм^2) – для кабелей с медной жилой;

30 Н/мм^2 (3 кгс/мм^2) – для кабелей с алюминиевой жилой.

Направление укладки

Направление укладки должно быть выбрано таким образом, чтобы получить наименьшую силу натяжения в конце кабельной трассы. Это будет иметь место в том случае, если кабельные барабаны будут расположены в том месте, где находятся наиболее существенные изменения в направлении трассы. Для трасс с наклонным рельефом, протяжка кабеля, если это возможно, должна осуществляться от верха к низу.

Различие в высотах трассы

В местах, где существуют значительные различия в высотах рельефа, кабель должен быть зафиксирован при помощи анкерных зажимов. Фиксация при помощи анкерных зажимов необходима так же на концах кабеля и с обеих сторон соединения.

Протяжка трех одножильных кабелей

Всякий раз, когда три одножильных кабеля необходимо протянуть в одном и том же трубопроводе, то эти кабели нужно тянуть одновременно. Конфигурация одножильных кабелей внутри трубопровода определяется функцией k – отношением внутреннего диаметра трубопровода к внешнему диаметру кабеля.

Прокладка кабеля

Примерная схема расстановки рабочих при протяжке кабеля (окончательно определяется ППР):

- барабан – 2 человека;
- роулинги на сходе кабеля с барабана – 2 человека;
- спуск кабеля в траншею (вход, выход из туннеля) – 1 человек;
- на лебедке – 2 человека;
- сопровождение конца кабеля – 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 – по необходимости.

При одновременном тяжении трех кабелей (если это предусмотрено проектом) за устройством для группирования кабелей должны находиться 2 человека для скрепления кабеля в трос угольник.

Руководитель работ сопровождает движение конца кабеля по трассе. После расстановки рабочих и опробования связи команду на включение лебедки при протяжке дает руководитель работ. Команду на остановку лебедки может дать любой, заметивший неполадки при протяжке.

Скорость прокладки не должна превышать 20 м/мин и должна выбираться в зависимости от характера трассы, погодных условий и усилий тяжения.

В случае, если усилие тяжения превышает допустимую величину, то необходимо остановить прокладку и проверить правильность установки и исправность линейных и угловых роликов, наличие смазки (воды) в трубах, а также проверить возможность заклинивания кабеля в трубах. Даль-

нейшая протяжка кабеля возможна только после устранения причин превышения допустимых усилий тяжения.

Если протягивание прервано, то повторное начало тяжения должно выполняться с малым ускорением, чтобы избежать большого усилия тяжения.

Барабан с кабелем необходимо подтормаживать так, чтобы не было рывков, ослабления и провисания витков кабеля и в то же время не создавать чрезмерных усилий торможения.

При спуске кабеля в траншею или входе в туннель необходимо следить, чтобы кабель не соскальзывал с роликов не терся о трубы и стенки в проходах.

На входе в асбестоцементные, керамические или пластмассовые трубы необходимо следить за тем, чтобы не повреждались защитные покровы кабелей.

При повреждении оболочки кабеля необходимо остановить прокладку, осмотреть место повреждения в присутствии шеф-инженера, который принимает решение о способе ремонта оболочки. Составить Акт о повреждении оболочки кабеля. Технология ремонта оболочки описана в п.4.9

Сопровождающие конец кабеля должны следить за тем, чтобы кабель шел по роликам, при необходимости подправляют ролики, а также направляют конец кабеля специальным крюком. Кабель вытягивается таким образом, чтобы при укладке его по проекту расстояние от верха концевой муфты или от условного центра соединительной муфты был излишек длины не менее 2 м. Решение о запасе кабеля принимает шеф-инженер. Концы кабеля после отрезания должны быть уплотнены термоусаживающимися капями для предотвращения проникновения влаги.

Отсоединить тяговый трос и снять чулок или захват с конца кабеля. в случае, если на барабане находится кабель для нескольких участков трассы, или если длина кабеля существенно больше длины участка, необходимо обрезать кабель. После обрезки кабеля загерметизировать концы кабелей. Если тяжения было с помощью чулка, после снятия чулка проверить находившуюся под ним капю на конце кабеля. в случае повреждения капю, заменить поврежденную капю новой. Решение о способе герметизации после обрезки кабеля принимает шеф-инженер.

При необходимости концы кабеля завести в камеры, колодцы, кабельные помещения. При этом необходимо соблюдать допустимые радиусы изгиба кабеля. У отверстия, в которое заведен кабель, краской сделать надпись, в которой указать фазу и номер линии.

Снять кабель с роликов, уложить и закрепить его по проекту.

Если после прокладки на барабане остался кабель, необходимо отрезать лишнюю часть кабеля. При отрезке необходимо подложить под виток кабеля доску, при этом необходимо следить за тем, чтобы не повредить оболочку кабеля. После отрезки на барабане необходимо сделать надпись с указанием длины оставшегося кабеля.

Сразу после отрезки кабеля на его концы должны быть смонтированы капю.

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

В случае, если непосредственно после прокладки кабеля не начинается монтаж муфт, то концы кабелей следует уложить на подсыпку из песчано-гравийной смеси, засыпать сверху слоем песчано-гравийной смеси толщиной не менее 200 мм, закрыть деревянными щитами и засыпать грунтом. При подготовке к засыпке концы кабеля запрещается сворачивать в бухты. Место нахождения засыпанных концов на трассе рекомендуется обозначить реперными отметками.

При прокладке в траншее произвести присыпку кабеля песчано-гравийной смесью с толщиной слоя не менее 200 мм с предъявлением Протокола по составу песчано-гравийной смеси (ПГС) согласно ГОСТ 23735-79 или соответствующего сертификата (соотношение песка и гравия: 1:1, гравий фракции от 5 до 15 мм). Выполнить укладку железобетонных плит по проекту и провести испытания оболочки кабеля. При согласовании с ГК «Севкабель» возможна замена песчано-гравийной смеси (ПГС) на песок, а также уменьшение толщины слоя присыпки до 100 мм.

Открытая траншея

В выкопанных траншеях, а так же на соседних с ней участках, не должно быть таких мест, которые могли бы обрушиться до или во время проведения работ по укладке кабеля. Стены траншеи в случае необходимости должны быть обшиты досками. Выкопанное траншейное дно должно быть свободным от выступающих камней, дно должно быть засыпано слоем песка толщиной не менее 10 см. Это существенно, в случае если должны быть положены небронированные кабели. Другой слой песка (приблизительно 20 см) или теплоизолирующий материал должен быть уложен поверх кабелей.

Термопластиковые трубы

Из-за маленького коэффициента трения между кабелем и трубопроводом даже длинные кабельные участки могут быть проложены без контрольных колодцев. В дополнение ко всему, система трубопровода может быть установлена в секциях заранее в любое удобное время, одновременно с другими работами. Материалы трубы и приспособления могут быть изготовлены из следующих термопластиковых материалов:

- Полиэтилен (PE)
- Полипропилен (PP)
- Поливинилхлорид (PVC)

Диаметр труб

При повышении рабочих температур кабели удлиняются. Это удлинение должно быть в пределах трубопровода и следовательно якорные хомуты должны быть установлены в ямах для соединительных муфт. Внутренние диаметры трубопроводов должны иметь следующие значения:

- от 1.4 до 2.0 диаметров кабеля для 1 кабеля в трубе
- от 2.6 до 3.5 диаметров кабеля для 3 кабелей в трубе

Соединения труб

Укладка и сборка системы трубопроводов должны быть выполнены тщательно. Трубы, как правило, поставляются длиной по 10 м и 5 м, и соединение достигается при помощи герметичного соединения. Серьезное внимание нужно обратить на относительно высокий коэффициент линейного расширения термопластических материалов, особенно при установке трубопроводов в течение тех дней, при которых могут быть температуры с большой разницей значений.

Важные рекомендации

Пять основных правил укладки кабеля:

1. Не превышать допустимую силу натяжения
2. Не превышать допустимое боковое давление
3. Не укладывать кабель с радиусом изгиба меньше допустимого
4. Не укладывать кабель при температуре ниже допустимой
5. Соблюдать требования безопасности при проведении работ

Минимальная температура при укладке

Укладка кабеля может быть выполнена при температуре окружающей среды до -10°C , при ус-

ловии, что выполнены все необходимы для этого меры. Если по какой-нибудь причине кабели должны быть уложены при более низких температурах, кабельные барабаны должны быть нагреты заранее, а кабели необходимо быстро уложить, прежде, чем они остынут ниже минимально допустимой температуры.

Прокладка кабелей при низких температурах

Прокладка кабелей без предварительного прогрева разрешается при следующих температурах: для кабелей с ПВХ оболочкой – не ниже минус 5°C ; для кабелей с ПЭ – оболочкой – не ниже минус 10°C .

При температурах от минус 5°C до минус 15°C (для кабелей с ПВХ оболочкой), и от минус 10°C до минус 20°C (для кабелей с ПЭ оболочкой) прокладка кабеля допускается только после предварительного прогрева кабеля.

Для прогрева барабанов с кабелем должен быть сооружен тепляк с обогревом печами или тепло-вентиляторами. Не допускается обогрев с применением открытого огня.

Продолжительность прогрева кабеля в тепляке при температуре плюс $25 - 40^{\circ}\text{C}$ не менее 18 часов. Контроль температуры должен производиться термометром, установленным на витках кабеля.

Прокладка должна быть выполнена после прогрева в срок не более указанного в табл. 4.2 и 4.3, после чего кабель должен быть немедленно засыпан первым слоем песчано-гравийной смеси или разрыхленного грунта (в случае прокладки в земле).

