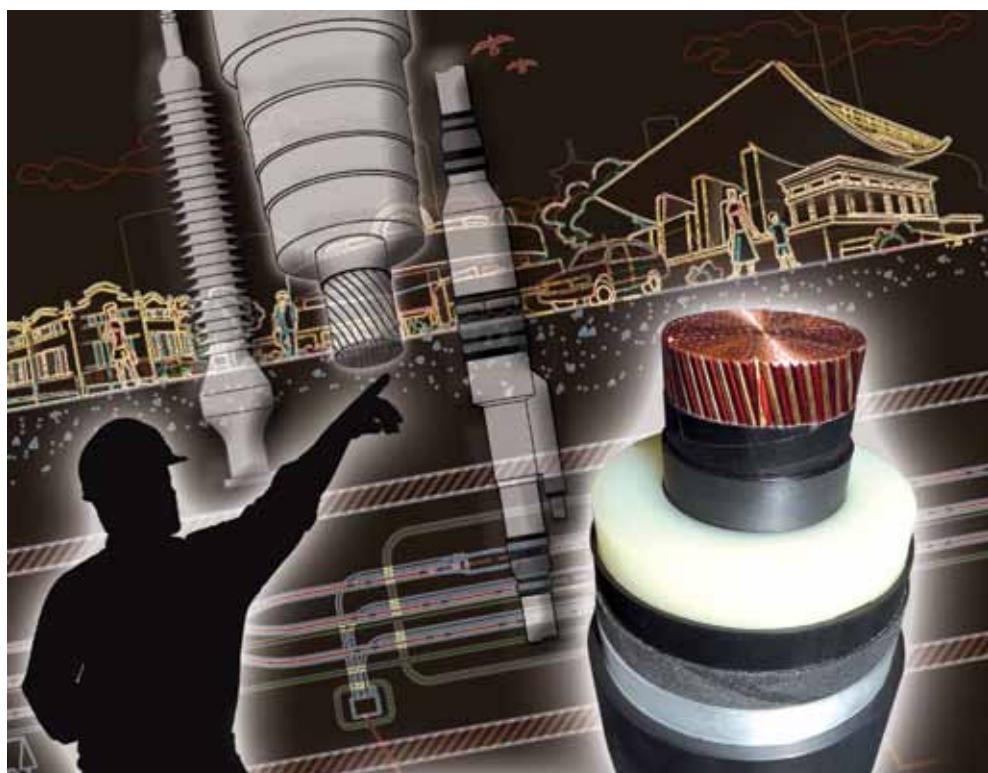
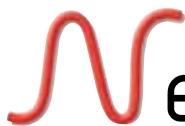


Кабельные системы высокого напряжения 110 – 500 кВ для подземной прокладки

с изоляцией из сшитого полиэтилена

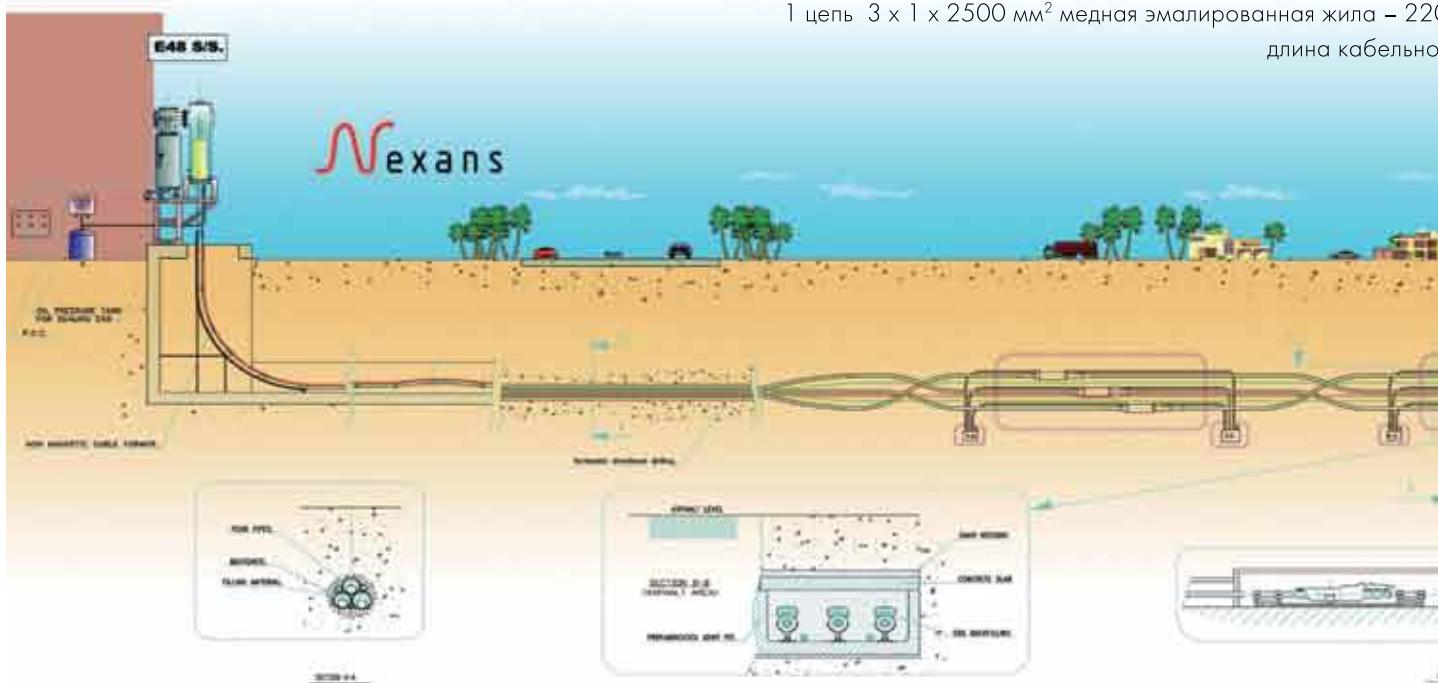


 **nexans**

Кабельные системы для подземной прокладки

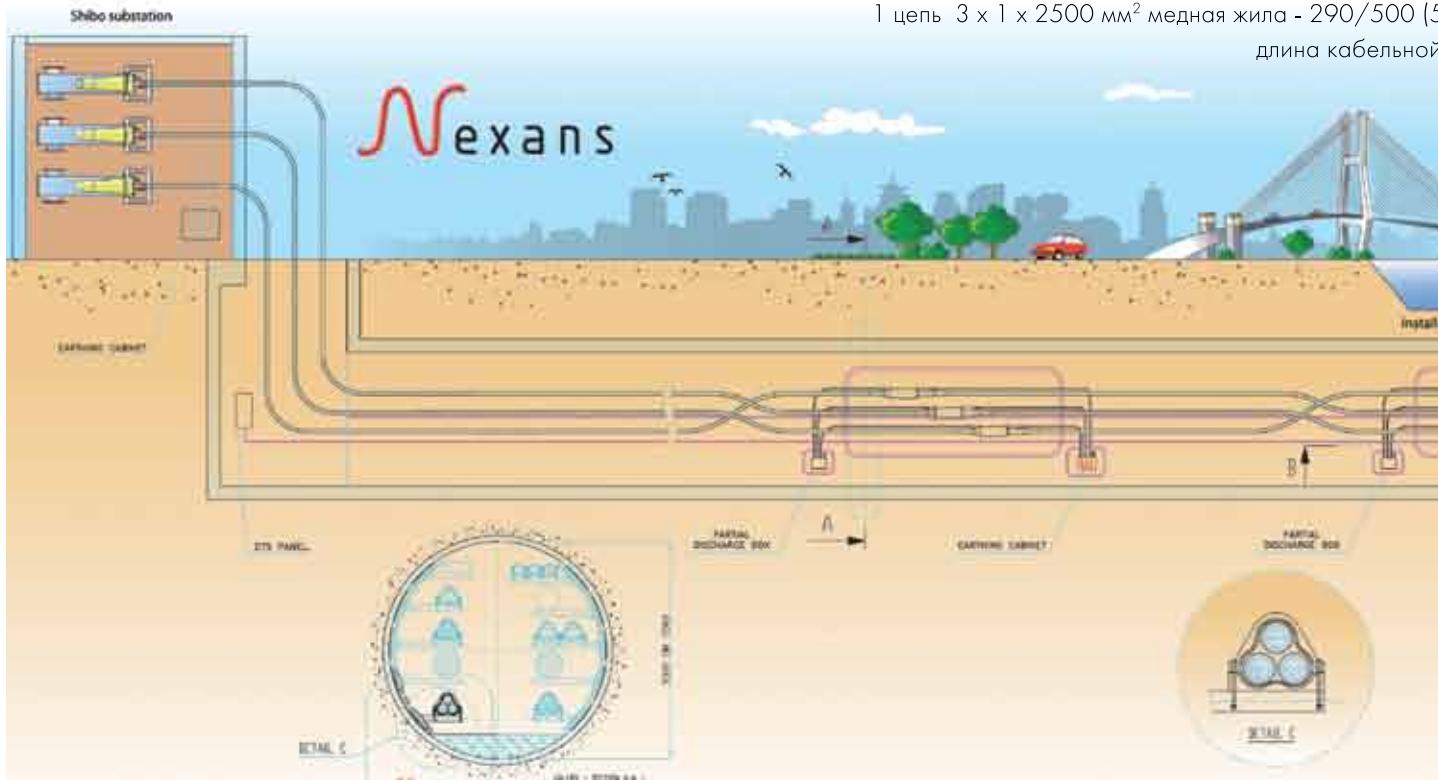
ADWEA 400 кВ

1 цепь $3 \times 1 \times 2500 \text{ мм}^2$ медная эмалированная жила – 220
длина кабельной



ШАНХАЙ 500 кВ

1 цепь $3 \times 1 \times 2500 \text{ мм}^2$ медная жила - 290/500 (5)
длина кабельной



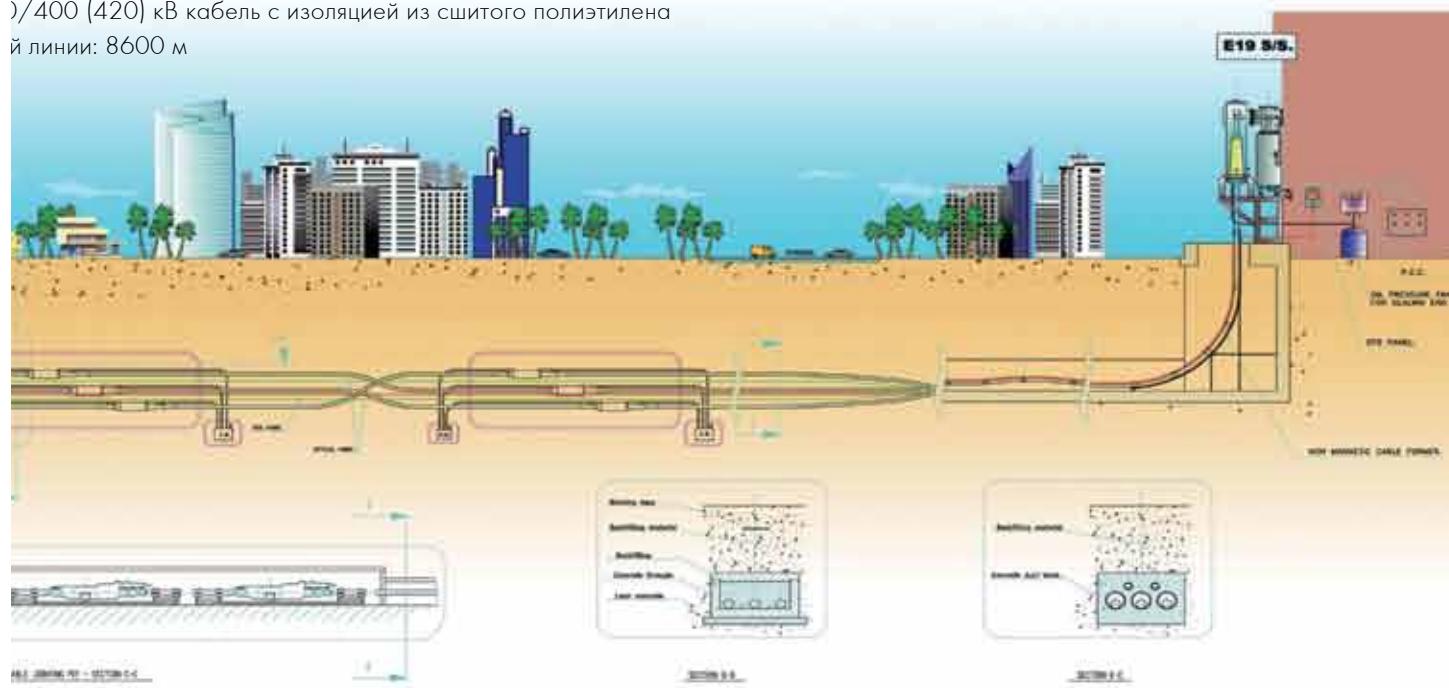
Nexans

Кабельные системы высокого напряжения для подземной прокладки

В АБУ-ДАБИ

50/400 (420) кВ кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена

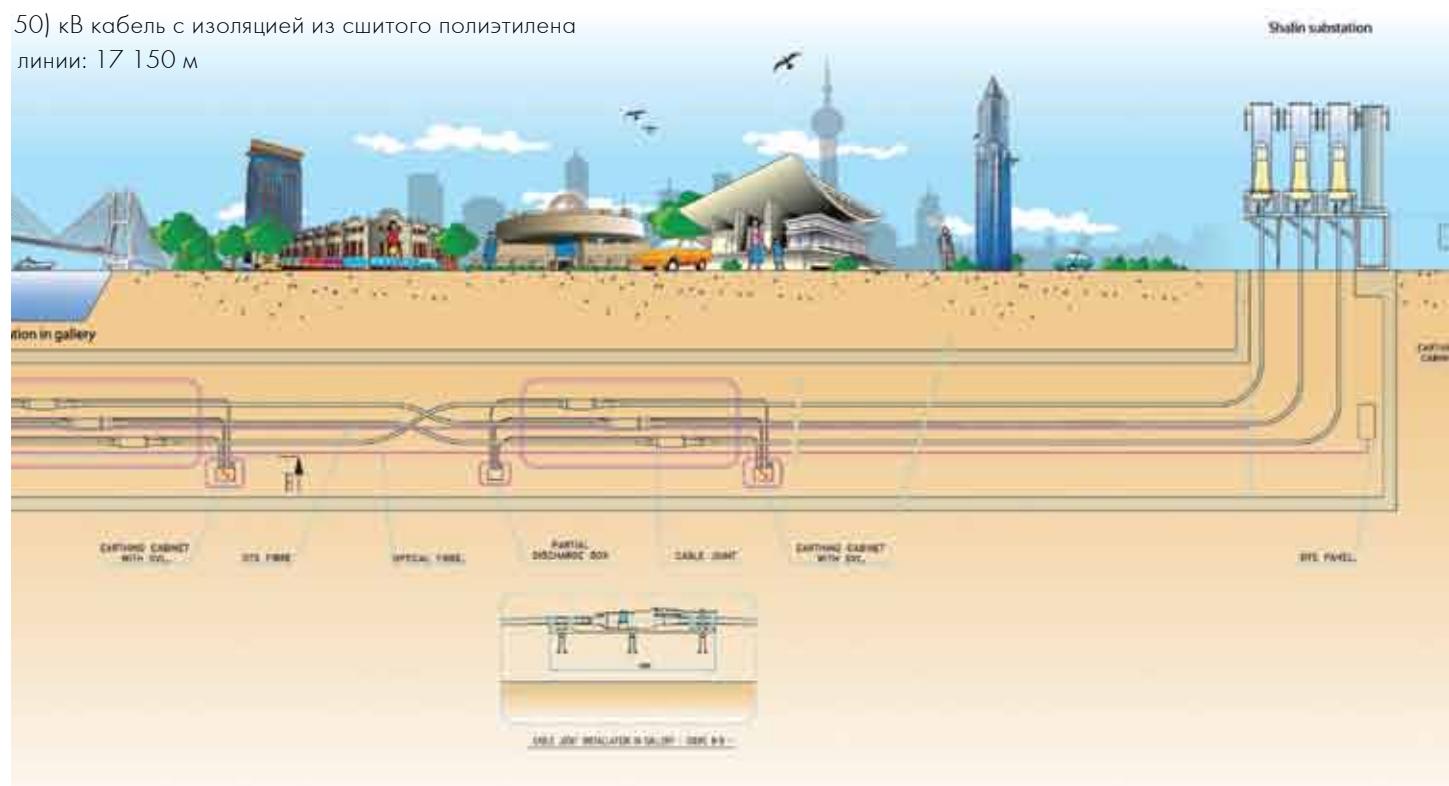
линии: 8600 м



ПРОЕКТ SHIBO

50 кВ кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена

линии: 17 150 м



Оглавление

Стр.

I

КАБЕЛЬ

• Конструкция кабеля	6
■ Токопроводящая жила	7-8
■ Полупроводящий экран по жиле	9
■ Изоляция из шитого полиэтилена	9
■ Полупроводящий экран по изоляции	9
■ Металлический экран	9-10
■ Защитная оболочка	11
Сводная Таблица	12
• Заземление металлических экранов кабеля	13
■ Работа в режиме КЗ	14
■ Различные виды заземления	14
■ Защита от АПВ	15
■ Системы заземлений экранов кабелей	16-17
• Способы прокладки кабеля	18-19
• Кабельные барабаны	20
• Допустимый радиус изгиба кабеля	20
• Усилия тяжения	20
• Системы крепления	21
• Испытание кабельных систем	21
• Новые конструкторско-технологические разработки	22

II

КАБЕЛЬНАЯ АРМАТУРА

• Концевые муфты	23
■ Различные компоненты	23
■ Концевые муфты для наружной установки	24
□ Синтетические	
□ Композитные	
□ Фарфоровые	
■ Концевые муфты для установки внутри помещений	24
■ Трансформаторная концевая муфта	25
■ Элегазовый ввод в КРУЭ	25
• Соединительные муфты	26
■ Типы соединительных муфт	26
□ Соединительные с заземлением и без заземления	26
□ Транспозиционные	26
□ Переходные	26
■ Различные технологии соединительных муфт	27
□ Ленточная	27
□ Литая	27
□ Сборная	27
■ Дополнительное оборудование (крепление кабеля)	28



Стр.

III

МОНТАЖ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ

• Монтаж концевых муфт	29
• Прокладка кабелей	30
■ Защита кабеля	30
■ Различные типы прокладки	
□ В земле	31
□ В кабельных каналах	32
□ В кабелепроводах	33
□ В тоннеле	34
■ Кабельный колодец для соединительных муфт	35
■ Специальные земляные работы	36
□ Техника проходки	36
□ Техника бурения	37

IV

ТАБЛИЦЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАБЕЛЯ

□ Информация, необходимая для расчета сечений жилы и экрана кабеля	38
□ Влияние способа прокладки кабеля на пропускную способность	39
□ Определение сечения токопроводящей жилы и расчет допустимого тока	40
□ Поправочные коэффициенты	40
□ Таблицы значений допустимого тока	41
□ Напряжение 64/110 (123) кВ, алюминиевый проводник	42
□ Напряжение 64/110 (123) кВ, медный проводник	43
□ Напряжение 76/132 (145) кВ, алюминиевый проводник	44
□ Напряжение 76/132 (145) кВ, медный проводник	45
□ Напряжение 87/150 (170) кВ, алюминиевый проводник	46
□ Напряжение 87/150 (170) кВ, медный проводник	47
□ Напряжение 127/220 (245) кВ, алюминиевый проводник	48
□ Напряжение 127/220 (245) кВ, медный проводник	49
□ Напряжение 160/275 (300) кВ, алюминиевый проводник	50
□ Напряжение 160/275 (300) кВ, медный проводник	51
□ Напряжение 190/330 (362) кВ, алюминиевый проводник	52
□ Напряжение 190/330 (362) кВ, медный проводник	53
□ Напряжение 230/400 (420) кВ, алюминиевый проводник	54
□ Напряжение 230/400 (420) кВ, медный проводник	55
□ Напряжение 290/500 (550) кВ, алюминиевый проводник	56
□ Напряжение 290/500 (550) кВ, медный проводник	57

Вся информация, содержащаяся в данной брошюре,
носит справочный характер и
не имеет юридической обязательной силы
для Nexans

Общая концепция кабельных линий

Этот каталог посвящен трехфазным кабельным линиям электропередачи на переменном токе на напряжение от 110 до 500 кВ. Такие линии используются, в основном, в энергетических системах между двумя узлами электрической сети, такими как, например, генерирующее оборудование и распределительная подстанция, или внутри распределительной подстанции или между подстанциями. Эти кабельные линии электропередачи могут также использоваться в совокупности с воздушными линиями.