Прокладка кабелей при температуре ниже минус 20°C запрещается.

Во всех случаях температура и технология прогрева определяются с учетом размеров барабанов с кабелем, а также погодных условий и согласовываются с ГК «Севкабель»

Кабели с наружной оболочкой из ПВХ пластика стойки к воздействию пониженной температуры окружающей среды до минус 50°C , с наружной оболочкой из полиэтилена – до минус 60°C .

ГЛАВА 4. МОНТАЖ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 110-220 кВ

Таблица 4.2. Максимально допустимое время на прокладку кабеля τ , [мин] с предварительным подогревом в зависимости от температуры наружного воздуха T , [°C] и температуры наружных витков кабеля на барабане Θ , [°C] (для кабелей с ПЭ-оболочкой)

		Температура наружного воздуха, T [°C]										
		-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20
Температура наружных витков кабеля на барабане, Θ [°C]	-10	30 мин										
	-5	35 мин	30 мин									
	0	40 мин	35 мин	30 мин								
	+5	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин							
	+10	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин						
	+15	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин					
	+20	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин				
	+25	75 мин	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин			
	+30	90 мин	75 мин	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин		
	+35	105 мин	90 мин	75 мин	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин	
	+40	120 мин	105 мин	90 мин	75 мин	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин

Прокладка кабеля запрещена

Таблице 4.3. Максимально допустимое время на прокладку кабеля τ , [мин] с предварительным подогревом в зависимости от температуры наружного воздуха T , [°C] и температуры наружных витков кабеля на барабане Θ , [°C] (для кабелей с ПВХ-оболочкой)

		Температура наружного воздуха, T [°C]										
		-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15
Температура наружных витков кабеля на барабане, Θ [°C]	-5	30 мин										
	0	40 мин	35 мин	30 мин								
	+5	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин							
	+10	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин						
	+15	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин					
	+20	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин				
	+25	75 мин	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин			
	+30	90 мин	75 мин	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин		
	+35	105 мин	90 мин	75 мин	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин	
	+40	120 мин	105 мин	90 мин	75 мин	60 мин	55 мин	50 мин	45 мин	40 мин	35 мин	30 мин

Прокладка кабеля запрещена

Минимальный радиус изгиба

Минимальный радиус изгиба кабелей при прокладке должен быть не менее $15 D_n$, где D_n – наружный диаметр кабеля. С использованием специального шаблона при условии предварительного подогрева кабеля до $20-30^\circ\text{C}$ допускается минимальный радиус изгиба не менее $7,5 D_n$.

Прокладка кабеля в земле

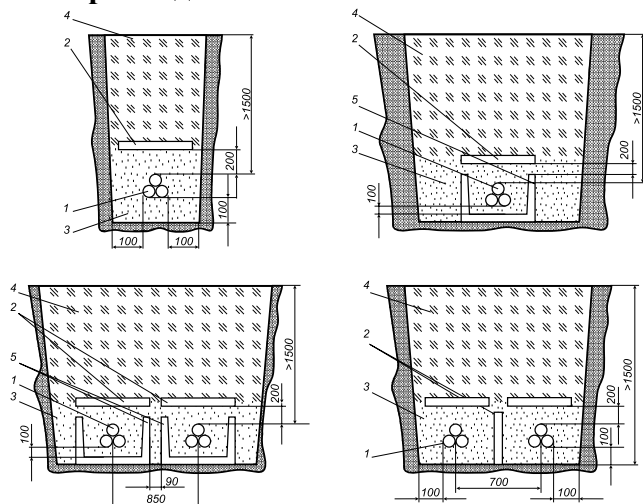


Рис. 4.2 Прокладка кабелей в траншее

- 1 – кабель
- 2 – ж/б плита
- 3 – песчано-гравийная смесь
- 4 – грунт, 5 – стенки лотков

При прокладке кабелей в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать не более шести кабелей. При большем количестве кабелей рекомендуется прокладывать их в отдельных траншеях или в каналах, туннелях, по эстакадам и в галереях.

Кабели должны быть проложены на глубине не менее 1,5 м. Допускается уменьшение глубины прокладки до 0,6 м при условии защиты кабеля от внешних механических воздействий. Расстояние между цепями и другими кабельными линиями должны быть не менее 0,8 м. Кабели могут быть проложены на трассах без ограничения разности уровней.

Маршрут и подготовка трассы кабельной линии, глубина заложения кабелей, расстояние между отдельными линиями определяется при проектировании в соответствии с ПУЭ. В случае отсутствия соответствующих нормативов в действующей документации необходимо согласовать условия прокладки с заводом-изготовителем кабеля.

Прокладка кабелей в туннелях, по эстакадам и галереям рекомендуется при количестве кабелей, идущих в одном направлении более двадцати.

Прокладка кабелей в железобетонных лотках применяется для обеспечения механической за-

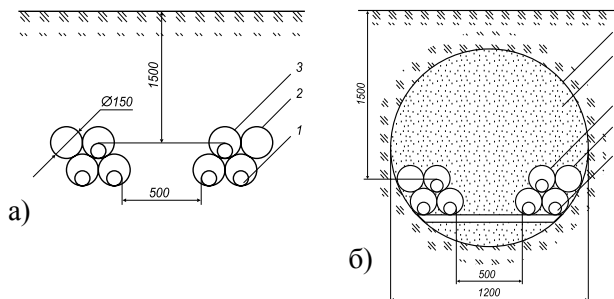


Рис. 4.3 Прокладка кабелей под дорогой

а) Проход в трубах под автодорогой

- 1 – кабель;
- 2 – резервная асбоцементная труба;
- 3 – асбоцементная труба.

б) Проход в трубах под железной дорогой

- 1 – стальная труба;
- 2 – бетон;
- 3 – резервная асбоцементная труба;
- 4 – кабель;
- 5 – асбоцементная труба.

щиты кабеля при наличии растягивающих усилий в грунте, при разжижении и смещении слоев грунта, в болотистой местности.

При прокладке кабельных линий в земле, кабели прокладываются в траншеях и должны иметь снизу подсыпку, а сверху засыпку из песчано-гравийной смеси. Кабели на всем протяжении должны быть защищены от механических повреждений железобетонными плитами или кирпичами, а также проложенными на 500 – 800 мм выше кабеля пластмассовыми сигнальными лентами. В случае использования железобетонных лотков, в железобетонных лотках выполняется подсыпка из песчано-гравийной смеси, толщиной не менее 100 мм. После прокладки кабелей в лотке сверху выполняется засыпка песчано-гравийной смесью, на высоту не менее 200 мм от верхнего края кабеля. Сверху лотки закрываются крышками. Допускается выполнять засыпку в лотках выше краев стенок лотка на 5 см.

Для защиты кабелей при пересечении дорог, инженерных сооружений и естественных препятствий должны применяться трубы (асбоцементные, керамические, пластмассовые или из иного немагнитного материала). Допускается при прокладке

трех фаз одной цепи в одну трубу использование металлической трубы. в этом случае рекомендуется поместить внутрь металлической трубы три пластмассовых трубы, которые при тяжении кабеля защитят его от зацепления за края металлической трубы.

Внутренний диаметр трубы при прокладке одного кабеля должен быть не менее 1,5 DN. Внутренний диаметр трубы при прокладке трех кабелей треугольником должен быть не менее 2.6 DN.

При прокладке кабелей с ПЭ оболочкой на воздухе в кабельных сооружениях и производственных помещениях проектом должно быть предусмотрено нанесение огнезащитных покрытий на оболочку.

Прокладка кабеля в туннелях

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

Перед прокладкой в туннеле (галерее) должны быть установлены конструкции для крепления кабелей и каркасы противопожарных перегородок. Сварка в туннеле (галерее) после прокладки кабелей запрещена.

Крепление кабелей должно быть выполнено таким образом, чтобы не допускать деформации кабелей под действием собственного веса, а также в результате механических напряжений, возникающих при циклах «нагревохлаждение» и при электромагнитных взаимодействиях при коротких замыканиях.

Проходы кабелей через стены, перегородки и перекрытия должны осуществляться через отрезки асбестоцементных, пластмассовых труб

Прокладка кабелей в трубах выполняется в местах пересечения кабельной линии с дорогами, инженерными сооружениями и естественными препятствиями.

Прокладка кабеля одной фазы в металлической трубе из магнитного материала (стали, чугуна) запрещается!

Для защиты кабелей в местах пересечений с дорогами, инженерными сооружениями и естественными препятствиями должны быть применены трубы. Случаи, когда требуется прокладка кабеля в трубах, перечислены в ПУЭ.

Внутренний диаметр трубы для прокладки одного кабеля должен быть не менее 1,5 D, где D-наружный диаметр кабеля.

При проектировании прокладки кабеля в трубе, исходя из конструктивных параметров кабеля и условий прокладки, должна быть определена общая длина трубы. Длина определяется с учетом необходимой пропускной способности кабельной линии, конструктивных особенностей трассы, диаметра и состояния внутренней поверхности трубы. Кроме того, при определении длины трубы, следует учитывать предельно допустимые усилия тяжения.

Для уменьшения усилий тяжения при протягивании кабелей через трубы следует покрывать поверхности кабелей смазкой, не содержащей веществ вредно действующих на оболочку кабелей (для кабелей с ПЭ оболочкой возможно использовать технический вазелин; для кабелей с ПВХ оболочкой – тавот, солидол, технический вазелин).

Для этих же целей вместо смазки возможно проливать через трубы воду.

При протяжке в трубу трех фаз кабеля запрещается последовательная протяжка отдельных кабелей с использованием стального троса из-за возможности повреждения тросом уже проложенных кабелей. При длине труб до 20 м возможна последовательная протяжка отдельных кабелей вручную с использованием веревки.

Скорость протяжки должна быть не более 10 м/мин и кабель необходимо протягивать по возможности без остановок.

Если внутри металлической трубы находятся три пластмассовых, необходимо обеспечить их надежную фиксацию.

Прокладка в горной местности

Для прокладки непосредственно в грунте в гористой местности предлагаем кабель марки (А) ПвПу2г, с оболочкой толщиной 6 мм или с ребрами жесткости. Трасса прокладки кабелей и способ производства земляных работ определяются рабочими чертежами.

На склонах оврагов и подъемах с уклоном более 30° траншея роется зигзагообразно.

Разработка траншеи. Глубина траншеи определяется проектом и, как правило, должна быть в обычных грунтах не менее 0,9 м, а в скальных грунтах (при выходе скалы на поверхность) — не менее 0,6 м. Высоковольтные кабели прокладывают на глубину 1,5 м, чем обеспечивается их более надежная защита от механических повреждений. При необходимости прокладки кабеля на меньшей глубине применяют дополнительную защиту от механических повреждений железобетонными плитами, лотками и т. п. Минимальная ширина траншей

по дну — 0,4 м для кабелей проложенных вплотную треугольником (одноцепная кабельная линия). При прокладке кабеля в железобетонном лотке — ширина траншеи от 0,6 м (ширина лотка). Ширину траншей по верху определяют с учетом глубины и допустимого угла откоса. Если трасса кабеля проходит по склонам, траншею роют зигзагом с плавными закруглениями поворотов, чтобы уменьшить растягивающие усилия на оболочке кабеля, возникающие при оползнях и других смещениях грунта на склонах оврагов, лощин и т. п. Дно траншеи должно быть ровным и очищенным от камней. В местах изменения глубины траншеи, вызванного наличием на трассе прокладки посторонних сооружений, переходы от одной глубины к другой выполняют по плавной кривой.

В каменистых и скальных грунтах устраивают постель и подушку из просеянной земли или песка толщиной не менее 10 см. Кабель укладывают по середине траншеи свободно, без натяжения. Несколько кабелей в одной траншее укладывают параллельно, не допуская перекрещивания. Кабель по трассе не должен иметь изгибов, радиус которых меньше 15 диаметров кабеля. Встречные концы кабелей на стыке строительных длин должны перекрывать друг друга не менее, чем на 1,5 м. Этот запас нужен для проверки кабелей и монтажа муфт.

Крепление кабеля должно быть произведено к сваям или фундаменту (закрепленным в стабильном грунте) в верхних и нижних точках полуокружностей зигзагов кабельной трассы.

Проложенный кабель засыпают песком или мягким грунтом на высоту 20 см. Дальнейшую засыпку выполняют ранее вынутым грунтом. Ни один участок кабеля не должен после окончания рабочего дня оставаться открытым в траншее или на ее бровке без засыпки, присыпки или иной временной защиты от возможных механических повреждений.

После прокладки кабельной линии необходимо применить противооползневые меры:

Геосетка, обсадка кабельной трассы кустарником.

Прокладка кабелей в вечномерзлых грунтах

Глубина прокладки кабелей в вечномерзлых грунтах определяется при проектировании кабельной линии с учетом конкретных грунтовых и климатических условий. Местный грунт, используемый для обратной засыпки траншей должен быть размельчен и уплотнен. Наличие в траншее льда и снега не допускается. Грунт для насыпи следует

брать из мест, удаленных от оси трассы кабеля не менее чем на 5 м. Грунт в траншее после осадки должен быть покрыт мохоторфяным слоем. в качестве дополнительных мер против возникновения морозобойных трещин следует применять:

- засыпку траншеи с кабелем песчаным или гравийно-галечным грунтом;
- устройство водоотводных канав или прорезей глубиной до 0,6 м, расположенных с обеих сторон трассы на расстоянии 2-3 м от ее оси;
- обсев кабельной трассы травами и обсадку кустарником.

Прокладка кабеля открытым способом, по конструкциям, в воздухе

Кабели в кабельных сооружениях рекомендуются прокладывать целыми строительными длинами, избегая применения соединительных муфт. Соединительные муфты кабелей должны быть расположены таким образом, чтобы доступ к ним был максимально удобен. Крепление кабеля к конструкциям должно осуществляться соответствующими крепежами с шагом креплений не более 1,0 м. При согласовании с ГК «Севкабель» возможно увеличение шага крепления до 2,5-3 м.

Воздушный кабель

Провисание воздушных кабелей, как правило, регулируется до 5 % от длины трассы. Расстояние между местами крепления кабеля должны быть запланированы в соответствии с профилем трассы, чтобы выдерживать необходимую высоту конструкции над уровнем земли. Воздушные кабели должны быть оборудованы растяжками, которые будут нести как вес кабеля, так и любую дополнительную нагрузку, такую как снег, лед или ветер. На опорах, находящихся у поворота трассы должны быть хомуты для окончательного регулирования ее наклона.

4.5 Монтаж арматуры и комплектующих

Тип кабельной арматуры согласовывается с заводом производителем кабеля. Монтаж концевых, соединительных или транспозиционных муфт должен производиться специалистами, прошедшими обучение по данному виду работ в учебном центре предприятия-изготовителя муфт и имеющих соответствующие сертификаты. Допускается монтаж муфт специалистами, имеющими опыт монтажа аналогичной продукции под руководством шеф-инженера фирмы-производителя оборудования или другой организации по согласованию с ГК «Севкабель» и производителями и арматуры.

Для монтажа концевых заделок кабель должен быть предварительно подготовлен к установке ко-



Рис. 4.2 Кабельные муфты

нуса регулирования напряжения надвига в соответствии с указаниями по соединениям. Для этого наружная оболочка, включая алюминиевую фольгу, набухающий материал и подушку, должна быть удалена, а проволока экрана отогнута. Внешний полупроводящий слой отделяется специальным инструментом, а переходный участок сглаживается. Конус, регулирующий напряжение, натягивается на смазанный, чтобы уменьшить трение, сердечник. Затем изолятор (фарфоровый, из литевой смолы или стеклопластика) натягивается, закрепляется и заполняется силиконовым маслом. Воздушный мешок, оставшийся в электрически некритической зоне вверху концевой заделки, служит в качестве подушки для расширения масла при вертикальной установке. При работе в горизонтальной позиции или верхней частью вниз – необходим резервуар для расширения.

Для монтажа муфт оба конца кабеля должны быть подготовлены одинаковым образом. После выполнения изоляции проволоки экранов двух кабельных концов соединяются. Продольная и поперечная водонепроницаемость достигается укладкой водонабухающего материала и алюминиевой фольгой. Муфта защищается термоусаживаемой трубкой и/или другим защитным покрытием. Экран, включая алюминиевую фольгу, соединяется с потенциалом Земли. После завершения монтажа вся кабельная цепь подвергается испытанию на напряжение, чтобы гарантировать готовность к эксплуатации.

Общие требования к организации площадки

Монтаж муфт осуществляется только после полного окончания прокладки кабеля или его участков, а также строительных работ проведение которых могут привести к смещению кабеля. До начала монтажа кабельных муфт кабель должен

быть проложен с учетом необходимого запаса по трассе и перед муфтами.

Площадка для монтажа муфт должна быть обеспечена:

- временным сооружением (палаткой, тентом и т.п.) для защиты площадки от воздействия окружающей среды. Временное сооружение устанавливается вне помещений для соединительных муфт во всех случаях, для концевых муфт при возможности атмосферных осадков или температуры $\leq(+15^{\circ}\text{C})$ или влажности $\geq 60\%$;
- электроснабжением для обеспечения работы электроинструмента;
- освещением, достаточным для проведения точных монтажных работ;
- обогревом для поддержания необходимой температуры и влажности;
- необходимым количеством средств пожаротушения (огнетушителями).

Монтаж концевых и штекерных муфт

- Кабель должен быть выведен над верхней монтажной площадкой на высоту не менее 3 м.
- Конструкция под установку концевых муфт должна обеспечивать необходимую прочность, предусматривающую вес оборудования, ветровую нагрузку, нагрузку вызванную динамическим действием токов короткого замыкания, сейсмическую нагрузку.
- В опорных конструкциях должны быть исключены замкнутые магнитные контуры.
- Опорная конструкция должна предусматривать как минимум две точки крепления кабеля: первая на расстоянии 0,5–1 м от основания муфты, следующая точка крепления должна быть на расстоянии 1 м ниже места первого крепления. Кабельные зажимы выбираются из раздела 4.7 этого каталога.
- Опорная конструкция должна иметь контур заземления или быть соединена с контуром заземления электроустановки.
- Присоединение муфт к шинам распределительного устройства должно производиться с помощью аппаратных зажимов обеспечивающих минимальное переходное сопротивление. Аппаратные зажимы выбираются из каталогов производителей арматуры.
- Для монтажа концевых муфт должны быть сооружены временные платформы. Платформа должна представлять собой временное прочное сооружение с возможностью подъема на нее, ограждениями, легкоосъемной крышей на слу-

чай атмосферных осадков. Расстояние от пола платформы до крыши должно быть не менее 3,5 м. Площадь платформы определяется местными условиями, но должна предусматривать нестесненную работу 3 человек, складирование инструмента и комплектующих муфты.

- Монтаж изоляторов и адаптеров штекерных муфт осуществляет персонал, отвечающий за монтаж распределительного устройства или трансформатора.
- После проведенного монтажа и необходимых испытаний муфта должна быть заземлена, посредством присоединения плиты-основания муфты к заземляющему контуру электроустановки.
- Кабельная линия должна быть защищена ограничителями перенапряжений, которые устанавливаются максимально близко к защищаемой линии. Тип и марка ОПН подбираются из каталога фирм производителей.