Напряжение линии электропередачи обозначается следующим образом:

Пример:

Uo/U (Um): 127/220 (245)

$U_o = 127$ кВ, фазное напряжение «фаза–земля»,

$U = 220$ кВ, линейное напряжение «фаза–фаза»,

$U_m = 245$ кВ, максимальное допустимое напряжение электрической сети

Фазное напряжение (фаза–земля), обозначается **U_o** , представляет собой значение напряжения между проводником и землей, или металлическим экраном.
Номинальное напряжение, обозначается **U** , это номинальное напряжение фаза–фаза.
Максимальное напряжение (Um) – это наивысшее допустимое напряжение, которое можно прикладывать к оборудованию электрической сети (см. также стандарт МЭК 38).

Высоковольтная кабельная линия включает в себя **3 однофазных кабеля** или один трехфазный кабель и высоковольтные контактные выводы, расположенные на каждом конце линии. Эти контактные выводы также называют **«концевыми муфтами»**. Когда длина линии превышает емкость кабельного барабана, используются соединительные муфты для соединения строительных длин кабеля. В качестве комплектующих оборудования электрических сетей используются также **устройства заземления и транспозиции экранов высоковольтного кабеля, и соответствующие им кабели заземления и транспозиции**.

Кабель



Конструкция высоковольтного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена обязательно включает в себя описанные ниже элементы.

Токопроводящая жила

Токопроводящая жила (медная или алюминиевая) служит для протекания электрического тока.

При рассмотрении характеристик токопроводящей жилы необходимо отметить два электрических эффекта: **поверхностный эффект и эффект близости**.

Поверхностный эффект связан с вытеснением электрического тока к поверхности проводника, в результате чего плотность тока вблизи поверхности токопроводящей жилы превышает плотность тока в центре жилы. Этот эффект возрастает с увеличением сечения используемого проводника.

Небольшое расстояние, разделяющее фазы одной линии, приводит к появлению **эффекта близости**. Когда диаметр жилы кабеля сравнительно больше расстояния между тремя фазами кабельной линии, электрический ток стремится сконцентрироваться на взаимных наружных поверхностях жил. Проволоки на взаимных поверхностях жил имеют меньшую индуктивность, чем

проводники, которые находятся дальше от этих поверхностей (индуктивность линии увеличивается пропорционально увеличению наружной поверхности проводников линии).

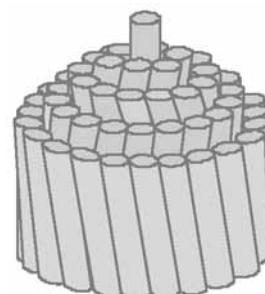
Ток преимущественно проходит по проводникам, имеющим меньшую индуктивность и, следовательно, меньшее сопротивление. На практике эффект близости проявляется слабее, чем поверхностный эффект, и быстро уменьшается с увеличением расстояния между кабелями.

Эффектом близости можно пренебречь, когда расстояние между двумя кабелями одной и той же линии или двух соседних линий, по крайней мере, в 8 раз превышает внешний диаметр жилы кабеля.

Существует два типа токопроводящих жил кабеля: круглые жилы компактной скрутки и сегментированные жилы (Милликен).

1. Круглые жилы компактной скрутки состоят из нескольких повивов проволок, расположенных концентрически и винтообразно.

Так как электрическое сопротивление между проволоками, из которых состоит жила, мало, то в круглой жиле компактной скрутки поверхностный эффект и эффект близости практически идентичны тем, которые имеют место в монолитной (цельнотянутой) жиле большого сечения.



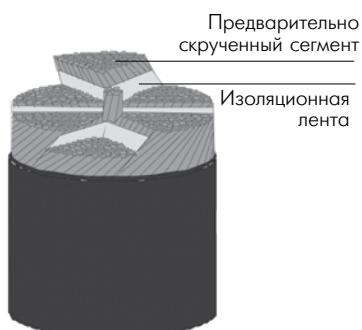
Кабель

2. Сегментированные жилы, которые также называются милликеновскими (Милликен), собираются из нескольких проводников секторного сечения, которые формируют цилиндрическую жилу.

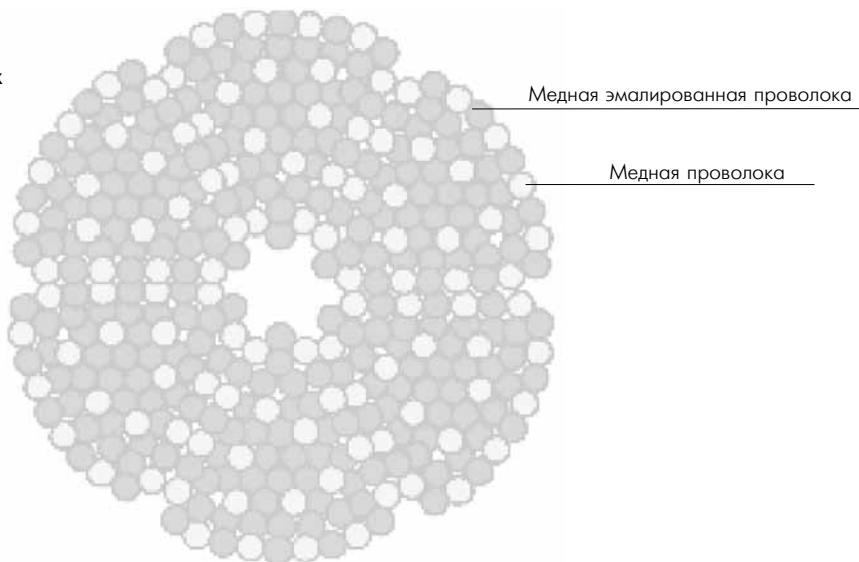
Проводник большого сечения разделен на несколько проводников секторной формы. Эти проводники, число которых находится в пределах от 4 до 7, называются секторами или сегментами. Они изолированы друг от друга полупроводящей или изоляционной лентой.

Сpirальная конструкция из сегментов исключает постоянное прохождение одних и тех же проволок жилы рядом друг с другом, что способствует снижению эффекта близости.

Такие конструкции используются для жил большого сечения (не менее 1200 мм^2 для жил из алюминия и не менее 1000 мм^2 для жил из меди). Конструкция типа Милликен позволяет значительно снизить неблагоприятный поверхностный эффект и эффект близости.



Конструкция жилы типа Милликен



Стандартная конструкция жилы с эмалированными проволоками

Эмалированная жила

Для медных токопроводящих жил с сечением более 1600 мм^2 при изготовлении сегментированной жилы типа Милликен используются эмалированные диэлектрическим лаком проволоки (приблизительно 2/3 общего количества проволок).

Эффект близости практически устраняется, потому что каждая проволока проходит как по наружным, так и по внутренним областям жилы.

Поверхностный эффект уменьшается благодаря небольшому сечению используемых проволок, которые электрически изолированы друг от друга.

Уменьшение поверхностного эффекта

Использование конструкции с эмалированными проволоками позволяет уменьшить сечение жилы при той же пропускной способности. Например, кабель с сечением медной жилы 2000 мм^2 , в котором используются эмалированные проволоки, позволяет заменить кабель с сечением медной жилы 2500 мм^2 , в котором используются проволоки без эмалевой изоляции. Соединение жил с эмалированными проволоками выполняются с помощью специальной технологии, разработанной фирмой Nexans.

AC ₉₀ сопротивление	Конструкция жилы		
	DC ₉₀ сопротивление	круглая жила компактной скрутки	сегментированная жила Милликен
1600	1.33	1.24	1.03
2000	1.46	1.35	1.04
2500	1.62	≈ 1.56	1.05
3000	1.78	≈ 1.73	1.06

Кабель



Полупроводящий экран по жиле

Применяется для выравнивания скачка напряженности электрического поля на границе раздела токопроводящей жилы и слоя изоляции. Представляет из себя ультра гладкий слой из полупроводящего сшитого полиэтилена.

Изоляция из сшитого полиэтилена

Изолирует токопроводящую жилу, которая находится под высоким напряжением, от экрана, который находится под потенциалом земли. Изоляционный материал должен выдерживать воздействие электрического поля, как в номинальном режиме, так и в переходных режимах.

Полупроводящий экран по изоляции

Назначение этого слоя идентично назначению полупроводящего экрана по жиле. Он позволяет получить плавный переход напряженности электрического поля между изоляцией, где напряженность электрического поля не равна нулю, и проводником (металлический экран кабеля или металлическая оболочка), где напряженность электрического поля равна нулю.

Металлический экран

Уровень напряжения в несколько десятков, а иногда и сотен киловольт приводит к необходимости использования металлического экрана.

Основным назначением металлического экрана является **устранение электрического поля на поверхности кабеля**. Экран формирует второй электрод конденсатора, образуемого кабелем (первым является токопроводящая жила кабеля).

- Обеспечивает отвод протекающих через изоляцию емкостных токов на землю.
- Обеспечивает полный или частичный отвод тока короткого замыкания (КЗ) на землю. По этому параметру можно рассчитать сечение металлического экрана.

• Приводит к появлению индукционных вихревых токов вследствие наличия электромагнитных полей, создаваемых различными расположенными рядом кабелями. Эти вихревые токи являются источником дополнительных потерь в кабелях и должны учитываться при оценке его пропускной способности во время расчетов необходимого сечения кабеля.

• Приводит к необходимости электрической изоляции металлического экрана на большей части длины установленного кабеля.

• Приводит к необходимости защиты металлического экрана от химической и электрохимической коррозии.

Вторым назначением металлического экрана является обеспечение в кабеле **поперечной герметизации для защиты его элементов**, в том числе, его изоляции, от влаги.

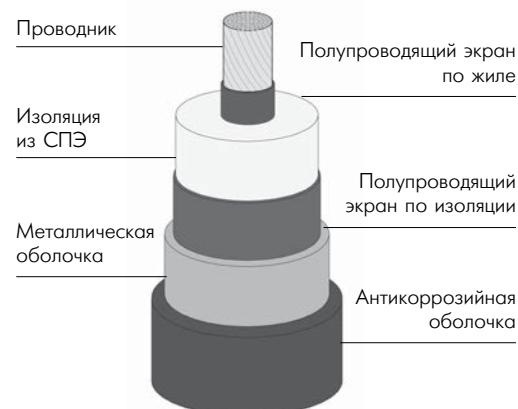
Изоляция кабеля, выполненная из синтетического изоляционного материала, не должна подвергаться воздействию влаги. Действительно, одновременное воздействие влаги и сильного электрического поля приводит к появлению локальных пробоев (дендритов), которые через некоторое время приводят к пробою изоляции кабеля.

Использование металлического экрана:

Приводит к необходимости подсоединять этот металлический экран к контуру заземления, по крайней мере, в одной точке.

Примечание:

В случае воздушной линии, воздушная среда формирует изоляцию между неизолированным проводником и землей. Для обеспечения хорошей электрической изоляции и предотвращения дуговых разрядов между проводниками под высоким напряжением и объектами на земле требуется расстояние в несколько метров между проводниками, находящимися под напряжением, и землей.



Конструкция кабеля

Кабель

Различные типы металлических экранов

Экструдированная оболочка из свинцового сплава

Преимущества:

- Герметичность, гарантированная способом производства
- Большое электрическое сопротивление, то есть минимальные потери в линиях при глухом заземлении оболочки
- Прекрасная защита от коррозии

Недостатки:

- Большая масса и высокая цена
- Свинец токсичный материал, согласно европейским стандартам его употребление должно быть ограниченным
- Плохой отвод тока КЗ на землю

Концентрический экран из медных проволок с алюминиевой лентой, прикрепленной к полиэтиленовой или ПВХ оболочке

Преимущества:

- Легкая конструкция и экономичность
- Высокая пропускная способность для токов КЗ

Недостатки:

- Малое электрическое сопротивление, требующее применения специальных технических решений (заземление в одной точке или транспозиция) для того, чтобы ограничить потери от циркулирующих токов

Алюминиевый экран с продольным сварным швом и прикрепленным к полиэтиленовой болочеке (гладкая алюминиевая оболочка)

Преимущества:

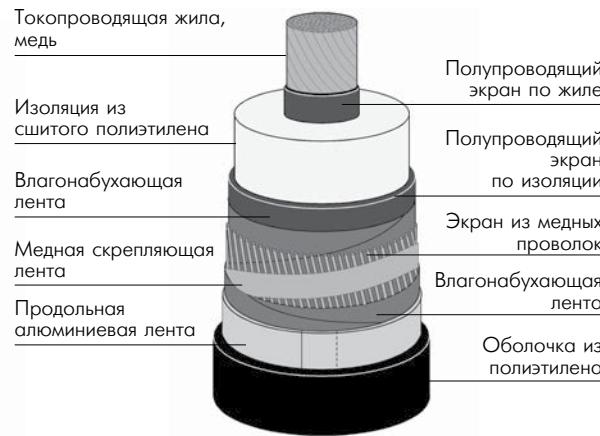
- Легкая конструкция
- Высокая пропускная способность для токов КЗ

Недостатки:

- Герметичность, гарантированная способом изготовления
- Малое электрическое сопротивление, требующее применения специальных технических решений (заземление в одной точке или транспозиция) для того, чтобы ограничить потери от циркулирующих токов
- Потери, связанные с вихревыми токами выше, чем в предыдущих конструкциях



Свинцовый экран



Медный проволочный экран и алюминиевая оболочка



Гладкая алюминиевая оболочка



Медный проволочный экран с экструдированной свинцовой оболочкой

Эта конструкция является комбинацией показанных выше конструкций. Данная конструкция сочетает в себе преимущества свинцовой оболочки и концентрического медного проволочного экрана. Основными недостатками этой конструкции являются ее высокая стоимость и применение в ней свинца. Экран из медной проволоки расположен под свинцовой оболочкой для того, чтобы обеспечить защиту от коррозии.

Антикоррозийная внешняя защитная оболочка

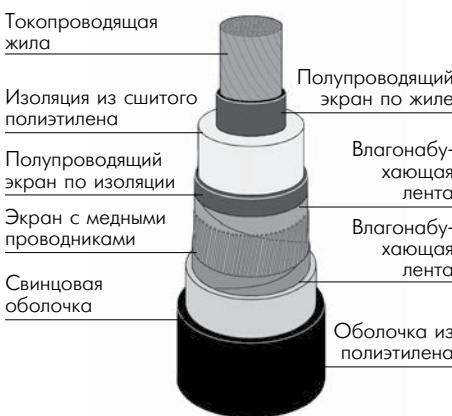
Эта оболочка выполняет двойную функцию:

- Электрически изолирует металлический экран от земли (особенно для линий, требующих применения специальных решений по заземлению экранов)
- Защищает металлические элементы экрана от сырости и коррозии.

Кроме этого, внешняя оболочка должна защищать кабель от **механических воздействий**, возникающих при прокладке и эксплуатации кабеля, а также должна защищать кабель от специфических вредных воздействий, таких как, например, термиты, углеводороды и т. п. Наиболее подходящим материалом для защитной оболочки является полиэтилен.

Оболочки из ПВХ еще используются в настоящее время, но применение этого материала сокращается. Одним из основных преимуществ ПВХ является его высокая огнестойкость, но из-за того, что при горении ПВХ выделяются токсичные и коррозийные дымы, этот материал запрещен многими пользователями.

Когда необходимо выполнять требования по «не распространению горения» согласно нормам МЭК 332, то вместо ПВХ используются материалы HFFR (не содержат галогенов и не распространяют горение). Однако механические свойства этих материалов хуже, чем у полиэтилена, а цена выше. Поэтому эти материалы используют на тех объектах и в тех местах сооружений, где требуется пожаробезопасность.



Медный проволочный экран и свинцовая оболочка

Кабель

Компонент	Назначение	Используемые материалы
Токопроводящая жила	<ul style="list-style-type: none"> Проводит электрический ток <ul style="list-style-type: none"> - в нормальном режиме - при перегрузке - в режиме КЗ Выдерживает механические напряжения при прокладке 	$S \leq 1000 \text{ мм}^2$ (медь) или $S \leq 1200 \text{ мм}^2$ (алюминий) Кабель с круглыми жилами компактной скрутки с медными или алюминиевыми проволоками $S \geq 1000 \text{ мм}^2$ (медь) Милликен $S > 1200 \text{ мм}^2$ (алюминий) Милликен
Внутренний полупроводящий экран	<ul style="list-style-type: none"> Сглаживает скачок напряженности электрического поля на границе раздела между изоляцией и жилой Обеспечивает эквипотенциальный контакт между жилой и изоляцией. Сглаживает линии напряженности электрического поля на поверхности жилы. 	Полупроводящий сшитый полиэтилен
Изоляция	<ul style="list-style-type: none"> Предназначена для обеспечения электрической прочности при воздействии различных напряженностей электрического поля в течение срока службы кабеля: <ul style="list-style-type: none"> - номинальное напряжение - грозовое перенапряжение - коммутационное перенапряжение 	Изоляция из сшитого полиэтилена Полупроводящий экран по жиле и полупроводящий внешний экран, а также сама изоляция накладываются одновременно в головке экструдера
Внешний полупроводящий экран	Обеспечивает эквипотенциальное соединение между изоляцией и экраном. Устраняет скачок напряженности электрического поля на границе раздела между изоляцией и внешним полупроводящим экраном	Полупроводящий сшитый полиэтилен
Металлический экран	<p>Выполняет следующие функции:</p> <ul style="list-style-type: none"> Предотвращает распространение электрического поля за пределы кабеля Обеспечивает поперечную герметичность (предотвращает контакт изоляции с водой) Обеспечивает отвод токов КЗ на землю Повышает механическую прочность 	<ul style="list-style-type: none"> Полупроводящий сшитый полиэтилен Медный проволочный экран с алюминиевой лентой, приклеенной к оболочке из полиэтилена Сварной алюминиевый экран, термически связанный с оболочкой из полиэтилена Комбинация медных проволок и свинцовой оболочки
Внешняя защитная оболочка	<ul style="list-style-type: none"> Изолирует металлический экран от окружающей среды Защищает металлический экран от коррозии Повышает механическую прочность Повышает огнестойкость кабеля 	Изоляционная оболочка <ul style="list-style-type: none"> Возможность нанесения полупроводящего слоя для проведения испытания электрической прочности оболочки после/до прокладки кабеля Оболочка из полиэтилена Оболочка из HFFR композиции

Кабель



Заземление металлических экранов кабеля

Когда по токопроводящей жиле кабеля протекает переменный ток, то на металлическом экране кабеля, в зависимости от расстояния между фазами и длины линии возникает напряжение, пропорциональное индуцированному току.

Незаземленные концы линии являются тем участком, где возникает индуцированное напряжение, которое необходимо контролировать.

При нормальной работе линии это напряжение составляет порядка нескольких десятков вольт. Простые методы позволяют устраниить риск поражения электрическим током. При возникновении тока КЗ, величина которого измеряется килоамперами, индуцированное этим током напряжение (пропорциональное току), может достигать нескольких киловольт. Однако это напряжение, как правило, не превышает пробивное напряжение внешней защитной оболочки кабеля.

При ударе молнии или при выполнении коммутации напряжение между землей и изолированным концом экрана может достигать нескольких десятков киловольт. Таким образом, существует риск электрического пробоя антикоррозийной защитной оболочки, изолирующей металлический экран от земли.

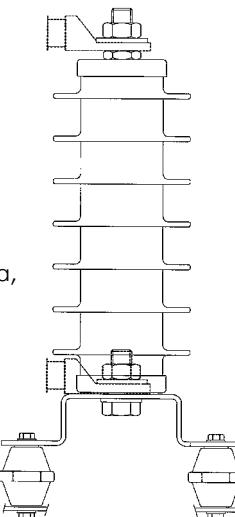
Отсюда следует, что необходимо ограничить повышение потенциала экрана с помощью подключения специального оборудования (ОПН) для ограничения возникающих перенапряжений между металлическим экраном и землей.

Эти ОПН функционируют как нелинейные электрические сопротивления.

При небольшом напряжении (в нормальном режиме) ОПН имеют очень большое сопротивление, и могут рассматриваться как непроводящие.

При ударе молнии или при выполнении коммутации, напряжение, которое прикладывается к ОПН, очень велико. При таком напряжении ОПН становится проводящим, и таким образом, перенапряжение, воздействию которого подвергается защитная оболочка, ограничивается на уровне разрядного напряжения ОПН. Такое ограничительное напряжение иногда называют **защитным потенциалом**.

В итоге, в случае КЗ, **индукционное напряжение на экране не превышает номинальное напряжение устройства ОПН**. Этот критерий определяет тип используемого ОПН в соответствии с конфигурацией линии.



Ограничитель перенапряжения (ОПН)

Кабель

Работа в режиме КЗ

Токи КЗ в электрической сети возникают в результате случайного соединения одной или нескольких фаз между собой или при их соединении с землей. Нейтраль трансформаторов в высоковольтных сетях, как правило, соединяется с землей. Полное сопротивление этого соединения в зависимости от типа нейтрали (непосредственно подключенной к земле или через линию полного сопротивления) может сильно различаться.