Монтаж соединительных муфт

- Соединяемые участки кабеля должны располагаться с минимальным перекрытием 2 м.
- При монтаже кабельных муфт вне помещений должно быть установлено временное сооружение независимо от атмосферных условий.
- При монтаже соединительных муфт в кабельном сооружении полки, кабельросты кронштейны должны быть рассчитаны на вес кабеля с муфтой.
- Изгиб или провисание кабеля в районе муфты или непосредственно возле нее не допускается.
- При монтаже соединительных муфт в кабельном сооружении кабель должен быть закреплен с двух сторон от муфты на расстоянии не более 1 м.

Установка шкафов заземления экранов

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

Опираясь на опыт эксплуатации КЛ 110 кВ, сообщаем, что установка шкафа заземления экрана кабеля без ОПН более целесообразна на опоре с минимальным сопротивлением контура заземления, т.к. при возникновении перенапряжения на экране кабеля ток распространяется по пути минимального сопротивления. В связи с этим во избежание повреждения ОПН, шкаф заземления экрана кабеля с ОПН необходимо установить на противоположной опоре. При одинаковой величине сопротивления контура заземления на обеих опорах,

определение конкретной опоры для установки шкафов заземления не принципиально.

Шкаф заземления экранов со встроенными ограничителями перенапряжений устанавливается со стороны опоры, обратной кабельному заходу на опору. Высота установки шкафов заземления выбирается таким образом, чтобы обеспечить удобство обслуживания. В случае наличия опасности доступа посторонних к месту установки, рекомендуется устанавливать шкафы на высоте от 3 до 5 м от нулевого уровня опоры.

4.6. Комплексная система обеспечения безопасности эксплуатации высоковольтных кабельных линий.

Общие положения

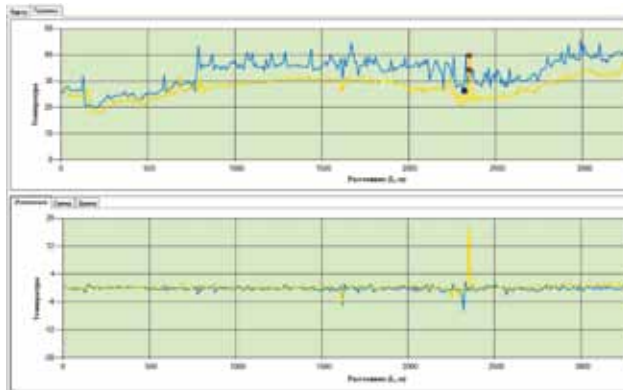
Данная система поставляется заводом изготовителем кабеля в комплекте с кабелем специальной конструкции на основании согласованных опросных листов по каждой кабельной линии. Монтаж данного оборудования выполняется согласно заводской инструкции по монтажу обученным персоналом.

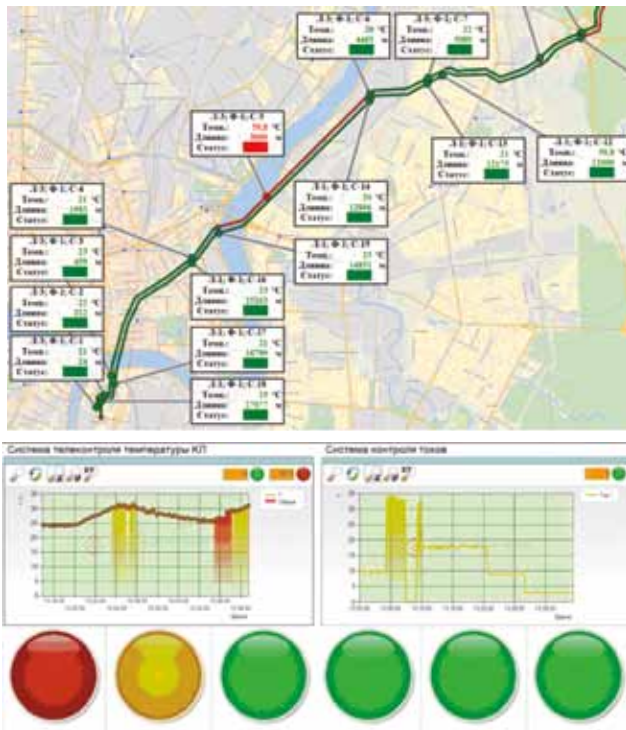
Данная система позволяет проводить: Мониторинг в режиме реального времени:

- Температура высоковольтного кабеля, C°
- Токи в экранах кабельной линии, А;
- Целостность высоковольтного кабеля;
- Частичные разряды в концевых кабельных муфтах.

Анализ данных:

- Расчет температуры жилы высоковольтного кабеля;
- Картографическое отображение состояния кабельной линии;
- Прогноз нагрузки кабельной линии;
- Прогноз частичных разрядов концевых кабельных муфт;
- Предотвращение аварийных ситуаций.





Визуализация данных:

- Формирование и передача диспетчеру по стандартным протоколам ТелеСигналов и ТелеИзмерений о состоянии кабельной линии;
- Оповещение о перегревах, перегрузках и предаварийных ситуациях.

4.7 Крепежный материал

Для обеспечения качественного и надежного монтажа кабельных линий рекомендуется использовать дополнительные материалы для монтажа кабельных линий:

- кабельные зажимы для крепления кабеля;
- термоусаживаемые уплотнители для герметизации трубной прокладки кабельных линий;

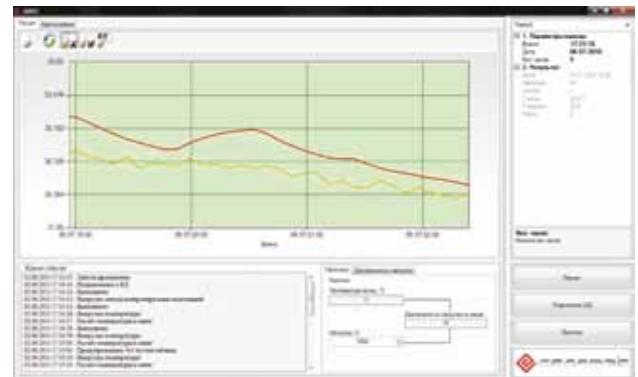
Высоковольтные кабельные крепления.

Применение

Крепления кабелей к металлоконструкциям

Кабельные крепления предназначены для надежного крепления кабеля к конструкциям (опорам, эстакадам, кронштейнам, полкам, кабель-ростам и т.п.) вдоль кабельной трассы, а также в обязательных местах крепления кабеля (возле муфт, в местах поворотов и сходов с конструкций).

Зажимы должны быть изготовлены из специальных ударостойких прочных полимеров и рассчитаны на длительный срок эксплуатации в условиях наружной и внутренней установки. Изделие обладает стойкостью к атмосферным воздействи-



Период: 08.07.2016 16:33:37

Имя	Температура (°C)	Плотность (г/см³)	Начало (°C)	Положительный ИОН (Т/к)	Отрицательный ИОН (Т/к)
Ав.21	101	101	102	701	801
Ав.22	104	106	106	701	801
Ав.23	108	109	106	702	802
В4ДТ1	112	113	113	703	803
В4ДТ2	116	117	117	704	804
В4ДТ3	120	121	122	706	806

ИП: **** Шифр: 2405 АДЮИ 3 12 10 30 15 10 20

Сохранить

ям, к воздействию масел и других нефтепродуктов, к солнечной радиации и ультрафиолетовому излучению, стойкостью к воздействию озона.

Климатическое исполнение У, УХЛ, категории размещения 1 и 2 по ГОСТ 15150-69. Применяются при температуре окружающего воздуха от минус 60 до плюс 60°C и относительной влажности воздуха до 98 % при температуре плюс 25°C, имеет простую и надежную конструкцию позволяющую производить их установку и демонтаж без специального инструмента. Крепления должны выдерживать значительные динамические усилия, возникающие при коротких замыканиях. Монтаж кабеля при помощи ВКК может проводиться к металлоконструкциям с различными углами наклона. Изделия могут также применяться для строительства вертикальных участков кабельных трасс. Допускается также по согласованию с производителем ВКК крепление кабеля путем подвеса под полкой. При этом обязательно использование эластичных прокладок из кремнийорганической резины (силикон) или другого эластичного материала (листовая резина, листовый поливинилхлорид и т.д.) для предотвращения выскальзывания кабеля и защиты оболочки. Прокладки должны выступать за края хомутов или скоб по ширине на 5-8 мм. Допускается использование хомутов или скоб из немагнитных материалов (например, алюминиевые скобы).

Внешний вид и размеры

Крепление представляет собой два взаимозаменяемых хомута, изготовленные из полиамида черного цвета. Хомуты снабжены ребрами жесткости, обеспечивающими механическую прочность и стойкость к ударным нагрузкам. Лапы хомутов с двух сторон имеют отверстия для крепления изделия к несущим металлоконструкциям. Крепление выпускается в различных модификациях. Внешний вид и габаритные размеры изображены на рисунке 4.3.