Различают два типа токов КЗ.

1. **Симметричные короткозамкнутые цепи** (три фазы замкнуты накоротко), образуют симметричную систему при наличии тока в трех фазах. Таким образом, токи протекают только в основных проводниках (жилы кабелей).

2. **Однофазные короткозамкнутые цепи** возникают в несимметричной системе. Однофазные токи возвращаются через землю и/или через электрические проводники, включенные параллельно с заземлением. Этими проводниками в основном являются:

- провода заземления
- металлические экраны, заземленные на концах линии
- само заземление

Из этого следует, что металлические экраны кабелей должны иметь достаточно большое сечение для того, чтобы выдержать эти так называемые однофазные токи КЗ.

Различные виды заземления

Вид заземления	Постоянное заземление в двух точках: металлические экраны заземлены на обоих концах линии	В одной точке: металлический экран с одной стороны заземлен, а с другой подключен к ОПН.	Транспозиция экранов: металлические экраны заземляются непосредственно на обоих концах линии. Транспозиция экранов позволяет снизить общее индуцированное напряжение, наведенное в экране каждой фазы. Транспозиция осуществляется с помощью транспозиционных муфт и устройств транспозиции с ОПН.
Характеристики линии	<ul style="list-style-type: none">• Длина линии превышает 200 м,• Сечение кабеля не более 630 мм²	<ul style="list-style-type: none">• Длина линии до 1 км	<ul style="list-style-type: none">• Линия большой длины• Большая пропускная способность, сечение более 630 мм², медь• Установка соединительных муфт• Количество секций: кратное трем, строительные длины должны быть приблизительно равны
Необходимое оборудование	<ul style="list-style-type: none">• Кабель типа R2V или кабель с небольшим номинальным напряжением	<ul style="list-style-type: none">• Ограничитель перенапряжения (ОПН)• Кабель типа R2V или кабель с небольшим номинальным напряжением	<ul style="list-style-type: none">• Транспозиционные муфты• Коаксиальный кабель• ОПН в точке транспозиции экранов (устройства транспозиции)
Плюсы	<ul style="list-style-type: none">• Легкость монтажа• Отсутствие эквипотенциального кабеля, прокладываемого вдоль линии	<ul style="list-style-type: none">• Оптимальное использование пропускной способности• Возможно применение защиты «масса-кабель»	<ul style="list-style-type: none">• Эквипотенциальный кабель вдоль линии (не обязательно)• Отсутствие индуцированных токов в экранах
Минусы	<ul style="list-style-type: none">• Уменьшенная пропускная способность• Невозможно применение защиты «масса-кабель»	<ul style="list-style-type: none">• Эквипотенциальный кабель вдоль линии• Использование ОПН	<ul style="list-style-type: none">• Необходимость обслуживания• Стоимость

Кабель



Защита от АПВ

Защита от автоматического повторного включения используется для комбинированных воздушно-подземных линий с заземлением экранов кабелей в одной точке. Это устройство позволяет обнаружить в кабеле любые неисправности. Устройство исключает возможность повторного включения линии при наличии в ней неисправности.

Принцип действия

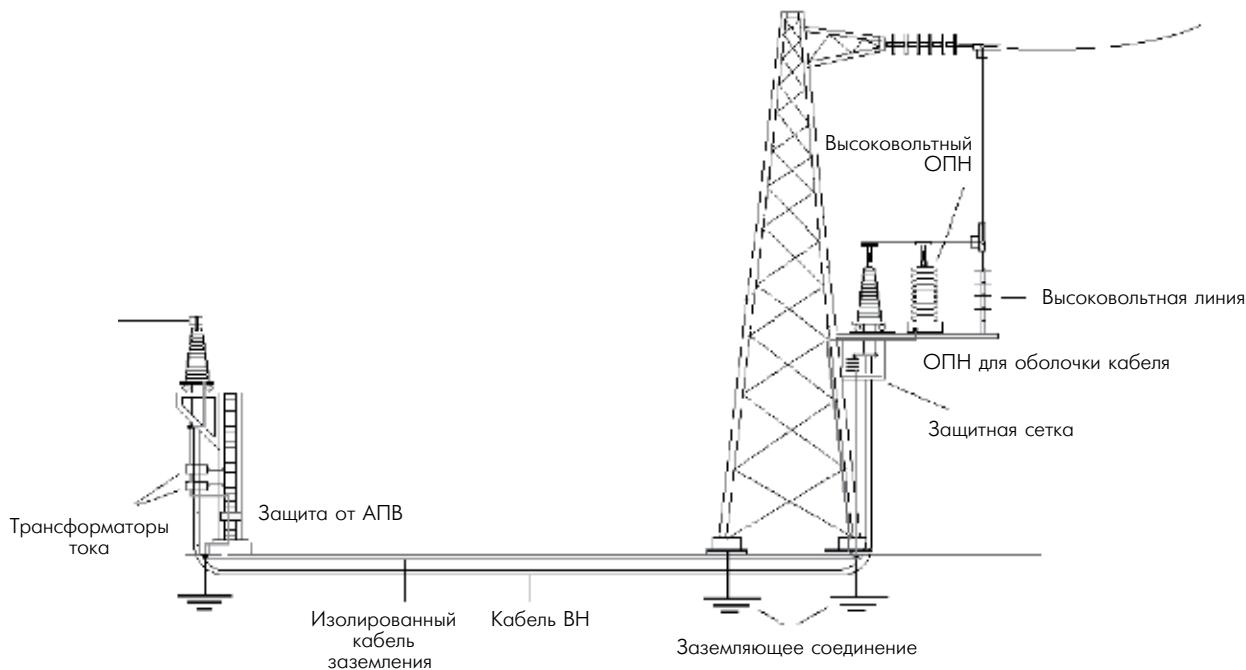
Трансформатор тока с тороидальным сердечником устанавливается в цепь заземления экрана кабеля. Если возникает неисправность в воздушной линии, трансформатор, установленный в цепь экрана кабеля, перестает обнаруживать протекание тока. Трансформатор тока подключен к реле, замыкающему контакт.

Замыкание контактов сигнализирует о наличии неисправности и запрещает автоматическое повторное включение (АПВ).

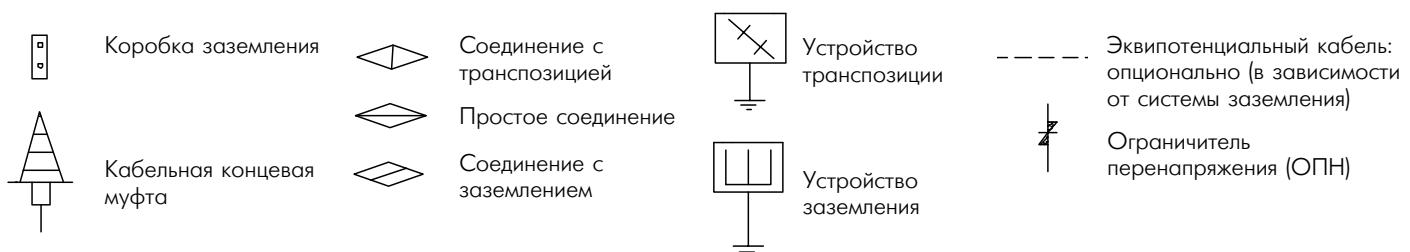
Преимущество защиты от АПВ состоит в упрощении эксплуатации комбинированной воздушно-подземной линии. В подземных коллекторах устройство позволяет устраниТЬ риск возникновения пожара. Такие относительно дешевые системы устанавливаются, главным образом, в диспетчерских и в подземных коллекторах.

УСТАНОВКА ВОЗДУШНО-ПОДЗЕМНОЙ ЛИНИИ с защитой от АПВ

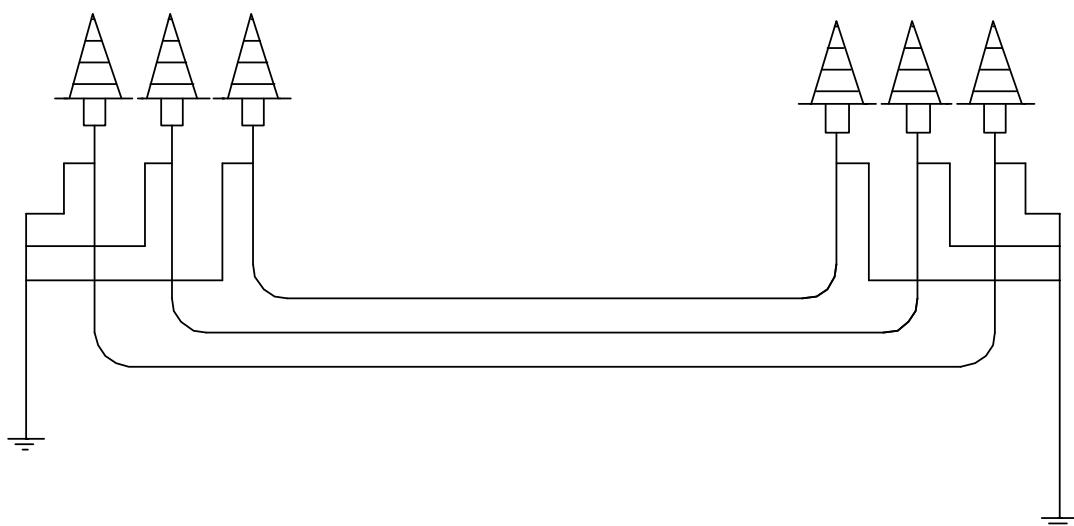
15



Системы заземлений экранов кабелей

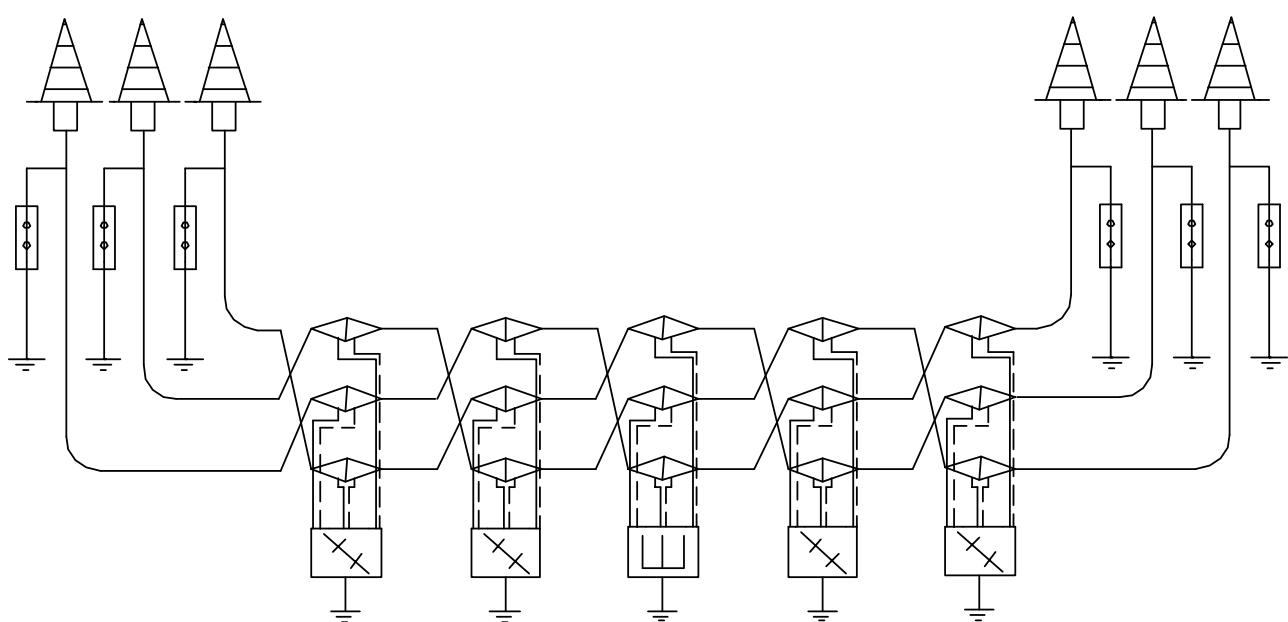


Система заземления на обоих концах линии

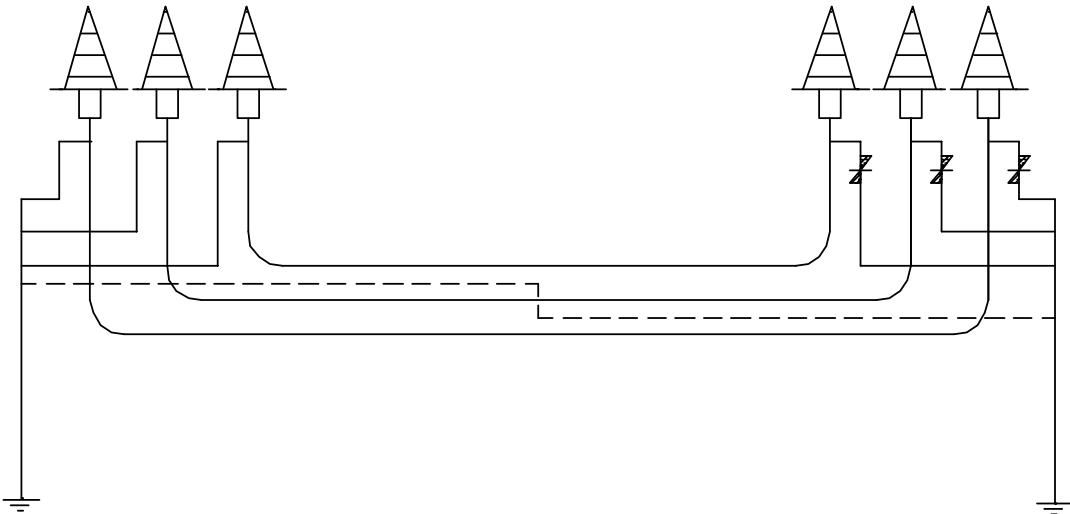


16

Система транспозиции экранов



Система заземления в одной точке

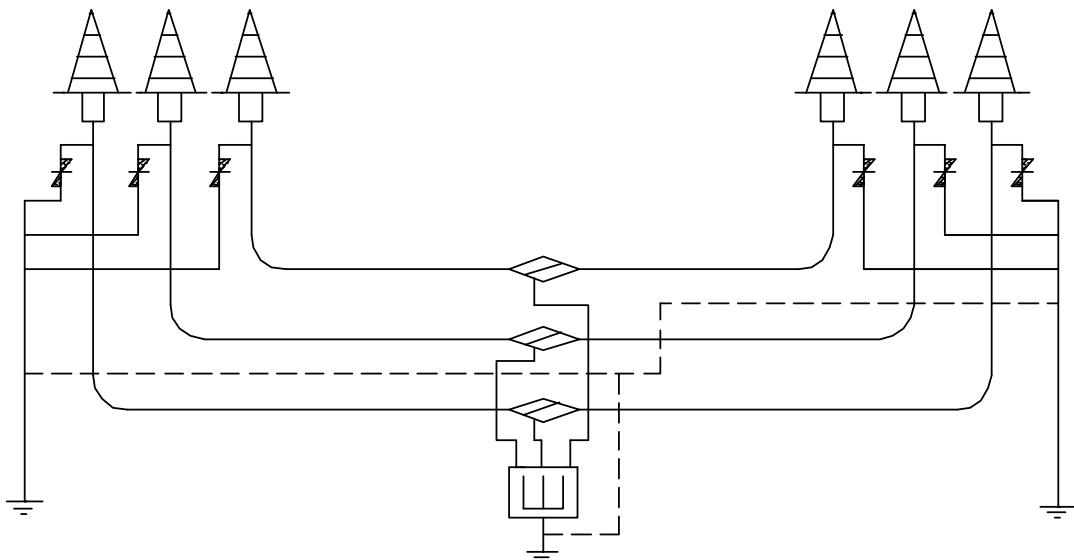


Другой вариант:

Заземление в средней точке при наличии двух секций одной кабельной линии или при наличии одного соединения в одной секции

17

Система заземления в средней точке



Кабель

Способы прокладки кабеля

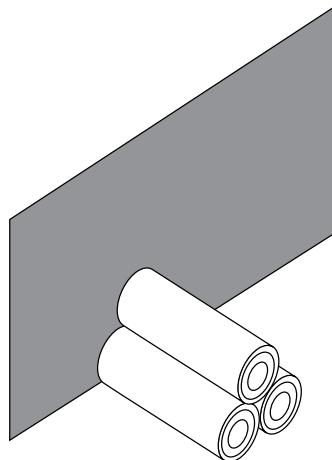
Кабели, проложенные непосредственно в грунт в форме трилистника

Механические воздействия

Кроме электрических и тепловых воздействий на кабель, которые должны учитываться при выборе сечения жилы кабеля, необходимо обратить внимание также на механические и термомеханические нагрузки, которые возникают в кабельных системах во время их установки и при эксплуатации.

Усилия, возникающие при наматывании и сгибании кабеля
Кабель, в первом приближении, можно считать балкой.

При сгибании проводники экрана кабеля изгибаются вместе с осью кабеля, и растягиваемые проводники удлиняются согласно следующей формуле:

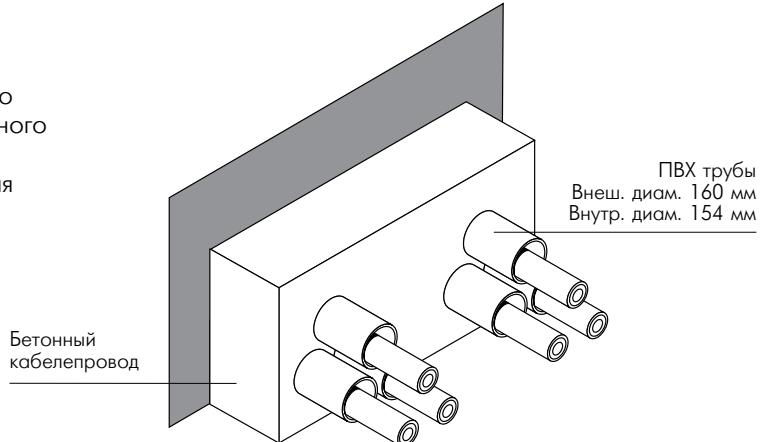


Кабели, проложенные в трубах в форме трилистника

$$\varepsilon = \frac{D_e}{D_p}$$

ε : удлинение
где D_e внешний диаметр кабеля
 D_p диаметр сгиба

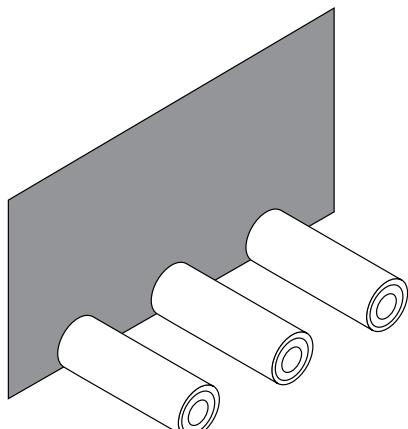
Сжимаемые проводники подвергаются деформации того же порядка, но противоположного знака. Обычно предельно допустимая деформация кабеля задается с помощью минимального отношения диаметра сгиба или наматывания на барабан к внешнему диаметру кабеля. Это отношение обратно пропорционально максимально допустимой деформации E_{max} .