Наименование	L мм	l мм	h мм	a мм	b мм	R	d мм
ВКК-65/90	175	140	50	19	14	46	13
ВКК-80/105	185	150	64	20	14	53	13
ВКК-100/125	214	170	67	20	14	63	13
ВКК-125/150	234	170	81	20	14	75	13

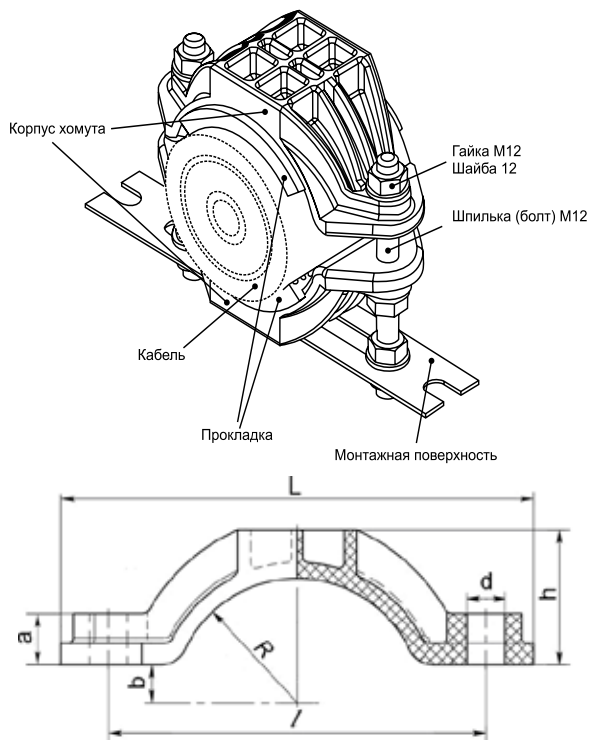


Рис. 4.3. Внешний вид и габаритные размеры (мм)

Силиконовая прокладка

Прокладка используется при прокладке кабеля на вертикальных участках, с целью предотвращения выскальзывания кабеля. Прокладки изготовлены из кремнийорганической резины (силикон).

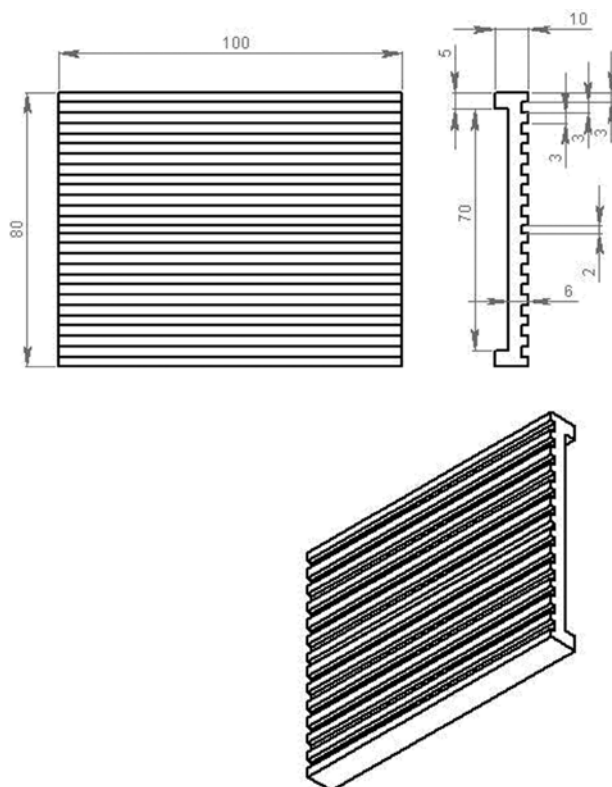


Рис. 4.4 Прокладка ПСТ-80

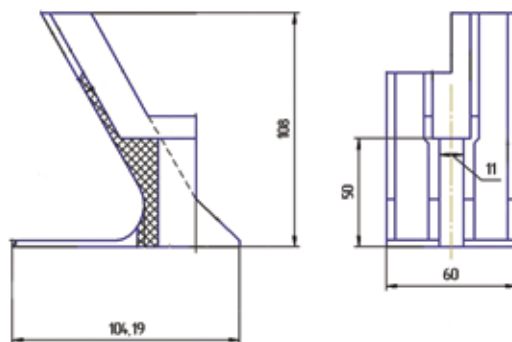


Рис. 4.5. Внешний вид и габаритные размеры УКК-60 (мм)

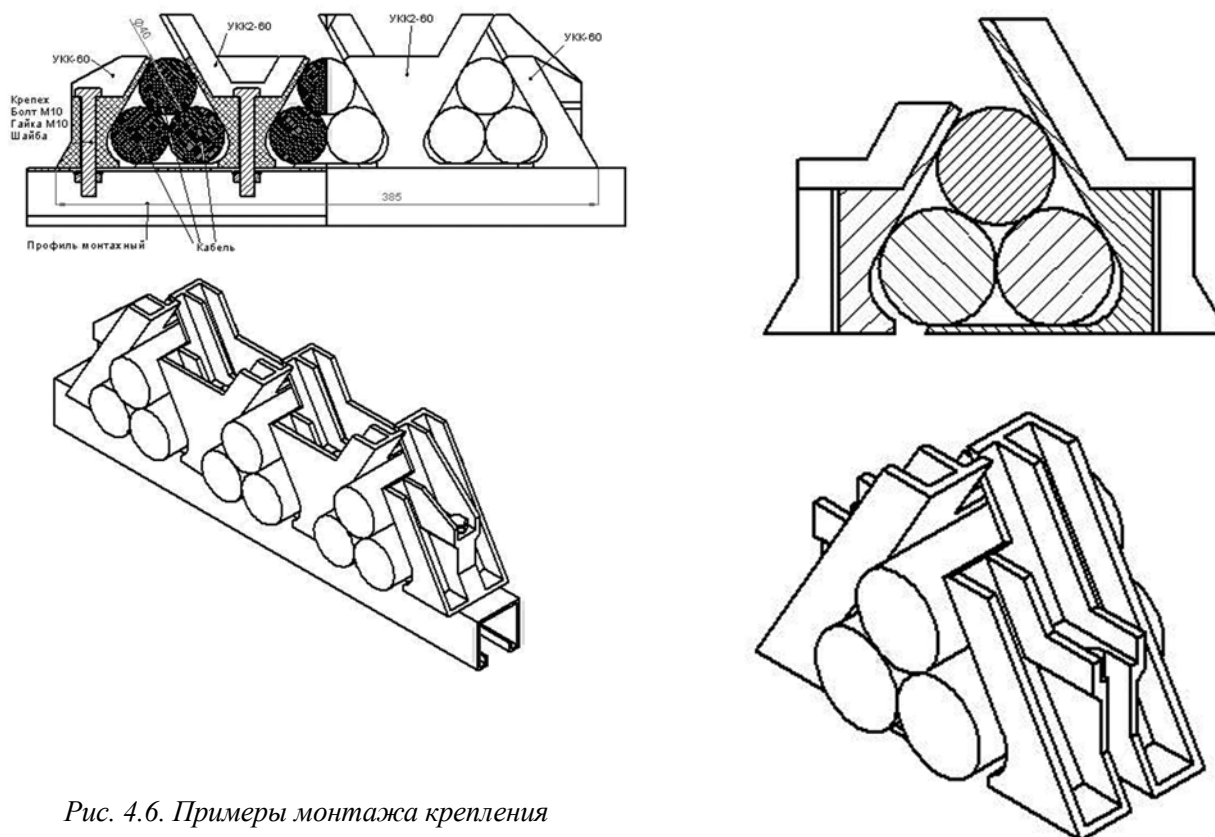


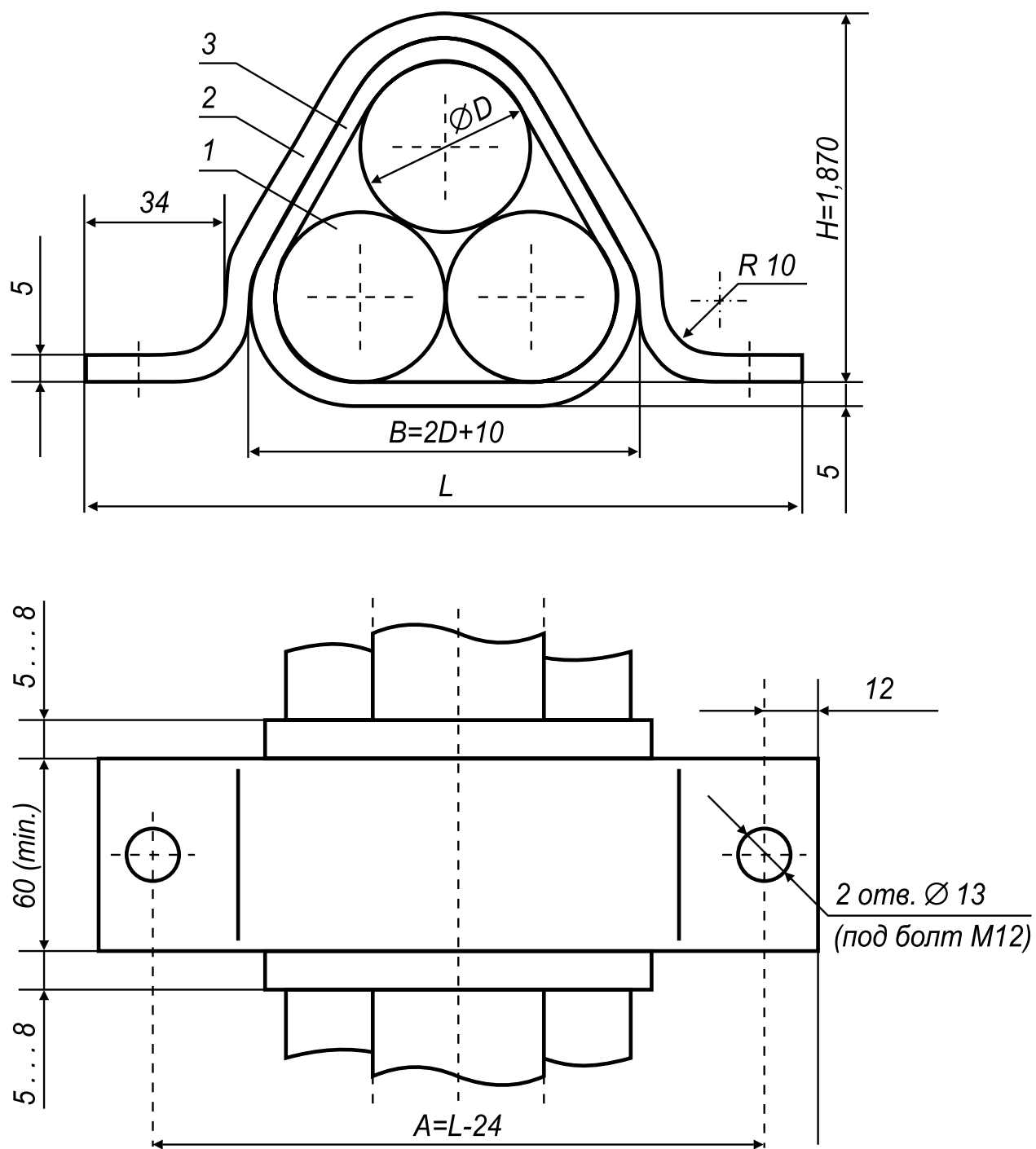
Рис. 4.6. Примеры монтажа крепления

Универсальные кабельные крепления.

Вокруг отдельно взятых кабелей (не соединенных в треугольник) недопустимо создание замкнутого магнитного контура из магнитных материалов (например из стали). При протекании электрического тока по кабелю в месте, где имеется замкнутый магнитный контур, будет происходить перегрев кабеля, что вызовет ускоренное старение изоляции, и приведет к повреждению кабеля. Это необходимо учитывать при выборе материала труб, выборе крепления кабелей к металлоконструкции, креплению бирок на кабель. Крепление кабелей не соединенных в треугольник к металлоконструкциям необходимо осуществлять скобами, хомутами из немагнитных материалов (например алюминиевыми скобами).

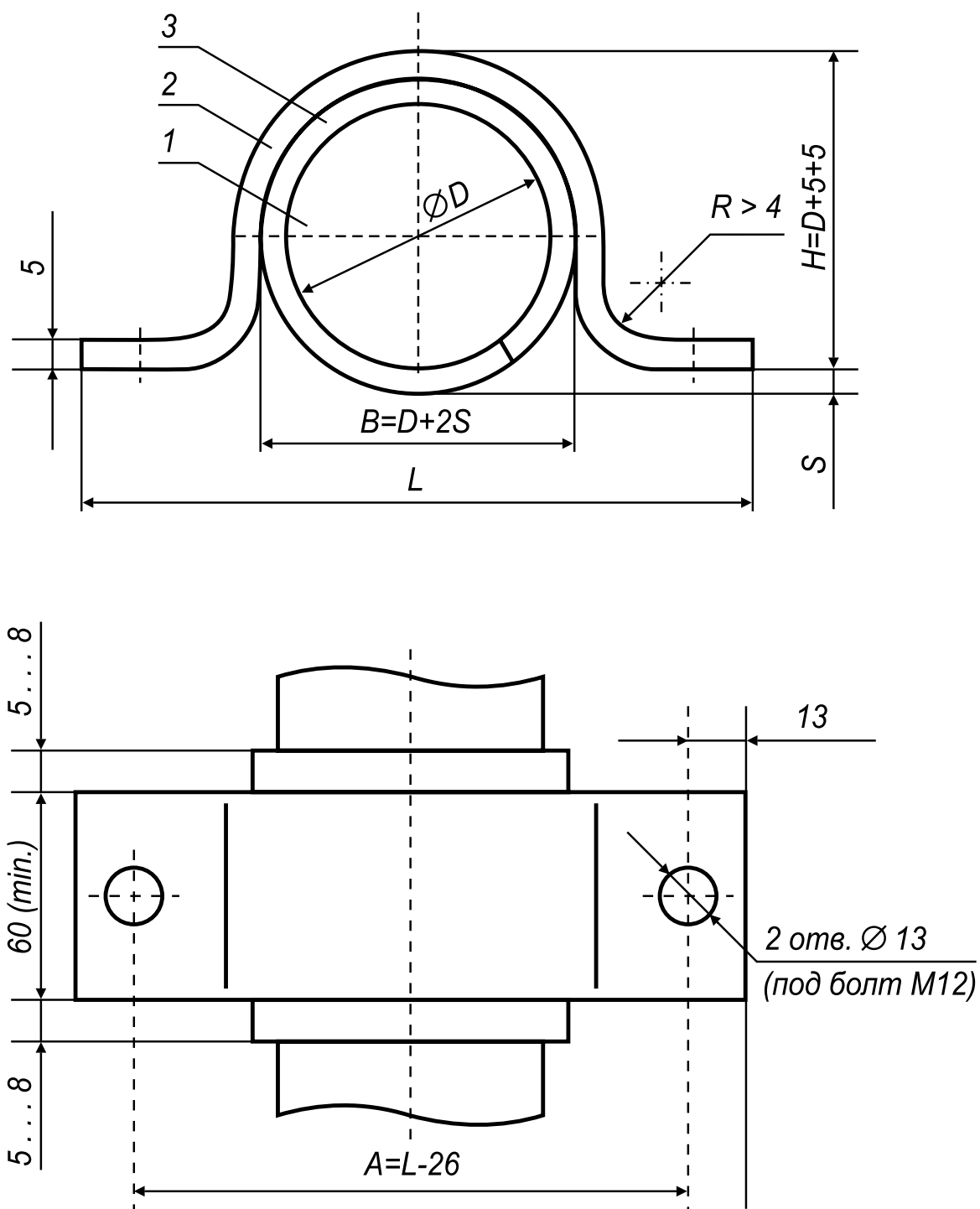
Для скрепления кабелей трех фаз одной кабельной линии в треугольник допускается использование хомутов или скоб из магнитных материалов (например стали). При этом обязательно использование эластичных прокладок для защиты оболочки кабеля. Прокладки должны выступать за края хомутов или скоб по ширине на 5-8 мм. Примеры крепления кабелей приведены на рисунках.

Крепление кабелей должно осуществляться таким образом, чтобы предотвратить деформацию кабелей и муфт под действием собственного веса кабеля, или в результате действия механических напряжений, возникающих при циклах нагрева и охлаждения и при магнитных воздействиях во время коротких замыканий.



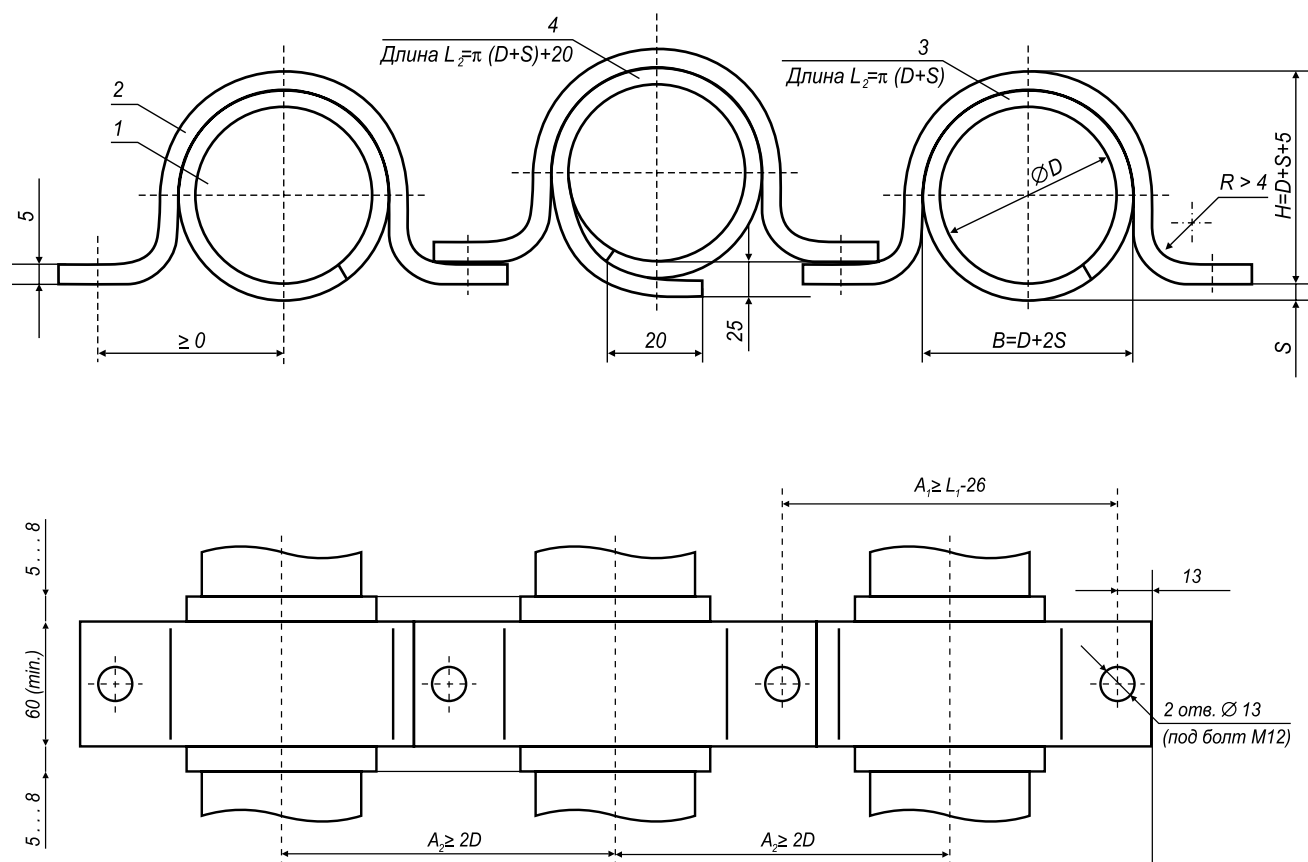
- 1- кабель
- 2- прокладка
- 3- скоба

Рисунок 4.7. Крепление трёх кабелей в связке на металлоконструкции.