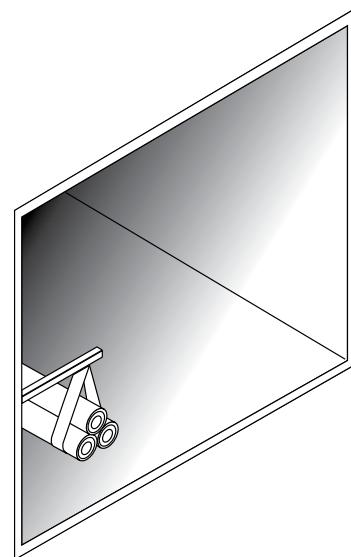
Кабель



Кабели, проложенные непосредственно в грунт
в одной плоскости

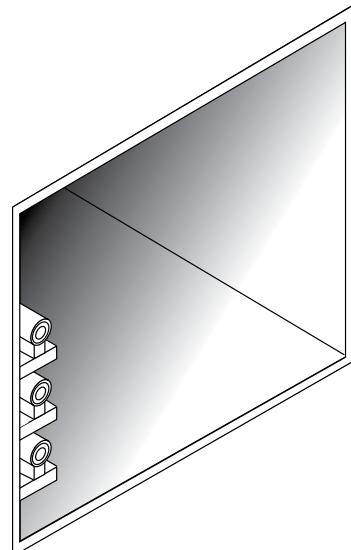
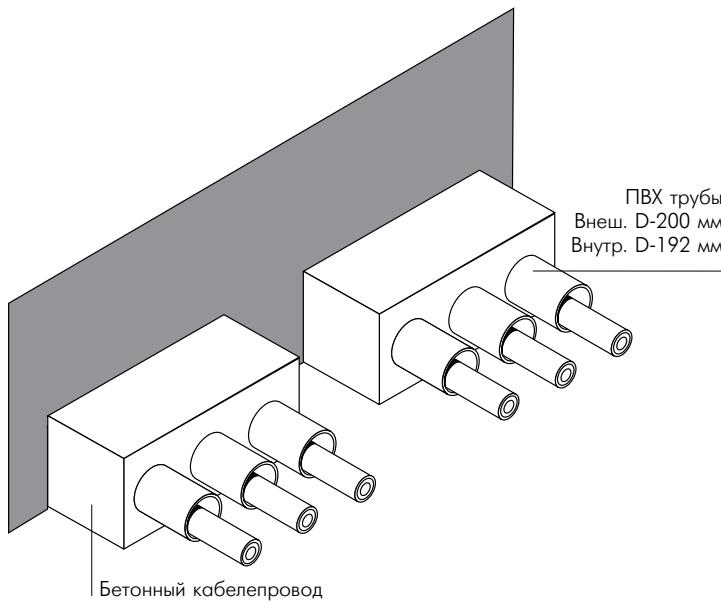


Кабели, подвешенные в кабельном тоннеле
трилистником вплотную друг к другу



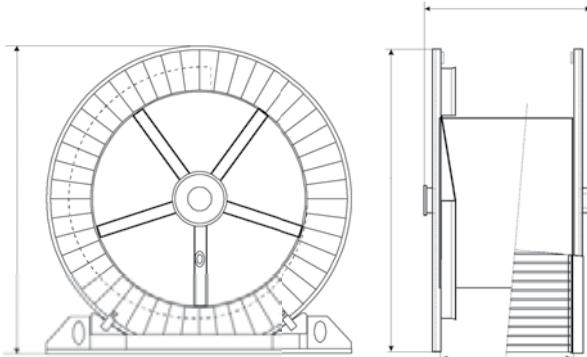
Кабели, проложенные в трубах в одной плоскости

Кабели, проложенные в одной вертикальной
плоскости на полках в кабельном тоннеле



Кабель

Металлический барабан,
снабженный салазками
для транспортировки
и установки



КАБЕЛЬНЫЕ БАРАБАНЫ

Для определения диаметра шейки барабана используются следующие правила:

Выбор кабельного барабана

Тип экрана	Минимальный диаметр шейки барабана, выраженный в количестве диаметров кабеля
Свинцовый экран с оболочкой из ПВХ	20
Сварной алюминиевый экран с оболочкой из полиэтилена	20
Приклеенный алюминиевый экран	21
Свинцовый экран с оболочкой из полиэтилена, экструдированной одновременно с экраном	18

При прокладке кабеля используют не диаметр изгиба, а минимальный радиус изгиба.

Допустимый радиус изгиба кабеля

Условия	Минимальный радиус изгиба, выраженный в количестве диаметров кабеля
При протягивании кабеля по роликам	30
При протягивании кабеля в трубах	35
При установке без шаблона	20
При установке по шаблону (крепежные хомуты устанавливаются равномерно по изгибу)	15

Речь идет об основных правилах, которые могут изменяться в зависимости от специфики проекта.

Растягивающие усилие и боковая нагрузка

При протягивании кабеля за один конец, большая часть нагрузки прикладывается к жиле кабеля. Это предполагает, что кабельный захваточно закреплен на жиле кабеля.

Использование кабельного чулка ограничивается случаями, когда усилие тяжения ниже 500 даН.

Стандартный кабельный захват обладает номинальной прочностью 4000 даН.

Максимальное усилие тяжения, прикладываемое к токопроводящей жиле, рассчитывается с помощью следующей формулы:

Максимальное усилие, прикладываемое к проводнику = KxS (даН), где

S – сечение проводника (мм^2)

K – максимальная нагрузка ($\text{даН}/\text{мм}^2$)

K = 5 даН/ мм^2 для кабелей с алюминиевыми жилами

K = 6 даН/ мм^2 для кабелей с медными жилами

Тип металлического экрана	Предельно допустимое боковое давление в деканьютонах (даН/м)
Медные проволоки + алюмополимерная оболочка	1000
Медные проволоки + свинцовая оболочка	1000
Гладкая сварная алюминиевая оболочка + приклеенная оболочка из полиэтилена	2500
Только свинцовая оболочка + оболочка из полиэтилена	1500
Только свинцовая оболочка + оболочка из ПВХ	1000

Кабель



Системы крепления

Термомеханические нагрузки

Когда кабель нагревается, то он расширяется, как в радиальном, так и в аксиальном направлении.

При радиальном расширении возникают проблемы при креплении кабеля хомутами, а аксиальное расширение должно контролироваться следующим образом:

- Должно использоваться плотное крепление кабеля хомутами, расположенными достаточно близко друг к другу для того, чтобы устранить продольные изгибы кабеля (метод жесткого крепления), или
- Кабель должен быть закреплен хомутами, расположенными достаточно далеко друг от друга для того, чтобы отрезки кабеля между хомутами провисали, но без превышения допустимого радиуса кривизны, и при этом в металлическом экране кабеля не возникали усталостные напряжения, вызванные деформационными циклами.

Механические напряжения, возникающие в результате электродинамических усилий при КЗ

При КЗ в кабелях могут протекать очень большие токи. В результате этого между проводниками возникают значительные электродинамические усилия.

Эти усилия должны приниматься в расчет при проектировании систем крепления кабеля, арматуры и при расчете расстояний между кабелями.

Испытание кабельных систем

Имеются три основных типа испытаний кабеля:

- 1. Индивидуальные испытания**, которые также называются «рутинными или приемосдаточными испытаниями». Эти неразрушающие испытания кабеля выполняются на всех кабелях на завершающей стадии их производства
- 2. Специальные испытания**, которые также называются «выборочными испытаниями или испытаниями образцов кабелей» в соответствии с действующими стандартами. Эти испытания могут быть разрушающими, и осуществляются на одной из партий продукции на завершающей стадии производства, и выполняются с частотой, указанной в соответствующих правилах и нормах.
- 3. Типовые испытания**, Эти испытания утверждают выбранную конструкцию системы, то есть всю совокупность материалов, составляющих высоковольтную линию электропередачи. Такие испытания в основном выполняются на системе, состоящей из кабеля и аксессуаров для поставки. Соответствующие нормы определяют критерии соответствия типового испытания для различных кабельных систем, например для кабелей с разными сечениями токопроводящей жилы, но для того же напряжения, и с идентичными аксессуарами. Типовые испытания позволяют также квалифицировать материалы, входящие в состав кабеля, и проверить их на совместимость.

Кабели, выпускаемые компанией Nexans, обычно испытываются в соответствии с международными нормами МЭК 60840 для напряжений $Um < 170$ кВ и в соответствии с нормами МЭК 62067 для более высоких напряжений. Так же могут проводиться испытания в соответствии с национальными нормами или согласно техническим спецификациям заказчика.

Новые конструкторско-технологические разработки

Наш Департамент Исследований и Развития в настоящее время занимается следующими разработками в области производства кабелей и аксессуаров:

- Кабель с токопроводящей жилой из изолированных проводников с низкими скринэффектом и эффектом близости для минимизации потерь и обеспечения высокой удельной мощности.
- Кабель со сварным алюминиевым экраном, приклеенным или не приклеенным к пластмассовой оболочке
- Кабель 150 кВ с интегрированным оптическим волокном (оптическое волокно используется для контроля температуры на всей протяженности линии, что обеспечивает лучшую эксплуатацию линии). Фирма Nexans поставляет такие кабели в страны Бенилюкса (Бельгию, Нидерланды и Люксембург).

- Соединительная муфта с механической, электрической и антикоррозионной защитой, (типа НОР) с минимальными размерами, имеющая прочную конструкцию и требующая минимального количества ручных монтажных операций на месте установки.

- Соединительные и концевые муфты с интегрированными датчиками частичных разрядов для раннего обнаружения дефектов, возникших при монтаже или вследствие старения материала.

- Концевая муфта с устройством защиты от взрыва для обеспечения высокой безопасности на распределительной подстанции.

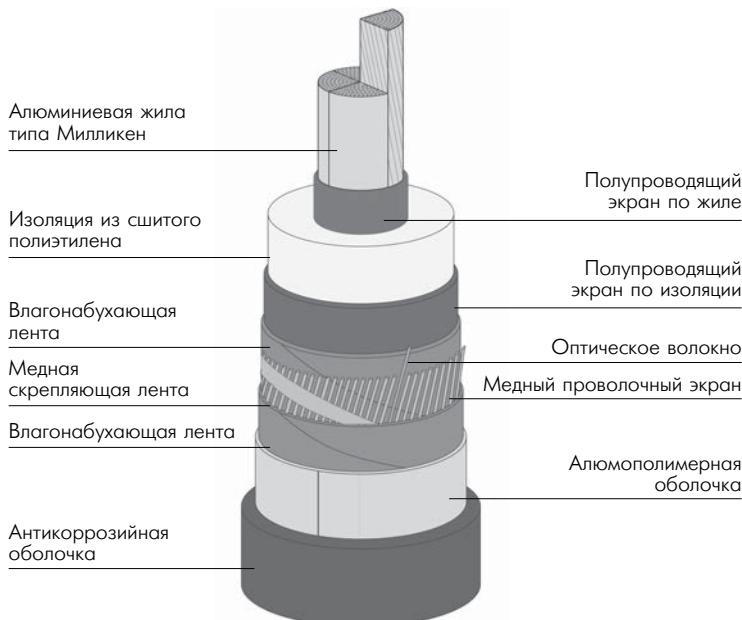
- Концевая муфта типа GIS (элегазовый ввод в КРУЭ), полностью сухая (без масла), не требующая обслуживания

- Концевая муфта, полностью изготовленная из синтетического материала и требующая минимального обслуживания.

- Сухая концевая муфта, не содержащая газа или масла и не требующая техобслуживания.

- Концевая муфта из композитного материала для обеспечения высокой безопасности и сокращения сроков поставки.

- Переходная соединительная муфта между кабелями разного размера и двумя жилами, выполненные из различных металлов.

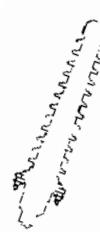


1 x 2000 mm^2 150 кВ + оптическое волокно



Кабельные системы высокого напряжения для подземной прокладки

Кабельная арматура, концевые муфты



Кабельная арматура используется для соединения строительных длин кабелей между собой посредством соединительных муфт или подключения кабеля к электросети с помощью концевых муфт. Каждое устройство применяется в зависимости от физических и электрических характеристик подключаемого оборудования.

КОНЦЕВЫЕ МУФТЫ

Концевые муфты используются для подключения кабелей к электросети через подстанции или воздушные или подземные соединения. Концевые муфты служат средством контроля пути утечки от изоляции кабеля в изолирующую среду станции (воздух для подстанций с воздушной изоляцией или SF₆ для элегазовых подстанций с газовой изоляцией). Существуют концевые муфты для применения на открытом воздухе с фарфоровым или синтетическим изоляторами. Кабели, подключаемые к газоизолированным подстанциям, оборудуются концевыми муфтами с эпоксидными изоляторами, которые подключаются непосредственно к токопроводам подстанции.

КОНЦЕВЫЕ МУФТЫ НАРУЖНОЙ УСТАНОВКИ

Характеризуются:

- типом изолятора и его путем утечки. Путь утечки находится в непосредственном контакте с окружающим воздухом;
- возможностью применения диэлектрической жидкости.

Путь утечки

Путь утечки – это изоляционное расстояние, измеренное на поверхности, разделяющей элементы под напряжением

и заземленные экраны. Путь утечки служит для устранения прямой проводимости посредством разряда по поверхности изолятора в окружающей его среде (воздух, газ или масло).

Понятие пути утечки применяется для концевых муфт, предназначенных как для применения на открытом воздухе, так и для применения в помещении. Для муфт внутренней установки, факторы окружающей среды не влияют на путь утечки. В концевых муфтах, используемых на открытом воздухе, поверхностный пробой по пути утечки происходит в воздухе, и пробивное напряжение зависит от электрического сопротивления изолирующего элемента, расположенного между элементом, находящимся под напряжением и заземлением. Это электрическое сопротивление зависит от условий окружающей среды, а именно: от влажности, содержания в воздухе соли и других загрязнений. Таким образом, на открытом воздухе путь тока утечки зависит от условий окружающей среды.

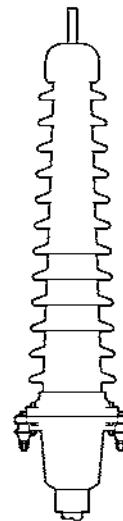
ТИПЫ ИЗОЛЯТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИЛИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКОСТИ

(SF₆ газ или силиконовое масло)

ИЗОЛЯТОРЫ, ЗАПОЛНЕННЫЕ ИЗОЛЯЦИОННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

ФАРФОРНЫЕ ЭМАЛИРОВАННЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ

Изолятор выполнен из эмалированного фарфора коричневого или серого цвета, и закрыт двумя алюминиевыми фланцами. Концевая муфта с фарфоровым изолятором имеет ряд преимуществ: Это самоподдерживающее устройство, не требующее никакого верхнего крепления. Поверхность обладает самоочищающимися свойствами, такая особенность делает это устройство незаменимым для использования в средах с высоким содержанием солей или загрязнений.



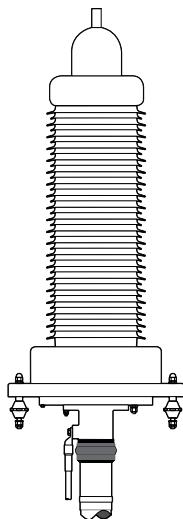
Концевая муфта с фарфоровым изолятором

СИНТЕТИЧЕСКИЙ ИЗОЛЯТОР

Известный как композитный или жесткий синтетический изолятор для концевых муфт, выполнен из эпоксидной трубы, упрочненной стекловолокном, покрытой

Кабельная арматура, концевые муфты

силиконовыми юбками и закрытой двумя алюминиевыми фланцами. Композитные концевые муфты особенно подходят для использования на промышленных участках при повышенных требованиях к взрывобезопасности.



Композитная концевая муфта

ИЗОЛЯТОРЫ, НЕ ЗАПОЛНЕННЫЕ ИЗОЛЯЦИОННОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Такие концевые муфты называют сухими, поскольку они не содержат диэлектрической жидкости. Муфты представлены в жестком (самоподдерживающиеся) или гибком исполнении.

КОНЦЕВЫЕ МУФТЫ ГИБКОГО ТИПА

Изолятор выполнен из отдельных силиконовых юбок или поставляется как одна часть. Благодаря своему легкому весу эти муфты особенно подходят для монтажа на пилонах. Эти муфты отличаются хорошей экологичностью по причине отсутствия в них жидкости и часто используются на промышленных объектах. Эти муфты не являются самоподдерживающимися и поэтому требуют применения систем крепления.



Сухие концевые муфты гибкого типа

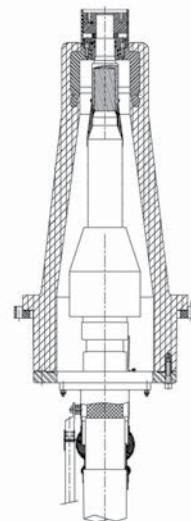
КОНЦЕВЫЕ МУФТЫ ЖЕСТКОГО ТИПА

Муфты отличаются жестким изолятором, кабель подключается непосредственно с помощью дефлектора. Конструкция муфт данного типа схожа с конструкцией концевых муфт, используемых в газоизолированных подстанциях.

КОНЦЕВЫЕ МУФТЫ ДЛЯ КРУЭ

Такие муфты используются для подключения кабеля к изолированным токопроводам. Существует необходимость в проверке, совместима ли концевая муфта кабеля с контактной частью КРУЭ, которое используется на подстанции. Требования к соединению между КРУЭ и кабельным вводом (концевой муфтой) определяются стандартом МЭК 62271-209. Концевая муфта может быть

сухой или заполненной жидкостью. Эпоксидный изолятор выступает в качестве границы между ответственностью производителя КРУЭ и производителя кабельной системы. В таком разграничении нет необходимости, если для



Концевая муфта для КРУЭ

КРУЭ и кабеля имеется один производитель, как например, в случае с энергетической системой Франции.

При отсутствии изолятора изоляционная среда аналогична среде КРУЭ. Обычно это газ SF₆.

При наличии изолятора муфта может быть заполнена SF₆ или силиконовым маслом. При заполнении силиконовым маслом и при условии, что концевая муфта расположена не вертикально, может потребоваться применение компенсационного резервуара, для компенсации объема масла в зависимости от температуры.

Концевые муфты



Сейчас на рынке появились новые концевые муфты КРУЭ. Это муфты сухого типа, не заполненные жидкостью. Муфты представлены в двух вариантах: с внутренним конусом и внешним конусом.

ТРАНСФОРМАТОРНАЯ КОНЦЕВАЯ МУФТА

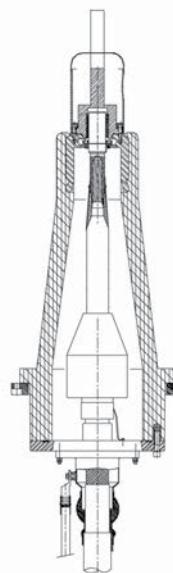
Концевая муфта данного типа используются для подсоединения кабеля непосредственно к трансформатору. Требования к соединению между кабелем и трансформатором определяются европейским стандартом EN 50299. Не все соединения соответствуют этому стандарту, поскольку существует множество моделей трансформаторов. Поэтому очень важно знать конструкцию трансформатора для точного определения наиболее подходящего типа концевой муфты. На новых объектах наиболее часто применяются концевые муфты типа GIS (КРУЭ).

Необходимыми параметрами для выбора аксессуаров нужного типа являются:

- Расположение концевой муфты кабеля
- Тип жидкости, в которую погружается концевая муфта (масло, газ или воздух).
- Рабочая температура.
- Нормы или особые требования.

Трансформаторные концевые муфты, оборудованные изоляторами из эпоксидной смолы, полностью погружаются в диэлектрическую жидкость трансформатора (масло или газ).

При установке в наклонном положении, или когда верхняя часть соединения расположена внизу, используется резервуар для компенсации расширения масла. Выравнивание электрического поля, как правило, осуществляется с помощью устройства (стесс-конуса), изготовленного из литого эластомера, которое установлено на изоляции кабеля.



Трансформаторная концевая муфта

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗВРЕДНАЯ КОНСТРУКЦИЯ

Электроизоляционные жидкости являются потенциальным источником загрязнения окружающей среды. SF6 – это парниковый газ, входящий в шестерку газов, подлежащих строгому контролю согласно Киотскому Соглашению. Силиконовое масло также подлежит контролю, хотя и в меньшем объеме, поскольку при повреждении муфты может произойти его утечка или воспламенение. По этой причине широкое распространение получили сухие концевые муфты, не заполненные жидкостью. Такая технология применяется как для концевых муфт для использования вне помещений, так и для концевых муфт трансформаторов или КРУЭ. Помимо своих экологических характеристик, применение концевых сухих муфт значительно сокращает риск взрыва с образованием осколков и возгорания. Еще одним преимуществом является отсутствие необходимости в системе контроля давления электроизоляционной жидкости.

25

Различные модели концевых муфт

<p>Фарфоровая концевая муфта, заполненная маслом</p> <ul style="list-style-type: none">— От 60 до 500 кВ— Применение: опоры/конструкции— В условиях загрязненной окружающей среды— Наиболее часто используется	<p>Концевая муфта для использования в камерах подстанций с КРУЭ, заполненная маслом</p> <ul style="list-style-type: none">— От 60 до 500 кВ	<p>Трансформаторная концевая муфта, заполненная маслом, предназначенная для использования в помещениях</p> <ul style="list-style-type: none">— 500 кВ
<p>Композитная концевая муфта для применения на открытом воздухе, заполненная маслом или газом SF6</p> <ul style="list-style-type: none">— От 60 до 500 кВ— Применение: при наличии риска землетрясения и во взрывоопасной среде— Монтируется на пилонах		
<p>Сухие концевые муфты гибкого типа для применения на открытом воздухе</p> <ul style="list-style-type: none">— От 60 до 145 кВ— Применение: в условиях ограниченного пространства— Во взрывоопасных и пожароопасных средах— При наличии ограничений для монтажа— Монтируется на пилонах— Промышленного назначения	<p>Концевые муфты для применения в камерах подстанций с КРУЭ, сухого типа</p> <ul style="list-style-type: none">— От 60 до 500 кВ	<p>Трансформаторная концевая муфта сухого типа для использования в помещениях</p> <ul style="list-style-type: none">— От 60 до 145 кВ



Кабельная арматура, соединительные муфты

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ МУФТЫ

Эта кабельная арматура используется для соединения двух строительных длин кабеля, при строительстве кабельных линий большой длины.

Для соединения кабелей имеется множество различных решений. Решения могут различаться по таким параметрам, как жила, материалы, толщина кабеля. Тем не менее, очень важно знать тип соединяемого кабеля.

Соединительные муфты обозначаются в соответствии с технологиями их изготовления, а также типами соединения для заземления экрана.

Наиболее распространенной технологией, используемой для всех напряжений, является ЛИТОЕ соединение (изготавливается заводским методом литья под давлением).

Технология ленточных соединений является самой старой и используется до сих пор при условии низкой напряженности электрического поля в изоляции кабеля.

Переходные соединительные муфты применяются для соединения кабелей с различными типами изоляции. Если кабели различаются только размером или типом жилы (но имеют одинаковый тип изоляции), соединение называется адаптерным.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ

ЛИТАЯ СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ МУФТА

Состоит из литого стресс конуса, выполненного из эластомера. Для обеспечения надежности, стресс конус после изготовления проходит приемо-сдаточные испытания.

Хорошие механические характеристики используемых синтетических материалов позволяют поддерживать хорошее обжатие на поверхности контакта между кабелем и стресс конусом по всей длине и на протяжении всего срока службы кабеля.

Также электрические характеристики материала обеспечивают высокое сопротивление изоляции на переменном токе, позволяют выдерживать удары молнии и скачки напряжения при выполнении коммутации.

Монтаж выполняется либо путем расширения литого стресс конуса, либо путем надевания его на кабель.

Хотя конструкция литого стресс конуса основана на единой базе предварительно собранных готовых деталях и отлитых в единое целое (является однокомпонентной), подготовка сопрягаемых интерфейсов требует наличия профессиональной подготовки.

ЛЕНТОЧНАЯ СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ МУФТА

Изоляция кабеля восстанавливается из синтетических лент, обладающих хорошими диэлектрическими и самосваривающимися свойствами. Использование таких муфт возможно при напряжениях до 110 кВ. Поскольку такое соединение выполняется вручную, его эффективность напрямую зависит от квалификации монтажника.

ПЕРЕХОДНАЯ СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ МУФТА

Используется для соединения кабелей с разными характеристиками, например кабель с бумажно-масляной изоляцией и кабель с синтетической изоляцией.

Муфта включает в себя те же материалы, что и соединяемые кабели, и обеспечивает механическую и электрическую непрерывность линии.

АДАПТЕРНАЯ СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ МУФТА

Такая муфта применяется в случаях, когда соединяемые кабели имеют одинаковый тип изоляции, но разные размеры.

Эти соединения могут выполняться с использованием различных технологий, некоторые из них запатентованы. Такие технологии включают:

- Биметаллическое соединение для кабелей с алюминиевой и медной жилами.
- Соединение с помощью конусного электрода для двух изолированных кабелей, незначительно отличающихся в диаметре, и с использованием стандартного литого стресс конуса.
- Асимметричный литой стресс конус для кабелей, которые значительно отличаются в диаметре.

Переходные и адаптерные соединительные муфты всегда требуют проведения специальных проектных расчетов.



Соединительные муфты

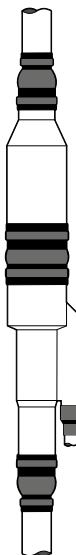


МОДЕЛИ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ МУФТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭКРАНА

ТРАНСПОЗИЦИОННАЯ СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ МУФТА

СОЕДИНИТЕЛЬНАЯ МУФТА
Без заземления: Такая муфта обеспечивает электрическую непрерывность металлических экранов соединяемых кабелей. Такая муфта применяется при заземлении в двух точках или в качестве промежуточного соединения в другой системе заземления.

С заземлением: Муфта обеспечивает непрерывность металлических экранов. Также имеется соединение, с помощью которого можно соединить экраны к контуру заземления. Такой тип муфт применяется в системах с заземлением в средней точке и в системах транспозиции экранов.



Транспозиционная соединительная муфта

Такая муфта разделяет экраны правого и левого кабелей и применяется в системах заземления с транспозицией.

Транспозиция экранов кабелей заключается в разрыве цепей экранов и выполнении соединений между экранами разных фаз для снижения индуцируемых напряжений между двумя точками заземления. **Транспозиционные соединительные муфты** имеют два вывода заземления с использованием двух однофазных кабелей или одного коаксиального кабеля.

Соединительная муфта

Дополнительное оборудование

Металлический экран высоковольтной линии должен быть заземлен. При этом должны использоваться такие элементы, как устройства заземления и молниевыводы оболочек.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Защитное оборудование

В высоковольтных кабельных системах заземление экранов выполняется напрямую или через внутренние или внешние ограничители перенапряжения (ОПН).

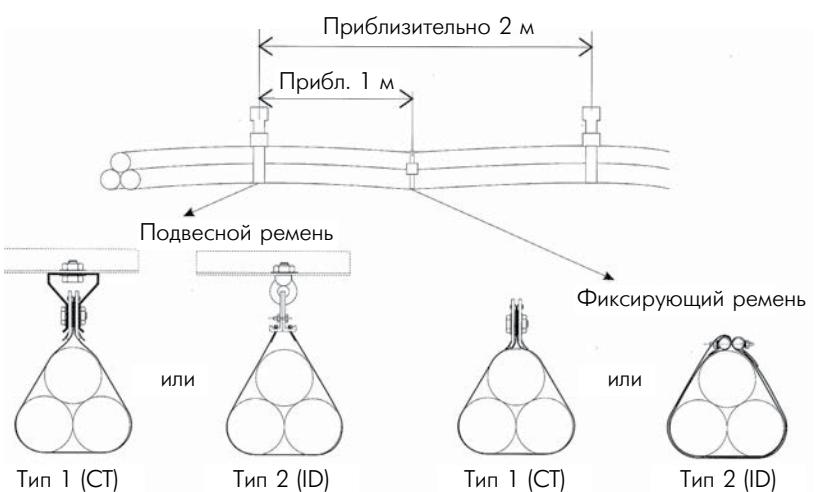
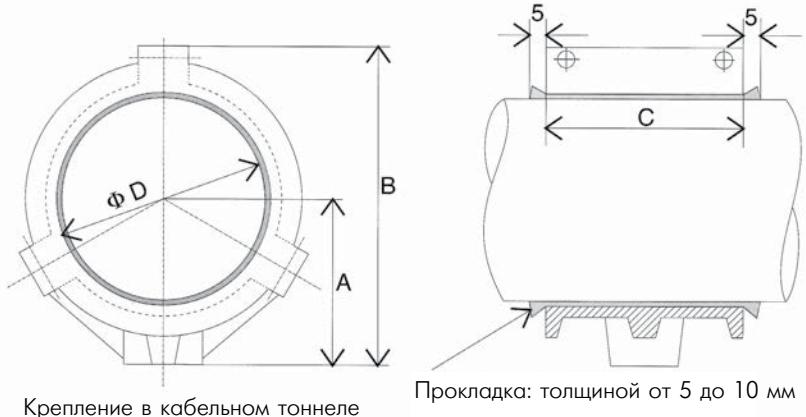
Характеристики ОПН:

- рабочее напряжение в стационарном режиме
- допустимое напряжение при КЗ
- мощность рассеивания энергии

Оборудование для крепления

Хомуты служат для закрепления кабелей, расположенных на жестких опорах или на пилонах. Для крепления кабелей в кабельных тоннелях используются ремни.

Эти хомуты крепятся на стержнях и на неподвижных или подвижных основаниях



Монтаж



МОНТАЖ КОНЦЕВЫХ МУФТ

При подготовке к прокладке кабеля необходимо исключить непосредственный контакт между внешней оболочкой кабеля и неровностями бетона. Поэтому кабели прокладываются в трубах из эластичной пластмассы (например, в полиэтиленовых трубах). Этот кабелепровод выступает на несколько сантиметров над уровнем земли (сверху кабелепровод заделывают гипсом).

Защитная сетка

Если металлические экраны изолированы от земли с помощью ОПН, то необходимо защитить персонал от повышенного напряжения, которое индуцируется на металлических экранах (до 400 В в номинальном режиме и до 20 кВ при переходных процессах), с помощью установки немагнитной сетки. Если металлические экраны расположены на высоте более 3 м (в особенности для линий выше 400 кВ), то нет необходимости устанавливать эти защитные устройства.

Хомуты для крепления кабеля

При вертикальном монтаже кабеля рекомендуется устанавливать 2 или более хомутов крепления кабеля к строительной конструкции.

КОНЦЕВЫЕ МУФТЫ, УСТАНАВЛИВАЕМЫЕ НА ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Платформа

Соединение с воздушной линией осуществляются с помощью аппарата зажима на токовыводе концевой муфты. Концевые муфты устанавливаются на горизонтальные платформы на высоте не менее 6 м и огораживаются защитной сеткой (состоит из разъемных секций), которая предотвращает несанкционированный доступ к оборудованию.

ОПН экрана

В случае специального соединения экранов, на них со стороны опоры устанавливаются ОПН для того, чтобы избежать дублирования защиты от АПВ. Для защиты персонала также используется сетка из немагнитного материала или другая система защиты (тороидальный измерительный трансформатор, установленный в цепи релейной защиты).

Кабели

Выходящие из земли кабели закрепляются хомутами, расположенными между уровнем земли и концевыми муфтами, огораживаются металлическими рамами с сеткой высотой не менее 2 м, которые окружают все три фазы.

Монтаж

Накопленный во время эксплуатации подземных линий электропередачи опыт показывает, что их надежность зависит, в основном, от качества выполнения тяжелых работ, условий транспортировки кабельного барабана, а также качества прокладки кабелей.

ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ

Защита кабеля

Внешние воздействия

Защита кабелей для обеспечения их долговременной работы непосредственно связана с методом и условиями прокладки кабеля. Кабели должны прокладываться таким образом, чтобы избежать любых вредных механических воздействий, как при прокладке кабеля, так и во время эксплуатации сети.

Механические воздействия

Кабели могут подвергаться механическим воздействиям во время транспортировки, размотки, прокладки или при монтаже кабельной арматуры.

Коррозия

Коррозия имеет химическую или электрохимическую природу или может возникать в результате воздействия сульфатно-восстановительных бактерий. В устройствах, работающих на постоянном токе (электрическая тяга, трамваи, промышленные установки (стационарные или мобильные), установки электролитической очистки, сварочное оборудование и др.), наличие блюжающих токов способствует интенсивному образованию коррозии.

Ограничения, накладываемые окружающей средой

Для некоторых коммуникаций, таких, например, как кабели, трубопроводы, канализационные линии требуются особые меры предосторожности в случае прохождения их рядом с высоковольтными линиями электропередачи. Различные виды грунта (например, морское побережье, горизонт грунтовых вод или зона кабельных тоннелей) а также наличие корней деревьев могут накладывать дополнительные ограничения на прокладку кабелей.

Прокладка кабельных линий

- выбор трассы

Критериями выбора трассы являются следующие аспекты:

- Ширина участка, отводимого для прокладки кабеля,
- Объем вынимаемого грунта,
- Особые объекты (канализационные коллекторы, мосты и т. д.),
- Близость выделяющего тепло оборудования (другие кабели, трубопроводы городского отопления).

Кроме этого при использовании соединительных кабельных колодцев необходимо принимать во внимание:

- Максимальную производственную длину кабеля,
- Максимальную протягиваемую длину кабеля,
- Метод выполнения заземления экранов кабеля (транспозиция).

Необходимо избегать прокладки силовых кабелей рядом с телекоммуникационными кабелями (отличными от тех, которые предназначены для прокладки вместе с силовыми кабелями и снабжены соответствующей защитой), а также рядом с нефтепроводами, так как это может вызвать проблемы, например, генерацию индуцированных токов.

Расстояния между кабелями должны выдерживаться в соответствии с действующими нормами.

Различные типы прокладки



Прокладка под землей

В большинстве случаев кабели с изоляцией прокладываются внутри подземных кабелепроводов (труб), основные характеристики которых приведены ниже.

В земле

Этот метод прокладки кабелей широко используется в большинстве стран. Преимущество такого метода заключается в том, что прокладка кабелей осуществляется быстро и с небольшими затратами. Засыпка грунтом и слоем мелкозернистого песка, связанным строительным раствором, или засыпка грунтом с контролируемыми тепловыми характеристиками (вместо мелкозернистого песка) позволяет значительно улучшить пропускную способность линии.

Глубина траншеи

Траншея для прокладки кабельной линии должна быть достаточно глубокой для того, чтобы обеспечить надежную защиту кабеля от механических воздействий (машины, земляные работы, строительство...) и обеспечить защиту имущества и персонала при возникновении электрической неисправности.

• в населенном пункте:

1,30 м/1,50 м

• на подстанции:

1,00 м

При использовании данного метода прокладки кабелей электродинамические проявления при возникновении неисправностей будут более значительными, чем в случае прокладки кабеля в трубах вследствие эффекта декомпрессионной камеры в трубах.

Ширина траншеи

Ширина траншеи зависит от используемого способа прокладки кабеля, а также от нужного промежутка между кабелями, который определяется пропускной способностью кабелей.

Ширина траншеи, занимаемая кабелем,

принимается во внимание и увеличивается в следующих случаях:

- при использовании песка или строительного раствора
- при проведении работ и размотки кабеля в траншее
- для деревянной крепи: по соображениям безопасности крепление грунта деревянной крепью должно обязательно выполняться, если глубина траншеи превышает 1,3 м.

Дно траншеи

Протяжка кабеля должна производиться на песчаном подстилающем слое толщиной не менее 15 см или на другой ровной поверхности.

Ровное дно:

Внизу траншеи должно быть подготовлено ровное дно с помощью 100 кг строительного раствора толщиной 5–10 см.

Межосевое расстояние двух линий:

Это расстояние зависит от тепловых характеристик материалов, которые используются при расчете пропускной способности каждой линии. На практике рекомендуется минимальное расстояние – порядка 0,70 м.

Засыпка грунтом

В зависимости от используемого метода прокладки кабеля, засыпка состоит из нескольких слоев грунта, утрамбованных надлежащим образом.

Средства предупреждения о наличии кабеля

В зависимости от используемого метода прокладки кабеля для этого могут применяться бетонные плиты, ограничительные сетки или предупреждающие ленты.

Провод заземления

Может использоваться изолированный провод заземления

(для метода заземления «специальное подключение оболочек» и/или установки специальных отводов на землю для предотвращения коррозии, инициированной блуждающими токами), который прокладывается рядом с кабелями.

Средства предупреждения о наличии кабеля

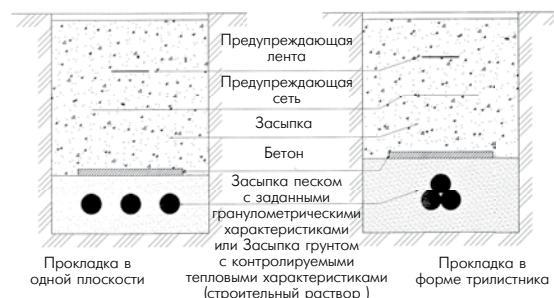
Средства предупреждения о наличии кабеля располагаются приблизительно на 10 см выше слоя строительного раствора для каждой линии (для этого используются сетки, бетонные плиты или стальные листы...)

Засыпка грунтом с контролируемыми тепловыми характеристиками (ПГС)

Опыт показывает, что не могут быть обеспечены постоянные тепловые характеристики термостабилизирующей засыпки (другие работы, проводимые поблизости, разрыхление почвы приводят к снижению теплопроводности почвы). На подстанциях такая термостабилизирующая засыпка должна использоваться как можно реже. В исключительных случаях при прокладке кабеля в грунте, который невозможно уплотнить, или в неудобных для прокладки кабеля породах (скальные породы, зольные шлаки, глины, известковые породы, пористые камни, базальт, перегной) необходимо предусмотреть данный вид засыпки.

31

Простые траншеи



Монтаж

ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ В КАБЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Засыпные кабельные каналы

Укладка в виде трилистника
Этот тип укладки в основном используется в городской зоне, так как он обеспечивает хорошую механическую защиту кабелей.

Глубина траншеи

Динамические проявления токов КЗ заставляют принимать соответствующие меры предосторожности при прокладке кабеля на небольшой глубине (в особенности при прокладке кабелей в железобетонных каналах). В городской черте глубина траншеи на протяжении трассы принимается примерно 1,4 м и 0,80 м на распределительной подстанции. Трамбовка грунтовой засыпки является обязательной, трамбовка выполняется на последовательных слоях засыпки толщиной 20 см.

Ширина траншеи

- Траншеи

Ширина траншеи должна быть минимальной для проведения земляных работ, но при этом должен обеспечиваться проход для персонала и возможное использование деревянной крепи. При прокладке двух линий минимальное межосевое расстояние между двумя линиями равно 0,70 м. При использовании деревянной крепи дополнительно резервируется 4 см с каждой стороны траншеи.

- Межосевое расстояние для двух линий.

Это расстояние зависит от тепловых характеристик материалов, которые используются при расчете пропускной способности каждой линии. На практике рекомендуется минимальное расстояние порядка 0,70 м.

Средства предупреждения о наличии кабеля

Средства предупреждения о наличии кабеля располагаются сверху кабельных каналов (на глубине приблизительно 20 см), это может быть сетка, кирпичная кладка или стальной лист.

Кабель заземления

В случае специального соединения экранов кабель заземления располагается в кабельном канале над расположенными в виде трилистника кабелями, на минимальном расстоянии от кабелей, для того, чтобы снизить напряжение, индуцируемое на экранах кабеля. Кабель заземления должен быть транспонирован, если это условие не выполнено силовыми кабелями.

В некоторых случаях при наличии зон с ближайшими токами прокладывается дополнительный кабель заземления (прокладка этого кабеля выполняется так же, как и для основного кабеля заземления).

Телекоммуникационные кабели

Телекоммуникационные кабели, называемые «контрольные кабели», всегда прокладываются в бетонированных траншеях для обеспечения надежной защиты от механических воздействий, а также для упрощения выполнения ремонта.

Особые меры предосторожности: для траншей глубиной более 1,3 м необходима деревянная крепь.

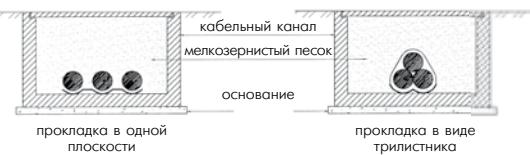
Наклонные каналы

Наклонные кабельные каналы используются в основном на распределительных подстанциях для совмещения уровней прокладки кабеля.

Прокладка кабелей на воздухе на опорной конструкции

Для компенсации расширения в направлении оси кабеля (продольное расширение), крепление должно выполняться с помощью метода «змейки». Если кабели подвергаются электродинамическим нагрузкам, возникающим при КЗ, необходимо зафиксировать кабели хомутами на одинаковых расстояниях, которые определяются в зависимости от качества системы крепления и создаваемых усилий.

Прокладка в кабельных каналах



Прокладка в засыпном кабельном канале





ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ В КАБЕЛЕПРОВОДАХ (ТРУБАХ)

Прокладка кабелей в кабелепроводах обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционной прокладкой в засыпных траншеях. Кабелепроводы прокладываются при строительстве инженерных коммуникаций до прокладки кабелей, что устраняет неудобства, связанные с выполнением земляных работ на траншеях в городской черте.

Преимущества использования кабелепровода:

- сокращает время проведения работ,
- обеспечивает эффективную механическую защиту на участках, где грунт подвержен усадке, особенно в местах с сильной вибрацией (риск кристаллизации свинца),
- устраняет необходимость рытья новых траншей на той же трассе.

Прокладка кабелей в форме трилистника без взаимного соприкосновения в трубах из ПВХ или ПЭ, залитых бетоном: Этот вид прокладки кабелей является наиболее распространенным. Прокладка кабелей в плоскости без взаимного соприкосновения в трубах из ПВХ или ПЭ, залитых бетоном используется, в основном, в особых случаях (кабели с повышенной защитой: вспомогательные линии группы 220 и 400 кВ, пересечение шоссе...).

Прокладка в форме трилистника без взаимного соприкосновения друг с другом

Глубина траншеи

Обычно используются траншеи, имеющие следующую глубину:

Пересечение с дорогой



Прокладка в одной плоскости

- в черте города: 1,50 м
 - на распределительных подстанциях: 0,90 м
- Рекомендуется создание бетонной заливки вокруг труб слоем с минимальной толщиной 10 см. Трамбовка грунтовой засыпки является обязательной, для восстановления исходной плотности грунта.

Ширина траншеи зависит, в основном, от внешнего диаметра труб, используемых для прокладки кабелей, а также от необходимой ширины:

- для прокладки труб: 4 см между двумя трубами необходимы для заливки бетоном
- для деревянной крепи: чтобы обеспечить возможность установки деревянной крепи, необходимо прибавить к ширине траншеи с каждой стороны еще по 4 см. Кроме этого, необходимо зарезервировать еще по 10 см между деревянной крепью и трубами для заливки этого пространства бетоном
- межосевое расстояние двух линий: это расстояние зависит от тепловых характеристик материала засыпки, которые используются при расчете пропускной способности каждой линии. На практике рекомендуется минимальное расстояние – порядка 0,70 м.