- 1- кабель
- 2- прокладка
- 3- скоба

Рисунок 4.8. Крепление одного кабеля к металлоконструкции.



- 1- кабель
- 2- прокладка
- 3- скоба

Рис.4.9. Крепление трёх кабелей к металлоконструкции.

4.8 Испытание после монтажа.

В кабельных линиях с изоляцией из сшитого полиэтилена испытаниям подвергаются главная изоляция и оболочка кабеля.

Испытания должны проводиться после прокладки, монтажа кабельной арматуры, перед вводом в эксплуатацию кабельной линии, а также после ремонта.

При испытаниях необходимо применять неразрушающий метод диагностики силовых кабельных линий (метод измерения частичных разрядов).

В настоящее время в России лаборатории с возможностью испытания высоковольтных КЛ методом частичных разрядов имеются только у заводов изготовителей. Каждая строительная длина произведенного кабеля проходит испытания согласно стандартам МЭК 60840.

Для своевременного обнаружения возможных повреждений испытания оболочек проводить сразу после прокладки строительных длин на участках между колодцами или на отдельных участках кабельной линии с проложенным кабелем и смонтированными муфтами. До испытаний на концевых участках наружной оболочки кабеля длиной не менее 200 мм должен быть снят электропроводящий слой (при его наличии). Испытания проводятся также после полного монтажа всей кабельной линии. Перед испытаниями также должен сниматься электропроводящий слой с наружной оболочки кабеля (при его наличии) на участках длиной не менее 200 мм у концевых муфт в соответствии с инструкцией по монтажу концевых муфт. Оболочка кабеля должна выдержать испытание напряжением постоянного тока 10 кВ в течение 1 минуты. Испытательное напряжение прикладывается между медным экраном кабеля и заземлителем. После испытания постоянным напряжением необходимо заземлить токопроводящую жилу и медный экран на время не менее 1 ч.

Пластмассовые оболочки кабелей, проложенных на воздухе, не испытывают.

В случае если оболочка кабеля не выдержала испытания или наблюдалось увеличение значения тока утечки более 300 мкА, следует незамедлительно приступить к поиску и устранению повреждения.

При несоблюдении данного требования, завод-изготовитель кабеля вправе снять кабель с гарантии.

В процессе осмотра составляется соответствующий акт и шеф-инженер принимает решение о возможности ремонта оболочки кабеля. Ремонт оболочки кабеля производится в соответствии

п. 4.9. После ремонта испытание необходимо повторить.

После монтажа кабельной линии каждая фаза и смонтированная на ней арматура должны пройти испытание переменным номинальным напряжением частотой 50 Гц.

Испытание изоляции токоведущей жилы кабеля рекомендуется проводить включением кабельной линии в сеть без нагрузки под рабочее напряжение. При отсутствии замечаний к работе линии в течение 24 часов кабельная линия считается прошедшей испытание. При испытании изоляции напряжение прикладывается поочередно к каждой жиле кабеля. При этом остальные жилы и все экраны должны быть заземлены. Допускается одновременное испытание всех трех фаз кабельной линии. При испытании оболочки кабеля напряжение прикладывается между экраном кабеля и землей.

При испытаниях напряжение должно плавно подниматься до максимального значения и поддерживаться постоянным в течение всего периода испытаний. Отсчетное время приложения напряжения считается с момента установления его максимального значения.

Кабельная линия считается выдержавшей испытание, если во время испытаний: не произошло пробоя, а также роста тока утечки в период выдержки под напряжением и не наблюдалось резких толчков тока.

При заметном возрастании тока утечки или появлении толчков тока продолжительность испытания следует увеличить в 2 раза. При дальнейшем нарастании токов утечки или увеличении количества толчков тока испытания следует вести до пробоя кабельной линии.

Не допускается испытание основной изоляции кабеля постоянным напряжением. Недопустимо испытывать изоляцию кабельной линии повышенным напряжением после прокладки, так как повышенное напряжение может привести к ускоренному старению основной изоляции. В случае нарушения данного пункта завод-изготовитель кабеля вправе снять кабель с гарантии.

Диагностика оболочки кабеля проводится перед подключением, затем через 3 года после подключения, а дальше через каждые 5 лет эксплуатации. Если в процессе эксплуатации кабельная линия работает в нормальном режиме, аварийных ситуаций и отключений не происходит, то проведение межремонтных испытаний не требуется.

При отключении линии в результате срабатывания защитной аппаратуры, повторное включение разрешается только после выявления и устранения причин отключения. Операции по включению линий после ремонта или нахождения без напряжения, а также операции по переключению разъединителями и выключателями должны осуществляться при введенной в работу релейной защите.

Продолжительность работы кабеля в режиме перегрузки должна быть не более 100 ч за год и не более 1000 ч за срок службы.

Периодически должны производиться контрольные осмотры кабельных линий инженерно-техническим персоналом. Внеочередные осмотры производятся в период паводков и после ливней, а также при отключении кабельной линии релейной защитой. О выявленных при осмотрах нарушениях на кабельных линиях должны быть сделаны записи в журнале дефектов и неполадок. Нарушения должны устраняться в сроки, установленные техническим руководителем энергообъекта.

Срок службы кабелей – не менее 30 лет при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации. Срок службы исчисляют с момента ввода кабелей в эксплуатацию. Фактический срок службы кабелей не ограничивается указанным сроком службы, а определяется техническим состоянием кабеля.

Гарантийный срок эксплуатации – 5 лет. Гарантийный срок исчисляют с момента ввода кабелей в эксплуатацию, но не позднее 6 месяцев с даты изготовления. Изготовитель дает гарантию на кабель при соблюдении потребителем условий транспортирования, хранения, монтажа и эксплуатации.

После испытания оболочки, проложенный в траншее кабель засыпать первым слоем земли, уложить механическую защиту (плиты, кирпичи) или сигнальную ленту.

Сразу по окончании присыпки кабеля производится осмотр кабельной трассы с составлением акта на скрытые работы. В приемке трассы и подписании акта участвуют:

- Представитель заказчика;
- Представители электромонтажной и строительной организации;
- Представители организаций осуществляющей монтаж и шеф-монтаж муфт;
- Представитель ГК «Севкабель» (шеф-инженер).

После подписания акта на скрытые работы производится окончательная засыпка траншеи. **Засыпка трассы комьями мёрзлой земли, грун-**

том, содержащим камни, куски металла и т.п., не допускается.

Каждая кабельная линия должна иметь свой номер или наименование и промаркирована в соответствии с требованиями ПУЭ.

В случае наличия оптоволоконного модуля, необходимо после монтажа произвести его испытания с помощью рефлектометра. При этом должны проверяться следующие параметры:

- проверка целостности оптоволоконной линии;
- измерение коэффициента затухания (дБ/км). Максимально допустимая величина затухания при длине волны 1300 нм не должна превышать 0,7 дБ/км (для многомодового оптоволоконного кабеля). Максимальный коэффициент затухания на сварочном стыке не должен превышать 0,3 дБ. Испытания должны производиться в присутствии шеф-инженера.

4.9 Ремонт оболочки кабелей.

Ремонтные работы требуют определенных мер безопасности. Вход влаги в систему должен быть строго исключен. После обнаружения повреждения, это место должно быть немедленно загерметизировано. Ленты или термоусадочные трубы должны быть помещены непосредственно на изоляцию, тем самым гарантируя герметичность. Размер земляных работ для ремонта должен быть достаточно большим для облегчения ремонтных работ при данных условиях. Перед началом любого ремонта необходимо убедиться, что влага не попала в кабельную систему.

Для ремонта оболочек кабелей рекомендуется использовать термоусаживаемые манжеты фирмы «Райхем» длиной 1500 (750)мм различных размеров в зависимости от диаметра ремонтируемого кабеля. (RFSM 125|40-750|123 до усадки 135, после 35 мм)

Основные данные по манжетам приведены в таблице 4.12.

Манжета выбирается по размерам так, чтобы после усадки на кабель ее внутренний диаметр был в пределах от $(D_b + 15\%D_b)$ до $(D_a + 20\%D_a)$.

Допускается использовать равноценные по качеству термоусаживаемые манжеты других производителей.

1. Определить границы места ремонта оболочки кабеля (минимум по 100 мм в обе стороны от краев дефекта). При наличии ребер на оболочке кабеля в месте ремонта – снять ребра по всей окружности.

Таблица 4.12

Наружный диаметр ремонтируемого кабеля, мм	Внутренний диаметр манжеты, мм		Обозначение манжеты для заказа
	До усадки Da (мин.)	После усадки Db (макс.)	
От 17 до 32	54	15	CRSM 53/13-1500/239
От 24 до 50	86	21	CRSM 84/20-1500/239
От 31 до 65	108	27	CRSM 107/29-1500/239
От 33 до 86	144	28	CRSM 143/36-1500/239
От 56 до 120	203	50	CRSM 198/55-1500/239
От 103 до 150	257	91	CRSM 250/98-1500/239

2. Зачистить наждачной бумагой поверхность оболочки и обезжирить ацетоном.