Прокладка труб

- Минимальный радиус изгиба при прокладке труб должен быть в 20 раз больше его наружного диаметра.
- Трубы собираются вместе по направлению протяжки кабеля.
- Диаметр протягиваемого кабеля должен соответствовать диаметру трубы (0,8 внутреннего диаметра трубы).
- Трубы должны быть откалиброваны и закрыты заглушками.
- Рекомендуется использование фиксирующих конструкций для обеспечения постоянного расстояния между трубами (расстояние между выступами фиксирующих конструкций в 10 раз больше наружного диаметра трубы).

Средства предупреждения о наличии кабеля

Средства предупреждения о наличии кабеля при прокладке кабеля в трубах, залитых бетоном, должны располагаться на расстоянии 10 см над поверхностью слоя бетона (ограждения, стальные листы, плиты и т. д.)

Кабель заземления

Изолированный кабель заземления (при его наличии) прокладывается в ПВХ трубе диаметром 75 мм в бетоне посредине между двумя фазами, которые образуют одну сторону трилистника (на минимальном расстоянии от кабелей для того, чтобы уменьшить индуцируемые на экранах напряжения). По этой же причине кабель заземления должен быть транспортирован, если это условие не выполнено силовыми кабелями.

Термостабилизирующая засыпка

Бетон обладает хорошими тепловыми характеристиками, и термостабилизирующая засыпка не требуется.

Прокладка на небольшой глубине (в железобетоне)

При прокладке кабельной линии в черте города, когда препятствия заставляют уменьшить глубину траншеи, при прокладке кабельной линии необходимо использовать железобетон. Категорически запрещается прокладывать кабель на глубине меньше 0,60 м.

Прокладка труб в одной плоскости, трубы расположены на расстоянии друг от друга

Такая прокладка кабельной линии является исключительной.

Технология прокладки идентична указанной выше, между трубами имеются зазоры, в которых должны быть проверены тепловые характеристики.

Монтаж

ПРОКЛАДКА В КАБЕЛЬНЫХ ТОННЕЛЯХ

При наличии на одной и той же трассе нескольких кабельных линий может потребоваться прокладка кабелей в подземном кабельном тоннеле.

ПРЕИМУЩЕСТВА

- Возможность прокладки нескольких кабелей в ограниченном пространстве без уменьшения пропускной способности линий вследствие взаимных тепловых воздействий, так как кабели прокладываются на воздухе, и кабельный тоннель вентилируется.
- Возможность прокладки новых кабелей без выполнения земляных работ.
- Возможность проникновения внутрь кабельного тоннеля для выполнения ремонтных работ и технического обслуживания.

НЕДОСТАКИ

- Основным недостатком этого способа прокладки кабелей является высокая стоимость строительных работ (обеспечение герметичности, вывоз грунта, использование дорогостоящего оборудования).
- Необходимость обеспечения противопожарной защиты.

ТИПЫ КАБЕЛЬНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Минимальные размеры кабельного тоннеля:

- Минимальная высота порядка 2 м (до потолка) вне зависимости от ширины.
- Свободный проход ширины 0,90 м (при установке кабелей на двух сторонах или одной стороне тоннеля).

Этот минимальный проход требуется для того, чтобы проложить кабели, выполнить монтаж, а также выполнять ремонт, и техническое обслуживание оборудования.

Колодцы доступа

Безопасность

Кабельный тоннель должен иметь как минимум два входа, независимо от его длины с минимальным расстоянием порядка 100 м между двумя колодцами для обеспечения безопасности персонала и

возможности выполнения его эвакуации при несчастных случаях. Минимальное сечение колодца: 0,9 м x 0,9 м (на входе 1,5 м x 1 м).

Вентиляционные колодцы

Температура воздуха внутри кабельного тоннеля зависит от мощности расположенных в нем кабелей, и равняется 20 °C в зимнее время и 30 °C в летнее время.

При прокладке кабельных линий высокого и сверхвысокого напряжения в кабельных каналах каждая кабельная линия выделяет в результате потерь тепло от 50 до 200 Вт/м, это тепло проникает через стенки канала и рассеивается в грунте. Такая же мощность рассеивается в кабельном тоннеле в воздухе, температура которого должна поддерживаться на указанном выше уровне.

Оборудование кабельного тоннеля

Кабель, как правило, подвешивается в кабельном тоннеле на крепежных устройствах (трубной секции или металлических полках и т. д.)

Металлические детали оборудования, расположенного в кабельном тоннеле, должны обязательно подсоединяться к кабелю заземления (эквипотенциальное соединение).

Система крепления кабелей в галерее, тоннеле или в наклонном канале

Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена имеют достаточно большой коэффициент теплового расширения, как в радиальном, так и в осевом направлении. Для компенсации радиального (поперечного) расширения между крепежным хомутом и кабелем должна быть вставлена прокладка из эластомера (Хайлапон или ЭПДМ). Для компенсации расширения в направлении оси кабеля (продольное расширение), когда кабель прокладывается в воздухе на участках большой протяженности, крепление должно выполняться с помощью метода «змейки».

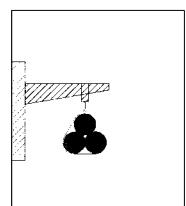
Амплитуда, провис и интервал между секциями кабеля при укладке методом «змейка» различаются в зависимости от электрических характеристик линии. Как правило, расстояние на отрезке между двумя жесткими опорами кабеля должно быть приблизительно в 25 раз больше диаметра кабеля, и амплитуда провисания кабеля должна быть равна одному диаметру кабеля.

Имеется несколько типов прокладки кабеля.

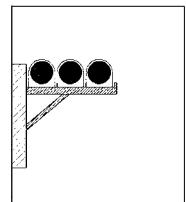
Крепление в вертикальной плоскости

- Крепление кабелей на жестких опорах, установленных на одинаковых расстояниях друг от друга
- Расположение змейкой в вертикальной плоскости
- На отрезках между жесткими опорами можно скреплять кабели между собой
- Возможность разматывать кабели прямо на их опоры.

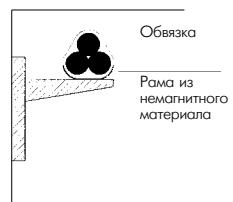
Прокладка в виде трилистника, змейкой в вертикальной плоскости



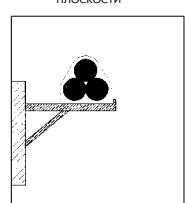
Прокладка в плоскости на полке, змейкой в горизонтальной плоскости



Прокладка в виде трилистника на опоре, змейкой в вертикальной плоскости



Прокладка в виде трилистника на полке, змейкой в горизонтальной плоскости



Крепление в форме трилистника с взаимным соприкосновением

- Кабели подвешиваются непосредственно на жестких опорах, установленных на одинаковых расстояниях друг от друга
- Возможна поддержка кабеля с помощью промежуточных подвесок
- Расположение змейкой в вертикальной плоскости

Прокладка в форме трилистника на кабельной полке

Установка выполняется так же, как описано выше.

Подземная кабельная линия может содержать несколько отрезков кабеля, соединенных между собой с помощью муфт, которые монтируются в так называемых «кабельных колодцах»

СОЕДИНЕНИЕ В КАБЕЛЬНЫХ КОЛОДЦАХ

Перед установкой соединительных муфт, кабельный колодец должен иметь дренаж и колодец для сбора грунтовых вод.

Расположение кабелей

Кабели находятся внутри кабельного колодца в одной плоскости для того, чтобы можно было выполнить установку соединительных муфт.

Расположение соединительных муфт

Расположение соединительных муфт зависит от свободного пространства под землей.

Различают следующие случаи расположения соединительных муфт:

- последовательное: это наиболее распространенный тип расположения
- сторона к стороне, при нормальной ширине и умеренной длине кабельного колодца
- в шахматном порядке: используется редко.

Вне зависимости от расположения, длинная сторона муфты должна всегда быть смещенной по отношению к оси колодца для обеспечения возможности сжатия и расширения (изгиб для компенсации удлинения).

Телекоммуникационные кабели

Телекоммуникационные кабели (кабели связи или оптоволоконные кабели) всегда прокладываются в кабелепроводах, монтируются в вышеуказанных колодцах или специальных камерах.



ЗАСЫПКА ГРУНТОМ, ТРАМБОВКА

Засыпка грунтом и

трамбовка обеспечивают:

- Безопасность для персонала в случае короткого замыкания
- Отвод тепла через грунт (увеличивается пропускная способность кабеля)
- Механическую прочность грунта
- Обеспечивается защита кабеля от внешних воздействий

Засыпка траншеи грунтом выполняется последовательными слоями, которые тщательно утрамбовываются.

ТЕРМОСТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ ЗАСЫПКА

Засыпка траншеи грунтом с контролируемыми тепловыми характеристиками выполняется для того, чтобы улучшить теплопроводность грунта, которая в некоторых случаях ограничивает пропускную способность кабеля вследствие его нагрева.

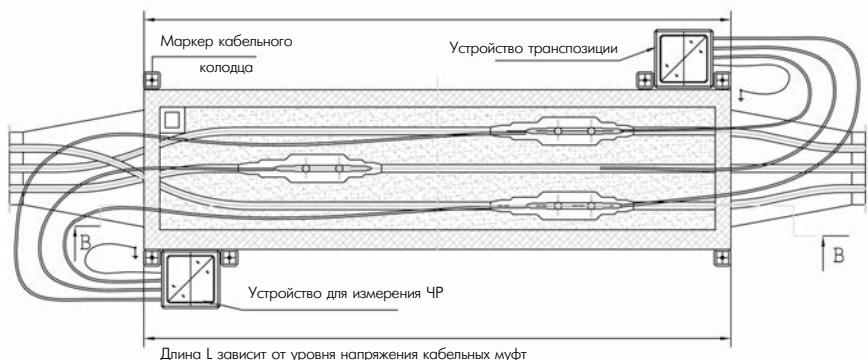
Для этого может быть использован натуральный песок.

МАРКИРОВКА ПОДЗЕМНЫХ КАБЕЛЕЙ

Маркировка подземных кабелей производится с помощью этикеток из ПВХ (самозатягивающиеся, не поддерживающие горение), которые устанавливаются в определенных местах на трассе, таких как: на концевых муфтах, в соединительных кабельных колодцах: по обе стороны соединительной муфты, в кабельных тоннелях: вверху и внизу, на блоках кабелепроводов и соединительных муфтах: на входе и на выходе блока, или в тоннелях, где располагаются другие коммуникационные линии, вместе с предупреждениями об опасности. Это также относится к маркировке кабелей заземления, телекоммуникационным кабелям, а также электропроводке.

Пример кабельного колодца

Вид сверху



Монтаж

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ

Для прокладки кабелей могут использоваться различные методы проходки и бурения, позволяющие решать различные задачи, такие как пересечение с дорогами, автомобильными шоссе, железными дорогами, каналами, реками или откосами.

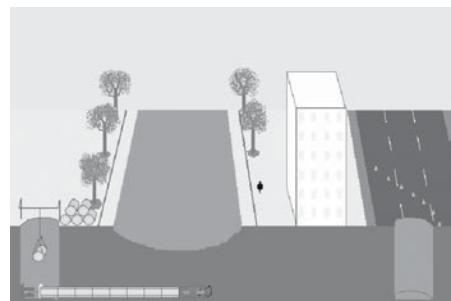
ТЕХНИКА ПРОХОДКИ

Этот метод был разработан для прокладки железобетонных трубных секций большого диаметра (от 1000 мм до 3200 мм). Сечение этих трубных секций позволяет выполнять подземную

проходку как горизонтально, так и с небольшим наклоном, и устраниет тем самым необходимость рыть открытую траншею (это особенно важно в местах пересечения кабельной трассы, например, с дорогой).

Существует две техники прокладки микротоннелей в зависимости от проектных условий:

- Метод проходки с вытеснением грунта
- Метод проходки с выемкой отработанного грунта

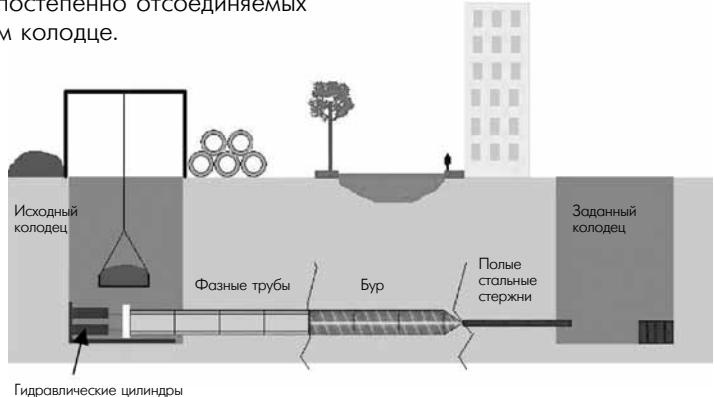


МЕТОД ПРОХОДКИ С ВЫТЕСНЕНИЕМ ГРУНТА

Полые стальные пилотные стержни (обсадные трубы) подаются из исходного колодца, направление задается лазерным лучом.

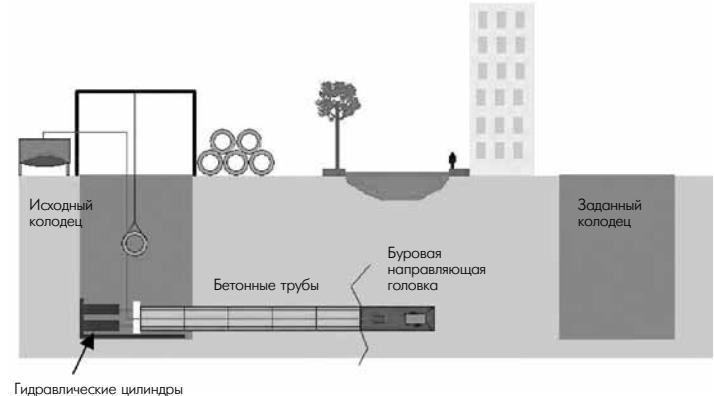
Когда передняя часть первого контрольного стержня достигнет заданного колодца, шnekовая буровая система затем подключает последний контрольный стержень.

Затем фазные трубы прокладываются шнековым устройством для выемки грунта, с помощью контрольных стержней постепенно отсоединяемых в заданном колодце.



МЕТОД ПРОХОДКИ С ВЫЕМКОЙ ОТРАБОТАННОГО ГРУНТА

Буровая головка направляется с помощью лазерного указателя. Головка проходной машины продвигается вперед и трубы последовательно проталкиваются с помощью гидравлических цилиндров. Грунт вынимается системой выемки отработанного грунта.





Наклонное горизонтальное бурение (НГБ)

Этот метод особенно эффективен при пересечении рек, каналов и т. д.

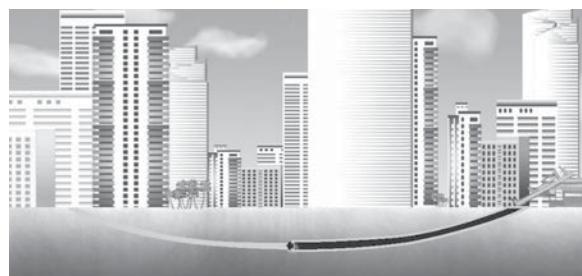
На рисунках показаны примеры наклонного горизонтального бурения и некоторое используемое при этом оборудование.

Техника бурения

Пилотная скважина



Обсадная труба



37

Бурение



Протяжка



Зависимость пропускной способности кабелей от методов прокладки

Информация, необходимая для расчета сечений жилы и экрана кабеля высоковольтной линии

- Напряжение сети
- Длина линии
- Ток, который будет передаваться
- Метод прокладки
- Максимальная глубина прокладки
- Величина и длительность прохождения тока КЗ
- Температура грунта и воздуха
- Близость источников тепла (например, кабель, трубопровод горячей воды)
- Тепловое сопротивление грунта

и для выбора аксессуаров высоковольтной линии

- Расположение линии в сети
- Атмосферные условия
- Тип трансформатора, если применяется
- Высота монтажа аксессуаров
- Минимальная и максимальная температуры



Метод прокладки

	Пропускная способность Номинальное напряжение Ток Длина линии	120 МВА 132 кВ 523 А 300 м	400 МВА 220 кВ 1050 А 1000 м
Прокладка в грунте 1 цепь	Тип и сечение проводника	400 мм ² алюминий	800 мм ² медь
Тепловое сопротивление грунта = 1 К•м/Вт	Система заземления металлического экрана	В двух точках	В одной точке
Температура грунта = 20 °C	Метод прокладки	Трилистиком вплотную друг к другу	В одной плоскости
Глубина прокладки L = 800 мм	Схема прокладки	T1	N1: s = 180 мм
Прокладка в грунте 1 цепь	Тип и сечение проводника	630 мм ² алюминий	1600 мм ² медь (сегментированная эмалированная жила)
Тепловое сопротивление грунта = 2 К•м/Вт	Система заземления металлического экрана	В двух точках	В одной точке
Температура грунта = 35 °C	Метод прокладки	Трилистиком вплотную друг к другу	В одной плоскости
Глубина прокладки L = 2000 мм	Схема прокладки	T1	N1: s = 450 мм
Прокладка в кабельном тоннеле	Тип и сечение проводника	300 мм ² алюминий	630 мм ² медь
Температура воздуха = 40 °C	Система заземления металлического экрана	В двух точках	В одной точке
	Метод прокладки	Трилистиком вплотную друг к другу	В одной плоскости
	Схема прокладки	T2	N2: s = 180 мм
Прокладка кабеля в кабелепроводах, заливых бетоном 2 цепи	Тип и сечение проводника	800 мм ² алюминий	2000 мм ² медь (сегментированная эмалированная жила)
Тепловое сопротивление грунта = 2 К•м/Вт	Система заземления металлического экрана	В двух точках	В одной точке
Температура грунта = 35 °C	Метод прокладки	Трилистиком вплотную друг к другу	В одной плоскости
Глубина прокладки L = 800 мм	Схема прокладки	T3: s = 200 мм x 700 мм	N3: s = 400 мм x 2500 мм

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЯ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ

Из приведенной выше таблицы следует, что пропускная способность кабеля зависит от способа прокладки кабеля, то есть при разных способах прокладки кабеля для передачи одинакового тока требуются кабели разного сечения. Поэтому перед расчетом сечения кабеля необходимо знать параметры его прокладки.

Таблицы допустимой силы тока для медных и алюминиевых проводников

Металлические экраны рассчитываются так, чтобы выдержать ток КЗ согласно данным, представленным в таблице ниже.

Напряжение «фаза–фаза» кВ	Ток КЗ
110 ≤ U < 220	20 кА – 1 сек
220 ≤ U ≤ 345	31,5 кА – 1 сек
345 < U ≤ 500	63 кА – 0,5 сек

Коэффициент загрузки: 100 %

Цифры в таблицах, представленных на последующих страницах, позволяют выполнить приблизительный расчет необходимого сечения кабеля.

Эти приблизительные расчеты не должны заменять расчеты, выполняемые Технической Службой высокого напряжения фирмы NEXANS, учитывающей все необходимые параметры.

Определение сечения токопроводящей жилы и расчет допустимой силы тока

Сечение токопроводящей жилы определяется передаваемой мощностью или током, протекающим в каждой фазе. Ток определяется с помощью следующей формулы:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times U}$$

I: допустимый ток, А

S: полная мощность линии, кВА

U: линейное напряжение линии, кВ

Сечение токопроводящей жилы должно быть таким, чтобы нагрев кабеля вследствие потерь на электрическую проводимость и диэлектрических потерь в изоляции кабеля, не приводил к повышению температуры изоляции кабеля до значения, превышающего теплостойкость материала изоляции.

Допустимые температуры для изоляции из сшитого полиэтилена

- Температура при нормальном рабочем режиме	90 °C
- Температура при аварийном рабочем режиме	100 °C
- Температура при КЗ (< 5 сек)	250 °C

Допустимый ток в амперах, приводимый в таблицах, которые представлены на следующих страницах, должен быть скорректирован в зависимости от различных параметров:

- Тип прокладки (под землей, или на воздухе)
- Тепловое сопротивление грунта
- Температура грунта
- Температура воздуха
- Эффект близости для двух, трех или четырех цепей.