3. Отрезать от манжеты и замка участок равный по длине месту ремонта. Снять с отрезанного участка манжеты защитную пленку и обернуть манжету вокруг кабеля так, чтобы адгезивный подслоя примыкал к оболочке кабеля.

4. Надвинуть на приливы манжеты замок.

5. Легким пламенем газовой горелки усадить манжету на кабель, начиная прогрев с середины стороны противоположной замку.

6. После полной усадки манжеты дополнительно прогреть зону вблизи замка. При правильной усадке из под концов манжеты на оболочку кабеля должен выдавиться в виде ровных валиков клеевой состав. Дать остыть манжете до температуры ниже плюс 35°C.

7. Не допускать до остывания механических воздействий на манжету.

Ремонт с использованием лент RULLE.

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. Длина в рулоне: ленты RULLE 1 – 3,5 м, ленты RULLE 2 – 5,5 м. Определить границы места ремонта оболочки кабеля (минимум по 100 мм в обе стороны от краев дефекта).

При наличии ребер на оболочке кабеля в месте ремонта – снять ребра по всей окружности.

Зачистить наждачной бумагой поверхность оболочки и обезжирить ацетоном.

Наложить с 50% перекрытием два слоя ленты RULLE. Наматывать клеевым слоем к оболочке кабеля, снимая защитную ленту. При намотке ленту следует вытягивать до такой степени, чтобы нарисованные на ее поверхности овалы превратились в круги.

Герметизация концов кабелей

Термоусаживаемые кабельные капы (кабельные оконцеватели) предназначены для герметизации и защиты кабелей во время хранения, транспортировки и прокладки. На внутреннюю поверхность оконцевателей нанесен подслоя термоплавого

Таблица 4.13

Рекомендуемый диаметр кабеля		Обозначение капы ТУ 16.К71-051-89	Номер капы по ТУ 16.К71-051-89	Размеры (мм)	
(мм)	(мм)			Диаметр до усадки (мин.)	Внутренний диаметр после свободной усадки (макс.)
мин.	макс.				
55	70	ОКТ 70/55-170	-	86	50
45	95	ОКТ 90/55-170	№ 15	102	43
95	115	ОКТ 115/75-135	№ 16	126	70
95	115	ОКТ 120/90-190	-	135	80

Таблица 4.14

Рекомендуемый диаметр кабеля		Обозначение капы	Размеры (мм)			
(мм)	(мм)		D		L	W
мин.	макс.		a (мин.)	b (макс.)	(+/-10%)	b (+/-20%)
45	65	102L048-R05/S	75	32	150	3,3
65	95	102L055-R05/S	100	45	162	3,8
95	115	102L066-R05/S	120	70	145	3,8

клея, обеспечивающий полную герметизацию после усадки.

Капы выбираются в зависимости от наружного диаметра кабеля. Рекомендуем использовать капы по ТУ 16.К71-051-89 «Оконцеватели кабельные термоусаживаемые» или капы фирмы «Райхем». Размеры и параметры кап приведены в таблицах 4.13, 4.14

Da: Диаметр до усадки

Db: Диаметр после свободной усадки

Lb: Длина после свободной усадки

Wb: Толщина после свободной усадки

По согласованию с шеф-инженером допускается использовать равноценные капы других производителей.

После ремонта оболочки кабеля в кабельный журнал необходимо внести данные о дате ремонта, месте расположения дефектного участка на трассе, эскиз места ремонта, описание дефекта и проведенных ремонтных работ, а так же наименование монтажной организации и фамилии монтажников.

4.10. Шеф-надзор.

Перечень работ, которые проводятся с обязательным присутствием шеф-инженера:

- контроль за соответствием оборудования для прокладки кабеля в соответствии с требованиями инструкции завода-изготовителя;
- приемка трассы для прокладки кабеля;
- осмотр барабанов с кабелем перед прокладкой;
- контроль за прокладкой кабеля;
- контроль за креплением кабеля согласно проектным решениям;
- контроль за заземлением экрана кабеля согласно проектным решениям;
- контроль за испытанием кабельных линий согласно «Инструкции по прокладке и эксплуатации кабелей на напряжение 110-220 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена»

Шеф-инженеру запрещено руководить любыми работами при прокладке и подготовке трассы. Если бригадира нет, или он не справляется с ситуацией, прокладку следует прекратить, кабель снять с роликов на грунт, основание, лотки, полки (в зависимости от условий прокладки), записать в журнале производства работ остановку работ, сообщить Заказчику.

4.11. «Исполнительная документация»

Перечень документации, которую предоставляет монтажная организация заводу изготовителю:

- ППР;
- Проектную документацию;
- Акт приемки трассы;
- Акты осмотра кабелей на барабанах перед прокладкой;
- Акты прокладки кабелей с копиями диаграмм усилий тяжения при прокладке (в случае выполнения работ по прокладке с помощью лебедки с регистратором параметров тяжения);
- Акты прокладки кабелей с указанием способа прокладки кабеля и способа контроля усилий тяжения кабеля и результатов этого контроля (в случае прокладки кабеля с помощью лебедки без регистраторов параметров усилий тяжения кабеля);
- Акты ремонта оболочки кабеля в случае ее повреждения;
- Акты испытания оболочки кабеля;
- Протоколы проверки целостности и фазировки жил;
- Протоколы измерения сопротивления заземления экрана кабеля;
- Акты испытания основной изоляции кабеля.

Эксплуатация кабельной линии

5.1 Техническое обслуживание

Кабельные системы, использующие полимерную изоляцию являются практически не обслуживаемыми, однако, во время периодических осмотров, проводимых обслуживающим персоналом, желательно проверить кабельные муфты на отсутствие следов компаунда. Уровень компаунда в терминалах должен быть проверен после 5 лет.

5.3 Замечания по эксплуатации

Кабельные системы с изоляцией из сшитого полиэтилена безопасны, при соблюдении инструкций, во время выполнения работ по укладке кабеля и монтажу муфт. Обязательное условие – эффективная защита от перенапряжений. Почти все выходы из строя кабельных систем происходят из-за внешних повреждений, нанесенных землеройными машинами. Другие причины, которые приводят к нарушению изоляции, очень редки.

Вообще, кабельная полимерная изоляция обеспечивает безотказное функционирование систем. Возможная причина выхода из строя – проникновение воды во время монтажа.

Неисправности в кабельных муфтах вызваны, главным образом, перенапряжением. Поэтому существенно важно защитить кабельную систему необходимыми ограничителями перенапряжений, которые должны быть установлены как можно ближе к муфтам. Остаточные перенапряжения хорошо защищенной сети легко выдерживаются муфтами так долго, пока изоляторы не загрязнены.

Приложения

Таблица 6.1 Кабельные барабаны. Масса и габариты

№ барабана	Диаметр щеки, мм	Диаметр шейки, мм	Длина шейки, мм	Вес пустого барабана, кг	Максимальный вес полного барабана, кг
22 (дерево)	2 200	1 400	1 320	1000	7 000
25 (металл)	2 500	1 500	1 300	1 000	8 000
30 (металл)	3 000	1 900	1 600	1 200	8 700
32 (дерево)	3 200	2 400	1 600	1 600	11 000
32* (металл)	3 200	2 000	1 880	1 400	12 000
34 (металл)	3 390	2 400	1 600	1 700	13 500
36 (металл)	3 600	2 400	1 850	2 000	18 800

Таблица 6.2 Расчетная длина кабеля на барабане

Диаметр кабеля, мм	№ барабана						
	22 (дерево)	25 (металл)	30 (металл)	32* (металл)	32 (дерево)	34 (металл)	36 (металл)
60	550	860	1475	2050	1130	1540	2340
70	400	630	1080	1505	830	1130	1720
80	---	485	830	1155	635	865	1315
90	---	380	655	910	500	685	1040
100	---	---	530	740	405	555	840
110	---	---	440	610	---	460	695
120	---	---	370	510	---	385	585

*-барабан с увеличенной длиной шейки

Список использованной литературы

ТУ-16-705-495-2006

ТУ-3530-405-00217053-2009

МЭК 60840

МЭК 60287

ПУЭ (6, 7 изд.)

ПТЭЭП

СНиП 3.05.06-85.Электротехнические устройства

Высоковольтная кабельная арматура. Каталог 2012г. Tyco Electronics Raychem

Дмитриев М.В. «Заземление экранов однофазных силовых кабелей 6-500 кВ»

Контактная информация ООО «Севкабель-Инжиниринг»

(812) 324-78-83

ske@sevkab.ru

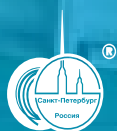
www.sevcable.ru

Данное руководство предназначено для проектных, электро-монтажных и эксплуатирующих организаций.

Распространяется на кабели 110-220 кВ производства завода «Севкабель».

При использовании информации данного руководства для кабелей других производителей составители руководства ответственности не несут.

В связи с выходом данного издания «Кабели на напряжение 110-220 кВ» предыдущее издание «Кабели на напряжение 64/110 кВ», 2013 г., просим считать недействительным.



ГРУППА КОМПАНИЙ
СЕВКАБЕЛЬ



ООО «ГК «Севкабель»
+7 (812) 329-77-99
sales@sevkab.ru

ООО «Севкабель-Инжиниринг»

Проектирование, поставка, монтаж кабельных линий

+7 (812) 324-78-83
+7 (812) 324-78-86
ske@sevkab.ru

WWW.SEVCABLE.RU