Поправочные коэффициенты

Глубина прокладки в метрах	1,0	1,2	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5
Поправочный коэффициент	1,03	1,01	1,00	0,98	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86

Тепловое сопротивление грунта	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Поправочный коэффициент	1,09	1,00	0,93	0,85	0,74	0,67

Температура грунта в °C	10	15	20	25	30	35	40
Поправочный коэффициент	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,84

Температура воздуха в °C	10	20	30	40	50	60
Поправочный коэффициент	1,17	1,09	1,00	0,90	0,80	0,68

Эффект близости, расстояние между двумя цепями (мм)	400	600	800	1000
1 цепь	1,00	1,00	1,00	1,00
2 цепи	0,79	0,83	0,87	0,89
3 цепи	0,70	0,75	0,78	0,81
4 цепи	0,64	0,70	0,74	0,78



Таблицы значений допустимого тока



- 64/110 (123) кВ алюминиевый проводник	42
- 64/110 (123) кВ медный проводник	43
- 76/132 (145) кВ алюминиевый проводник	44
- 76/132 (145) кВ медный проводник	45
- 87/150 (170) кВ алюминиевый проводник	46
- 87/150 (170) кВ медный проводник	47
- 127/220 (245) кВ алюминиевый проводник	48
- 127/220 (245) кВ медный проводник	49
- 160/275 (300) кВ алюминиевый проводник	50
- 160/275 (300) кВ медный проводник	51
- 190/330 (362) кВ алюминиевый проводник	52
- 190/330 (362) кВ медный проводник	53
- 230/400 (420) кВ алюминиевый проводник	54
- 230/400 (420) кВ медный проводник	55
- 290/500 (550) кВ алюминиевый проводник	56
- 290/500 (550) кВ медный проводник	57

Напряжение 64/110 (123) кВ, алюминиевый проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран		
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
240 R	18.4	15.4	0.1250	0.16	180	66	4	85	72	9	100	68	5	330	77	4	800	73	13
300 R	20.5	14.7	0.1000	0.17	180	67	4	85	73	9	100	69	5	340	77	5	810	73	13
400 R	23.3	14.0	0.0778	0.19	190	69	4	85	74	10	95	71	5	340	79	5	810	75	13
500 R	26.4	13.4	0.0605	0.21	190	71	5	80	76	10	95	72	5	380	82	5	810	76	14
630 R	30.3	12.9	0.0469	0.24	180	73	5	80	79	11	90	76	6	390	85	6	800	79	14
800 R	34.7	12.9	0.0367	0.27	170	78	6	75	84	12	90	80	7	420	90	7	810	83	15
1000 R	38.2	13.1	0.0291	0.28	180	82	7	70	88	14	85	84	8	470	95	8	800	87	16
1200 R	41.4	13.3	0.0247	0.29	190	86	8	65	92	15	85	88	8	490	99	9	790	90	16
1600 S	48.9	13.6	0.0186	0.33	170	95	10	50	102	18	80	98	10	580	110	11	800	100	19

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила

S: сегментированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение		
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле				
мм ²		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C		
240 R	с циркулирующим током	405	350	510	405	без циркулирующего тока	430	375	580	465	240 R
		455	390	580	460		485	420	665	535	300 R
		515	445	670	530		560	480	780	625	400 R
		580	500	770	610		640	550	910	725	500 R
630 R	без циркулирующего тока	695	595	925	735		735	630	1 065	850	630 R
		785	670	1 070	845		835	715	1 240	990	800 R
		870	745	1 205	955		935	800	1 410	1 125	1000 R
		930	795	1 305	1 035		1 010	865	1 545	1 230	1200 R
1600 S	1 135	975	1 645	1 305	1 230	1 055	1 925	1 535	1600 S		

Напряжение 64/110 (123) кВ, медный проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
240 R	18.4	15,4	0,0754	0,16	180	66	5	85	72	11	100	68	6	330	77	6	800	73	14			
300 R	20,5	14,7	0,0601	0,17	180	67	6	85	73	11	100	69	7	340	77	6	810	73	15			
400 R	23,2	14,0	0,0470	0,19	190	68	7	85	74	12	95	70	7	340	79	7	810	75	16			
500 R	26,7	13,4	0,0366	0,22	190	71	8	80	77	13	95	73	8	380	82	9	820	77	17			
630 R	30,3	12,9	0,0283	0,24	180	73	9	80	79	15	90	76	10	390	85	10	800	79	18			
800 R	34,7	12,9	0,0221	0,27	170	78	11	75	84	17	90	80	12	420	90	12	810	83	20			
1000 R	38,8	13,2	0,0176	0,28	180	83	13	65	89	20	85	85	14	470	96	14	810	88	23			
1000 S	40,0	13,3	0,0176	0,29	190	86	14	65	92	21	85	88	15	490	99	15	790	90	23			
1200 S	42,5	13,4	0,0151	0,31	200	89	16	60	95	23	85	91	16	510	101	17	790	93	24			
1600 S	48,9	14,4	0,0113	0,32	170	97	21	50	104	29	80	100	22	650	112	23	790	101	30			
1600 S En	48,9	14,4	0,0113	0,32	170	97	21	50	104	29	80	100	22	650	112	23	790	101	30			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила
S: сегментированная жила
S En: сегментированная эмалированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение
	Заземление ток, индукционный в металлическом экране		В земле	В воздухе, в тоннеле	Заземление ток, индукционный в металлическом экране		В земле	В воздухе, в тоннеле	
мм ²	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	мм ²
240 R	510	440	645	515	555	480	745	595	240 R
300 R	570	490	730	580	625	540	855	685	300 R
400 R	635	550	835	665	715	615	995	795	400 R
500 R	710	610	950	755	810	700	1 160	925	500 R
630 R	860	740	1 155	915	925	795	1 345	1 075	630 R
800 R	960	820	1 310	1 040	1 040	890	1 545	1 235	800 R
1000 R	1 040	895	1 455	1 155	1 145	985	1 735	1 385	1000 R
1000 S	1 125	965	1 580	1 255	1 220	1 045	1 850	1 480	1000 S
1200 S	1 205	1 030	1 710	1 355	1 315	1 125	2 015	1 610	1200 S
1600 S	1 280	1 095	1 850	1 470	1 400	1 200	2 190	1 750	1600 S
1600 S En	1 380	1 185	2 005	1 590	1 525	1 310	2 390	1 910	1600 S En

Напряжение 76/132 (145) кВ, алюминиевый проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран		
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
300 R	20.5	18.1	0.1000	0.15	180	74	5	80	80	10	90	76	5	400	86	6	810	80	14
400 R	23.3	17.1	0.0778	0.17	190	75	5	80	81	11	90	77	6	400	87	6	800	80	14
500 R	26.4	16.3	0.0605	0.19	190	76	5	75	83	11	90	79	6	410	88	6	810	82	14
630 R	30.3	15.5	0.0469	0.21	170	79	6	75	85	12	90	81	6	420	91	7	790	84	15
800 R	34.7	14.8	0.0367	0.24	180	82	7	70	88	13	85	84	7	470	95	8	800	87	16
1000 R	38.2	14.7	0.0291	0.26	190	85	7	65	91	14	85	88	8	490	98	8	790	90	16
1200 R	41.4	14.9	0.0247	0.27	200	89	8	60	95	16	85	91	9	510	102	9	800	93	17
1600 S	48.9	15.3	0.0186	0.30	180	99	10	45	106	19	80	102	11	660	114	12	800	103	19
2000 S	54.0	15.5	0.0149	0.32	190	105	12	35	112	22	75	108	12	760	120	14	790	109	21

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила

S: сегментированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране		В земле	В воздухе, в тоннеле	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране		В земле	В воздухе, в тоннеле	
мм ²	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	мм ²
300R	455	390	575	460	485	420	655	525	300R
400 R	515	445	665	530	560	480	765	615	400 R
500 R	580	500	770	610	640	550	895	715	500 R
630 R	695	595	925	735	735	630	1050	840	630 R
800 R	780	670	1065	845	835	715	1225	980	800 R
1000 R	865	745	1 200	950	935	800	1395	1115	1000 R
1200 R	930	795	1 300	1 035	1010	865	1525	1220	1200 R
1600 S	1 135	970	1 635	1 295	1225	1055	1900	1 520	1600 S
2000 S	1 255	1 075	1 845	1 465	1375	1180	2170	1 735	2000 S
без циркулирующего тока									

Напряжение 76/132 (145) кВ, медный проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
300 R	20.5	18.1	0.0601	0.15	180	74	7	80	80	12	90	76	7	400	86	7	810	80	16			
400 R	23.2	17.1	0.0470	0.17	190	75	7	80	81	13	90	77	8	400	87	8	800	80	16			
500 R	26.7	16.2	0.0366	0.19	190	77	9	75	83	15	90	79	9	410	88	9	790	82	17			
630 R	30.3	15.5	0.0283	0.21	170	79	10	75	85	16	90	81	10	420	91	11	790	84	19			
800 R	34.7	14.8	0.0221	0.24	180	82	12	70	88	18	85	84	12	470	95	13	800	87	21			
1000 R	38.8	14.8	0.0176	0.26	190	86	14	65	92	21	85	88	14	490	99	15	790	91	23			
1000 S	40.0	14.9	0.0176	0.27	200	89	14	60	95	22	85	91	15	510	102	15	800	93	23			
1200 S	42.5	15.0	0.0150	0.28	160	92	16	55	98	24	80	94	16	560	106	17	790	96	25			
1600 S	48.9	16.4	0.0113	0.29	180	101	22	40	108	31	80	104	22	740	117	23	790	105	30			
1600 S En	48.9	16.4	0.0113	0.29	180	101	22	40	108	31	80	104	22	740	117	23	790	105	30			
2000 S	57.2	16.4	0.0090	0.32	160	110	25	25	117	35	75	113	25	870	126	27	830	114	34			
2000 S En	57.2	16.4	0.0090	0.32	160	110	25	25	117	35	75	113	25	870	126	27	830	114	34			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила
S: сегментированная жила
S En: сегментированная эмалированная жила

45

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение						
	Заземление ток, индуцированный экране в металлическом		В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток, индуцированный в металлическом экране			В земле		В воздухе, в тоннеле			
мм ²	с циркулирующим током	без циркулирующего тока	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	мм ²
300 R			570	490	730	585			625	540	840	675	300 R		
400 R			640	550	835	665			710	615	980	785	400 R		
500 R			710	610	955	760			810	700	1 140	915	500 R		
630 R			860	740	1 150	915			920	795	1 325	1 060	630 R		
800 R			780	670	1 065	845			835	715	1 225	980	800 R		
1000 R			1 040	895	1 450	1 150			1 145	980	1 720	1 375	1 000 R		
1000 S			1 125	965	1 575	1 250			1 215	1 045	1 830	1 465	1 000 S		
1200 S			1 215	1 040	1 715	1 360			1 315	1 130	2 000	1 600	1 200 S		
1600 S			1 275	1 095	1 840	1 460			1 400	1 200	2 160	1 730	1 600 S		
1600 S En			1 375	1 180	1 995	1 585			1 525	1 305	2 360	1 890	1 600 S En		
2000 S			1 385	1 185	2 050	1 630			1 535	1 315	2 435	1 945	2 000 S		
2000 S En			1 540	1 315	2 290	1 815			1 730	1 480	2 755	2 200	2 000 S En		

Напряжение 87/150 (170) кВ, алюминиевый проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
400 R	23.3	20.7	0.0778	0.15	180	82	6	65	88	13	85	85	6	470	95	7	810	87	15			
500 R	26.4	19.6	0.0605	0.16	190	83	6	65	89	13	85	85	7	480	96	7	790	88	15			
630 R	30.3	18.5	0.0469	0.19	190	85	7	65	91	13	85	87	7	490	98	8	810	90	16			
800 R	34.7	17.6	0.0367	0.21	200	88	7	60	94	15	85	90	8	500	101	8	810	92	16			
1000 R	38.2	17.0	0.0291	0.23	200	90	8	60	96	15	85	92	9	520	103	9	810	94	17			
1200 R	41.4	16.6	0.0247	0.25	160	92	9	55	99	17	80	95	9	560	107	10	800	97	18			
1600 S	48.9	15.8	0.0186	0.30	180	100	10	45	107	19	80	103	11	670	115	12	780	104	19			
2000 S	54.0	15.5	0.0149	0.32	190	105	12	35	112	22	75	108	12	760	120	14	790	109	21			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила

S: сегментированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение		
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле		Номинальное сечение		
мм ²		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C		
400 R	с циркулирующим током	515	445	665	530		555	480	755	605	400 R
500 R		580	500	765	610		635	550	880	705	500 R
630 R		690	595	920	730		730	630	1 035	830	630 R
800 R		780	670	1 065	845		835	715	1 225	980	800 R
1000 R		865	745	1 195	950		930	800	1 375	1 100	1000 R
1200 R		935	800	1 300	1 035		1 010	865	1 515	1 210	1200 S
1600 S	без циркулирующего тока	1 130	970	1 630	1 295		1 225	1 050	1 895	1 515	1600 S
2000 S		1 255	1 075	1 845	1 460		1 375	1 175	2 170	1 735	2000 S

Напряжение 87/150 (170) кВ, медный проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
400 R	23.2	20.8	0.0470	0.15	180	82	8	65	88	15	85	85	9	470	95	9	810	87	17	400 R	23.2	20.8
500 R	26.7	19.5	0.0366	0.17	190	83	9	65	89	16	85	86	10	480	96	10	790	88	18	500 R	26.7	19.5
630 R	30.3	18.5	0.0283	0.19	190	85	11	65	91	17	85	87	11	490	98	12	810	90	20	630 R	30.3	18.5
800 R	34.7	17.6	0.0221	0.21	200	88	12	60	94	20	85	90	13	500	101	13	810	92	21	800 R	34.7	17.6
1000 R	38.8	17.0	0.0176	0.23	200	91	15	55	97	22	85	93	15	550	105	16	780	95	23	1000 R	38.8	17.0
1000 S	40.0	16.7	0.0176	0.25	170	92	15	55	99	23	80	95	15	560	107	16	800	97	24	1000 S	40.0	16.7
1200 S	42.5	16.7	0.0151	0.26	170	95	16	50	102	25	80	98	17	580	110	18	800	100	25	1200 S	42.5	16.7
1600 S	48.9	16.4	0.0113	0.29	180	101	22	40	108	31	80	104	22	740	117	23	790	105	30	1600 S	48.9	16.4
1600 S En	48.9	16.4	0.0113	0.29	180	101	22	40	108	31	80	104	22	740	117	23	790	105	30	1600 S En	48.9	16.4
2000 S	57.2	16.4	0.0090	0.32	160	110	25	25	117	35	75	113	25	870	126	27	830	114	34	2000 S	57.2	16.4
2000 S En	57.2	16.4	0.0090	0.32	160	110	25	25	117	35	75	113	25	870	126	27	830	114	34	2000 S En	57.2	16.4

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила
S: сегментированная жила
S En: сегментированная эмалированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране		В земле	В воздухе, в тоннеле	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране		В земле	В воздухе, в тоннеле	
мм ²	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	мм ²
400 R	640	550	835	665	710	615	960	775	400 R
500 R	715	615	955	760	810	700	1 125	900	500 R
630 R	860	740	1 145	910	920	795	1 305	1 045	630 R
800 R	780	670	1 065	845	835	715	1 225	980	800 R
1000 R	1 040	895	1 445	1 150	1 140	980	1 700	1 360	1000 R
1000 S	1 130	970	1 575	1 250	1 220	1 045	1 815	1 455	1000 S
1200 S	1 210	1 040	1 705	1 355	1 315	1 130	1 980	1 585	1200 S
1600 S	1 275	1 090	1 840	1 460	1 395	1 200	2 160	1 730	1600 S
1600 S En	1 375	1 180	1 990	1 580	1 520	1 305	2 360	1 885	1600 S En
2000 S	1 385	1 185	2 050	1 625	1 530	1 310	2 435	1 945	2000 S
2000 S En	1 535	1 315	2 290	1 815	1 725	1 480	2 750	2 200	2000 S En
с циркулирующим током									
без циркулирующего тока									

Напряжение 127/220 (245)кВ, алюминиевый проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
400 R	23.3	21.6	0.0778	0.14	310	85	6	145	91	14	165	87	8	480	97	7	1290	93	21	400 R	23.3	21.6
500 R	26.4	22.2	0.0605	0.15	300	90	7	135	96	15	160	92	8	510	102	8	1280	97	21	500 R	26.4	22.2
630 R	30.3	20.4	0.0469	0.17	300	90	7	135	96	15	160	92	8	510	102	8	1290	97	22	630 R	30.3	20.4
800 R	34.7	18.4	0.0367	0.20	300	90	8	135	97	16	160	93	9	510	102	9	1290	98	22	800 R	34.7	18.4
1000 R	38.2	18.4	0.0291	0.21	290	94	9	130	100	17	155	96	10	560	107	10	1290	101	23	1000 R	38.2	18.4
1200 R	41.4	18.7	0.0247	0.22	300	98N	10	120	105	19	155	100	11	650	112	11	1280	105	24	1200 R	41.4	18.7
1600 S	48.9	18.5	0.0186	0.25	300	107	12	110	114	22	150	109	13	770	121	13	1270	113	26	1600 S	48.9	18.5
2000 S	54.0	20.1	0.0149	0.25	290	115	14	95	123	25	145	118	15	940	130	16	1280	121	28	2000 S	54.0	20.1
2500 S	63.5	19.2	0.0119	0.30	280	123	16	80	131	29	140	126	17	1 080	139	18	1260	128	30	2500 S	63.5	19.2

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила

S: сегментированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение		
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле				
мм ²		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	мм ²
400 R	без циркулирующего тока	525	455	675	540	без циркулирующего тока	555	480	750	600	400 R
500 R		600	520	780	625		630	545	870	700	500 R
630 R		680	585	910	725		725	625	1 025	820	630 R
800 R		765	660	1 045	830		820	705	1 200	960	800 R
1000 R		850	730	1 180	935		920	790	1 360	1 090	1000 R
1200 R		910	780	1 280	1 015		995	855	1 490	1 190	1200 R
1600 S		1 095	935	1 590	1 260		1 200	1 030	1 850	1 480	1600 S
2000 S		1 210	1 035	1 785	1 420		1 345	1 155	2 100	1 680	2000 S
2500 S		1 345	1 145	2 050	1 625		1 520	1 300	2 455	1 960	2500 S

Напряжение 127/220 (245) кВ, медный проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
400 R	23.2	21.6	0.0470	0.14	310	85	9	145	91	16	165	87	10	480	97	10	1290	93	23			
500 R	26.7	22.1	0.0366	0.15	300	90	10	135	96	18	160	92	11	510	102	11	1280	97	24			
630 R	30.3	20.4	0.0283	0.17	300	90	11	135	96	19	160	92	12	510	102	12	1290	97	26			
800 R	34.7	18.4	0.0221	0.20	300	90	13	135	97	21	160	93	14	510	102	14	1290	98	27			
1000 R	38.8	18.1	0.0176	0.21	290	94	15	130	100	24	155	96	16	560	107	16	1290	101	29			
1000 S	40.0	18.5	0.0176	0.22	300	97	16	120	104	25	155	100	17	640	111	17	1280	104	30			
1200 S	42.5	19.5	0.0151	0.22	290	102	18	115	109	27	150	104	19	740	116	19	1280	109	32			
1600 S	48.9	18.5	0.0113	0.25	300	107	23	110	114	33	150	109	24	770	121	24	1270	113	37			
1600 S En	48.9	18.5	0.0113	0.25	300	107	23	110	114	33	150	109	24	770	121	24	1270	113	37			
2000 S	57.2	18.5	0.0090	0.28	290	115	26	95	123	38	145	118	27	940	130	28	1280	121	40			
2000 S En	57.2	18.5	0.0090	0.28	290	115	26	95	123	38	145	118	27	940	130	28	1280	121	40			
2500 S En	63.5	19.2	0.0072	0.30	280	123	32	80	131	45	140	126	33	1080	139	35	1260	128	46			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила
S: сегментированная жила
S En: сегментированная эмалированная жила

49

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистиника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение	
	Заземление током индукционного поля в металлическом экране		В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление током индукционного поля в металлическом экране			
	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		
400 R	665	575	855	685	705	610	955	770	400 R	
500 R	750	650	985	785	800	690	1 110	890	500 R	
630 R	845	725	1 130	900	910	785	1 290	1 035	630 R	
800 R	935	800	1 285	1 020	1 020	875	1 495	1 195	800 R	
1000 R	1 020	875	1 425	1 130	1 125	965	1 680	1 345	1000 R	
1000 S	1 090	935	1 535	1 220	1 195	1 025	1 785	1 425	1 000 S	
1200 S	1 170	1 000	1 660	1 320	1 285	1 105	1 935	1 550	1 200 S	
1600 S	1 225	1 045	1 785	1 415	1 365	1 170	2 115	1 690	1 600 S	
1600 S En	1 315	1 125	1 930	1 530	1 480	1 270	2 305	1 840	1 600 S En	
2000 S	1 315	1 125	1 975	1 565	1 490	1 275	2 370	1 895	2 000 S	
2000 S En	1 450	1 235	2 195	1 740	1 665	1 425	2 675	2 135	2 000 S En	
2500 S En	1 585	1 350	2 445	1 940	1 860	1 585	3 035	2 425	2 500 S En	

Напряжение 160/275 (300) кВ, алюминиевый проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
500 R	26.4	23.8	0.0605	0.14	290	93	8	130	100	16	160	95	9	560	106	9	1270	100	22			
630 R	30.3	22.0	0.0469	0.16	290	93	8	130	100	16	155	96	9	560	107	9	1280	100	22			
800 R	34.7	21.8	0.0367	0.17	300	97	9	125	104	18	155	100	10	640	111	10	1280	104	23			
1000 R	38.2	20.2	0.0291	0.19	300	97	9	120	105	18	155	100	10	650	111	10	1280	104	23			
1200 R	41.4	20.7	0.0247	0.20	290	102	10	115	109	20	150	104	11	740	116	12	1280	108	24			
1600 S	48.9	22.4	0.0186	0.22	290	115	13	95	122	25	145	117	14	940	130	15	1270	120	27			
2000 S	54.0	23.5	0.0149	0.23	280	122	15	80	130	28	140	125	16	1040	138	17	1250	127	29			
2500 S	63.5	22.7	0.0119	0.26	300	130	17	60	138	31	135	133	18	1190	147	20	1260	135	31			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила

S: сегментированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение		
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле				
мм ²		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	мм ²
500 R		595	515	775	620		630	545	865	690	500 R
630 R		680	585	905	720		720	620	1 015	810	630 R
800 R		765	655	1 040	825		815	700	1 175	940	800 R
1000 R		845	725	1 170	930		915	785	1 345	1 075	1000 R
1200 R		905	775	1 275	1 010		990	845	1 470	1 175	1200 R
1600 S		1 090	930	1 575	1 250		1 195	1 025	1 810	1 450	1600 S
2000 S		1 210	1 035	1 775	1 410		1 340	1 145	2 060	1 650	2000 S
2500 S		1 330	1 135	2 025	1 605		1 505	1 285	2 400	1 920	2500 S

Напряжение 160/275 (300) кВ, медный проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
500 R	26.7	23.7	0.0366	0.14	290	93	11	130	100	19	160	95	12	560	106	12	1270	100	25			
630 R	30.3	22.0	0.0283	0.16	290	93	12	130	100	20	155	96	13	560	107	13	1280	100	26			
800 R	34.7	21.8	0.0221	0.17	300	97	14	125	104	23	155	100	15	640	111	15	1280	104	28			
1000 R	38.8	21.9	0.0176	0.19	290	101	16	115	108	26	150	104	17	740	116	18	1270	108	30			
1000 S	40.0	20.4	0.0176	0.20	290	101	16	115	108	26	150	104	17	670	115	18	1270	108	30			
1200 S	42.5	21.4	0.0151	0.20	300	106	18	110	113	28	150	108	19	770	121	20	1270	112	32			
1600 S	48.9	22.4	0.0113	0.22	290	115	24	95	122	36	145	117	25	940	130	26	1270	120	38			
1600 S En	48.9	22.4	0.0113	0.22	290	115	24	95	122	36	145	117	25	940	130	26	1270	120	38			
2000 S	57.2	21.9	0.0090	0.25	280	122	27	80	130	40	140	125	28	1040	138	29	1250	127	41			
2000 S En	57.2	21.9	0.0090	0.25	280	122	27	80	130	40	140	125	28	1040	138	29	1250	127	41			
2500 S En	63.5	21.8	0.0072	0.27	290	129	33	65	136	47	135	131	34	1170	145	36	1270	134	47			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила
S: сегментированная жила
S En: сегментированная эмалированная жила

51

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистиника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение						
	Заземление током индукционный в металлическом экране		В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление током индукционный в металлическом экране			В земле		В воздухе, в тоннеле			
	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	mm ²	
500 R	750	645	980	780						795	690	1 100	880	500 R	
630 R	840	725	1 125	895						905	780	1 280	1 025	630 R	
800 R	930	800	1 275	1 015						1 015	870	1 465	1 175	800 R	
1000 R	1 015	870	1 415	1 125						1 120	960	1 645	1 320	1000 R	
1000 S	1 085	930	1 530	1 215						1 185	1 015	1 765	1 410	1000 S	
1200 S	1 155	990	1 645	1 305						1 275	1 095	1 910	1 530	1200 S	
1600 S	1 220	1 045	1 775	1 405						1 355	1 160	2 070	1 655	1600 S	
1600 S En	1 310	1 120	1 915	1 520						1 475	1 260	2 260	1 805	1600 S En	
2000 S	1 315	1 120	1 965	1 560						1 480	1 265	2 330	1 860	2000 S	
2000 S En	1 450	1 235	2 185	1 735						1 660	1 420	2 630	2 100	2000 S En	
2500 S En	1 565	1 330	2 425	1 920						1 840	1 570	2 990	2 385	2500 S En	

Напряжение 190/330 (362) кВ, алюминиевый проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
500 R	26.4	25.7	0.0605	0.13	300	97	8	125	104	17	155	99	9	640	111	9	1270	104	22			
630 R	30.3	23.9	0.0469	0.15	300	97	8	125	104	17	155	100	9	640	111	10	1270	104	23			
800 R	34.7	21.8	0.0367	0.17	300	97	9	125	104	18	155	100	10	640	111	10	1280	104	23			
1000 R	38.2	22.1	0.0291	0.18	290	101	10	115	108	19	150	104	11	740	116	11	1270	108	24			
1200 R	41.4	22.6	0.0247	0.19	300	106	11	110	113	21	150	108	12	770	120	12	1270	112	25			
1600 S	48.9	22.4	0.0186	0.22	290	115	13	95	122	25	145	117	14	940	130	15	1270	120	27			
2000 S	54.0	23.5	0.0149	0.23	280	122	15	80	130	28	140	125	16	1040	138	17	1250	127	29			
2500 S	63.5	22.7	0.0119	0.26	300	130	17	60	138	31	135	133	18	1190	147	20	1250	135	31			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила

S: сегментированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение		
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле				
мм ²		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	мм ²
без циркулирующего тока	500 R	595	510	770	615	без циркулирующего тока	625	540	855	685	500 R
		675	580	900	715		715	615	1 005	805	630 R
		755	650	1 035	820		810	695	1 175	935	800 R
		840	720	1 165	925		910	780	1 330	1 065	1 000 R
		900	770	1 265	1 000		980	840	1 455	1 160	1 200 R
		1 080	920	1 565	1 240		1 185	1 010	1 805	1 445	1 600 S
		1 200	1 020	1 770	1 400		1 330	1 135	2 055	1 640	2 000 S
		1 315	1 115	2 015	1 595		1 490	1 270	2 395	1 910	2 500 S

Напряжение 190/330 (362) кВ, медный проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
500 R	26.7	25.5	0.0366	0.13	300	97	11	125	104	20	155	99	12	640	111	12	1270	104	25			
630 R	30.3	23.9	0.0283	0.15	300	97	12	125	104	21	155	100	13	640	111	14	1270	104	26			
800 R	34.7	21.8	0.0221	0.17	300	97	14	125	104	23	155	100	15	640	111	15	1280	104	28			
1000 R	38.8	21.9	0.0177	0.19	290	101	16	115	108	26	150	104	17	740	116	18	1270	108	30			
1000 S	40.0	22.6	0.0176	0.19	300	106	17	110	113	27	150	108	18	770	120	19	1260	112	31			
1200 S	42.5	21.4	0.0151	0.20	300	106	18	110	113	28	150	108	19	770	121	20	1270	112	32			
1600 S	48.9	22.4	0.0113	0.22	290	115	24	95	122	36	145	117	25	940	130	26	1270	120	38			
1600 S En	48.9	22.4	0.0113	0.22	290	115	24	95	122	36	145	117	25	940	130	26	1270	120	38			
2000 S	57.2	22.0	0.0090	0.25	280	122	27	80	130	40	140	125	28	1080	138	30	1250	128	41			
2000 S En	57.2	22.0	0.0090	0.25	280	122	27	80	130	40	140	125	28	1080	138	30	1250	128	41			
2500 S En	63.5	22.7	0.0072	0.26	300	130	34	60	138	48	135	133	35	1190	147	36	1250	135	48			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила
S: сегментированная жила
S En: сегментированная эмалированная жила

53

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистиника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение						
	Заземление током индукционного в металлическом экране		В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление током индукционного в металлическом экране			В земле		В воздухе, в тоннеле			
	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	mm ²	
500 R	745	640	975	775						790	685	1 090	870	500 R	
630 R	835	715	1 120	890						900	770	1 265	1 010	630 R	
800 R	925	790	1 270	1 005						1 005	865	1 460	1 170	800 R	
1000 R	1 010	860	1 410	1 120						1 110	950	1 645	1 310	1000 R	
1000 S	1 075	920	1 515	1 200						1 175	1 010	1 740	1 390	1000 S	
1200 S	1 145	980	1 640	1 300						1 265	1 080	1 905	1 520	1200 S	
1600 S	1 210	1 030	1 765	1 400						1 345	1 150	2 065	1 650	1600 S	
1600 S En	1 300	1 105	1 910	1 510						1 460	1 250	2 250	1 800	1600 S En	
2000 S	1 305	1 105	1 960	1 550						1 470	1 250	2 320	1 850	2000 S	
2000 S En	1 435	1 220	2 180	1 720						1 645	1 400	2 620	2 090	2000 S En	
2500 S En	1 550	1 315	2 410	1 905						1 820	1 550	2 965	2 365	2500 S En	

Напряжение 230/400 (420) кВ, алюминиевый проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм²	мм	кг/м	мм²	мм	кг/м	мм²	мм	кг/м	мм²	мм	кг/м	мм²	мм	кг/м	мм²	мм	кг/м
500 R	26.4	31.6	0.0605	0.12	400	110	10	195	117	22	240	112	12	860	124	12	1840	119	31			
630 R	30.3	29.8	0.0469	0.13	400	110	11	195	117	22	240	113	12	860	124	12	1850	119	31			
800 R	34.7	27.7	0.0367	0.15	400	110	11	195	118	22	240	113	13	860	125	12	1850	119	31			
1000 R	38.2	26.1	0.0291	0.16	410	110	11	195	118	23	240	113	13	860	125	13	1850	119	32			
1200 R	41.4	24.6	0.0247	0.18	410	111	12	195	118	23	240	113	13	870	125	13	1860	120	32			
1600 S	48.9	25.8	0.0186	0.20	420	122	15	170	131	28	230	125	16	1030	137	16	1840	130	35			
2000 S	54.0	24.7	0.0149	0.22	430	125	16	165	134	30	230	128	17	1100	141	18	1840	133	36			
2500 S	63.5	25.8	0.0119	0.24	430	138	19	140	146	35	220	140	20	1290	154	21	1860	144	39			
3000 S	70.0	26.1	0.0099	0.25	420	145	21	120	154	39	220	148	23	1450	162	24	1830	152	41			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила

S: сегментированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение		
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток, индуцированный в металлическом экране	В земле		Номинальное сечение		
мм²		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C			
500 R	без циркулирующего тока	585	505	760	605	без циркулирующего тока	620	535	835	670	500 R
630 R		665	570	885	705		710	610	980	785	630 R
800 R		750	640	1 015	810		805	690	1 140	910	800 R
1000 R		825	705	1 145	910		900	770	1 305	1 040	1000 R
1200 R		880	750	1 245	985		970	825	1 435	1 145	1200 R
1600 S		1 050	895	1 530	1 210		1 165	995	1 765	1 410	1600 S
2000 S		1 150	975	1 720	1 360		1 295	1 105	2 020	1 610	2000 S
2500 S		1 265	1 070	1 955	1 545		1 455	1 235	2 335	1 860	2500 S
3000 S		1 360	1 150	2 150	1 695		1 590	1 350	2 605	2 075	3000 S

Напряжение 230/400 (420) кВ, медный проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
500 R	26.7	31.5	0.0366	0.12	400	110	13	195	117	25	240	113	15	860	124	15	1840	119	34			
630 R	30.3	29.8	0.0283	0.13	400	110	15	195	117	26	240	113	16	860	124	16	1850	119	35			
800 R	34.7	27.7	0.0221	0.15	400	110	16	195	118	28	240	113	18	860	125	18	1850	119	36			
1000 R	38.8	25.8	0.0176	0.17	410	111	18	195	118	29	240	113	19	860	125	19	1860	119	38			
1000 S	40.0	24.6	0.0176	0.18	410	111	18	195	118	30	240	113	20	860	125	19	1860	119	38			
1200 S	42.5	25.3	0.0151	0.18	420	115	20	185	123	32	240	118	21	930	129	21	1860	123	40			
1600 S	48.9	25.8	0.0113	0.20	420	122	26	170	131	39	230	125	27	1030	137	27	1840	130	46			
1600 S En	48.9	25.8	0.0113	0.20	420	122	26	170	131	39	230	125	27	1030	137	27	1840	130	46			
2000 S	57.2	25.5	0.0090	0.22	450	131	29	155	139	44	230	133	30	1180	146	31	1840	138	49			
2000 S En	57.2	25.5	0.0090	0.22	450	131	29	155	139	44	230	133	30	1180	146	31	1840	138	49			
2500 S En	63.5	25.8	0.0072	0.24	430	138	35	140	146	51	220	140	37	1290	154	38	1860	144	56			
3000 S En	70.0	26.1	0.0060	0.25	420	145	39	120	154	57	220	148	40	1450	162	42	1830	152	59			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила
S: сегментированная жила
S En: сегментированная эмалированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистиника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение				
	Заземление ток индуцированный в металлическом экране		В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток индуцированный в металлическом экране						
	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C					
500 R	735	630	960	765					785	680	1 065	850	500 R
630 R	825	705	1 100	875					890	765	1 235	990	630 R
800 R	910	780	1 250	990					995	855	1 420	1 135	800 R
1000 R	985	840	1 385	1 100					1 095	935	1 605	1 285	1000 R
1000 S	1 050	895	1 490	1 180					1 160	990	1 715	1 370	1000 S
1200 S	1 115	950	1 600	1 270					1 245	1 060	1 860	1 485	1200 S
1600 S	1 170	995	1 720	1 360					1 320	1 125	2 015	1 610	1600 S
1600 S En	1 255	1 065	1 855	1 470					1 430	1 220	2 195	1 755	1600 S En
2000 S	1 245	1 055	1 890	1 495					1 430	1 215	2 255	1 800	2000 S
2000 S En	1 360	1 150	2 090	1 650					1 590	1 355	2 540	2 025	2000 S En
2500 S En	1 470	1 245	2 325	1 835					1 765	1 495	2 880	2 295	2500 S En
3000 S En	1 510	1 275	2 425	1 915					1 825	1 545	3 025	2 410	3000 S En

Напряжение 290/500 (550) кВ, алюминиевый проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
1000 R	38.2	37.0	0.0291	0.13	420	133	15	150	141	31	225	136	17	1210	149	18	1840	140	36			
1200 R	41.4	35.5	0.0247	0.14	420	133	16	150	141	31	225	136	17	1210	149	18	1840	140	36			
1600 S	48.9	31.3	0.0186	0.17	420	134	17	150	142	32	225	137	18	1260	150	19	1850	141	37			
2000 S	54.0	30.1	0.0149	0.19	430	137	18	140	145	34	225	140	20	1280	153	21	1850	144	38			
2500 S	63.5	30.9	0.0119	0.21	420	148	21	110	157	39	215	151	23	1480	165	24	1830	155	41			
3000 S	70.0	30.9	0.0099	0.22	450	155	23	95	164	42	210	158	25	1650	173	27	1820	161	43			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила

S: сегментированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение		
	Заземление ток индуцированный в металлическом экране	В земле		В воздухе, в тоннеле		Заземление ток индуцированный в металлическом экране	В земле				
		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C		ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	
без циркулирующего тока	820	700	1 120	890		без циркулирующего тока	890	765	1 245	1 000	1000 R
		880	750	1 220	970		960	820	1 370	1 095	1200 R
		1 035	880	1 505	1 190		1 150	980	1 720	1 370	1600 S
		1 135	960	1 695	1 340		1 280	1 085	1 965	1 565	2000 S
		1 250	1 055	1 930	1 520		1 435	1 215	2 275	1 810	2500 S
		1 335	1 120	2 115	1 665		1 560	1 320	2 535	2 015	3000 S

Напряжение 290/500 (550) кВ, медный проводник

Конструкции кабелей (номинальные)

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20 °C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Алюминиевый гофрированный экран			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение Cu экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм ²	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м	мм ²	мм	кг/м
1000 R	38.8	36.7	0.0176	0.13	420	133	22	150	141	37	225	136	23	1210	149	24	1840	140	42			
1000 S	40.0	35.4	0.0176	0.14	420	133	22	150	141	37	225	136	24	1210	149	24	1840	140	42			
1200 S	42.5	34.2	0.0151	0.15	420	133	23	150	141	38	225	136	25	1210	149	26	1840	140	43			
1600 S	48.9	31.3	0.0113	0.17	420	134	28	150	142	43	225	137	29	1260	150	30	1850	141	48			
1600 S En	48.9	31.3	0.0113	0.17	420	134	28	150	142	43	225	137	29	1260	150	30	1850	141	48			
2000 S	57.2	32.0	0.0090	0.19	410	144	31	125	153	49	220	147	33	1440	161	35	1860	151	52			
2000 S En	57.2	32.0	0.0090	0.19	410	144	31	125	153	49	220	147	33	1440	161	35	1860	151	52			
2500 S En	63.5	30.9	0.0072	0.21	420	148	37	110	157	55	215	151	39	1480	165	41	1830	155	58			
3000 S En	70.0	30.9	0.0060	0.22	450	155	41	95	164	60	210	158	43	1650	173	45	1820	161	61			

* Значения указаны в качестве примера

R: круглая жила
S: сегментированная жила
S En: сегментированная эмалированная жила

Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистиника				Вид прокладки: в плоскости				Номинальное сечение		
	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране		В земле	В воздухе, в тоннеле	Заземление ток, индуцированный в металлическом экране		В земле	В воздухе, в тоннеле			
мм ²	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	ρT = 1,0 T = 20 °C	ρT = 1,2 T = 30 °C	T = 30 °C	T = 50 °C	мм ²		
1000 R	без циркулирующего тока	985	840	1 365	1 080	без циркулирующего тока	1 085	930	1 540	1 230	1000 R
1000 S		1 040	885	1 455	1 155		1 145	980	1 640	1 315	1000 S
1200 S		1 105	940	1 575	1 250		1 230	1 055	1 790	1 430	1200 S
1600 S		1 155	980	1 700	1 340		1 305	1 110	1 965	1 565	1600 S
1600 S En		1 240	1 050	1 835	1 450		1 410	1 200	2 140	1 705	1600 S En
2000 S		1 240	1 050	1 875	1 480		1 415	1 205	2 195	1 750	2000 S
2000 S En		1 360	1 150	2 080	1 640		1 585	1 345	2 470	1 970	2000 S En
2500 S En		1 460	1 230	2 305	1 815		1 745	1 475	2 815	2 240	2500 S En
3000 S En		1 535	1 285	2 490	1 960		1 875	1 580	3 105	2 470	3000 S En

Примечания

Примечания



Международный эксперт в области кабелей и кабельных систем

ООО «Нексанс Рус.»

125009, Москва, ул. Тверская, д. 16, стр. 3, бизнес-центр «Тверской»
Тел.: +7 (495) 775-82-40
Факс: +7 (495) 775-82-41
info@nexans.ru

www.nexans.ru

Филиал в г. Санкт-Петербурге

ООО «Нексанс Рус.»
192007, Санкт-Петербург, Тамбовская ул., д 12Б, оф.63,
Тел.: +7 (812) 318-04-17
Факс: +7 (812) 318-04-19,
[e-mail: info.spb@nexans.com](mailto:info.spb@nexans.com)

Филиал в г. Краснодаре

ООО «Нексанс Рус.»
350051, Краснодар, шоссе Нефтяников, д. 28,
БЦ «Ньютон», офис 613,
Тел.: (861) 2170247
Факс: (861) 2170237

Nexans является мировым лидером в кабельной промышленности. Заводы компании расположены более чем в 39 странах, коммерческие представительства открыты по всему миру. На предприятиях

Nexans работают около 22 400 сотрудников. Оборот компании в 2011 год составил 9 миллиардов евро. Nexans зарегистрирован на Парижской фондовой бирже. В 2008 году в России в г. Углич компания Nexans открыла завод по производству силовых кабелей.

Дополнительную информацию Вы можете найти на www.nexans.ru

Nexans оставляет за собой право внесения изменений в технические характеристики продукции, в особенности в части их совершенствования или приведения в соответствии с действующими законами и нормативными требованиями.

Апрель 2013

Все замечания и предложения по данному каталогу просьба направлять по e-mail: info@nexans.ru