



**КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ  
110-500 кВ**

	Стр.
<b>I КАБЕЛЬ</b>	
• Конструкция кабеля	3
▪ Токпроводящая жила	4
▪ Полупроводящий экран жилы	6
▪ Изоляция из сшитого полиэтилена	6
▪ Полупроводящий экран изоляции	6
▪ Металлический экран	6
▪ Защитная оболочка	8
Сводная таблица	9
• Способы заземления экранов	10
▪ Работа в режиме КЗ	11
▪ Различные виды заземления	11
▪ Защита «масса-кабель»	12
▪ Схемы заземления	13-14
• Способы укладки кабеля	15-16
• Кабельные барабаны	17
• Радиус изгиба кабеля	17
• Усилия тяжения	17
• Системы крепления	18
• Испытание кабелей	18
Новые конструкторско-технологические разработки	19
<b>II КАБЕЛЬНАЯ АРМАТУРА</b>	
• Концевые муфты	
▪ Различные компоненты	20
▪ Концевые муфты, применяемые для наружной установки	21
□ Фарфоровые	21
□ Синтетические	21
□ Композитные	21
▪ Концевые муфты, применяемые внутри помещений	22
▪ Трансформаторная концевая муфта	22
▪ Элегазовый ввод в КРУЭ	22
• Соединительные муфты	23
▪ Различные модели:	
□ Простые соединительные муфты	23
□ Соединительные муфты с транспозицией экрана	23
□ Переходные соединительные муфты	23-24
▪ Различные технологии соединения:	
□ Ленточное соединение	24
□ Литое соединение	24
□ Сборное соединение	25
• Оборудование	25
▪ Защитное	25
▪ Крепежное	25

	Стр.
<b>III МОНТАЖ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ</b>	
• Монтаж концевых муфт	26
• Прокладка кабелей	27
▪ Защита кабеля	27
▪ Различные типы прокладки	
□ Укладка на грунт	28-29
□ Укладка в траншею	30
□ Прокладка кабеля в кабелепроводе	31-32
□ Прокладка кабеля в кабельном тоннеле	33
▪ Соединительный кабельный колодец	34-35
▪ Специальные земляные работы	36
□ Техника проходки	36
□ Техника бурения	37
<b>IV ТАБЛИЦЫ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАБЕЛЯ</b>	
□ Информация, необходимая для расчета сечения кабеля	38
□ Влияние способа прокладки кабеля: примеры	39
□ Определение сечения токопроводящей жилы и расчет допустимого тока	40
□ Поправочные коэффициенты	40
□ Таблицы допустимой силы тока	41
□ Напряжение 64/110 (123) кВ, алюминиевый проводник	41
□ Напряжение 64/110 (123) кВ, медный проводник	42
□ Напряжение 87/150 (170) кВ, алюминиевый проводник	42
□ Напряжение 87/150 (170) кВ, медный проводник	44
□ Напряжение 127/220 (245) кВ, алюминиевый проводник	45
□ Напряжение 127/220 (245) кВ, медный проводник	46
□ Напряжение 190/330 (362) кВ, алюминиевый проводник	47
□ Напряжение 190/330 (362) кВ, медный проводник	48
□ Напряжение 230/400 (420) кВ, алюминиевый проводник	49
□ Напряжение 230/400 (420) кВ, медный проводник	50
□ Напряжение 290/500 (550) кВ, алюминиевый проводник	51
□ Напряжение 290/500 (550) кВ, медный проводник	52

Этот каталог посвящен  
кабельным линиям электропередачи

на напряжение 110 - 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:

$U_0/U (U_m)$ : 127/220 (245)

---

$U_0$  = 127 кВ, фазное напряжение ("фаза-земля"),

---

$U$  = 220 кВ, номинальное (линейное) напряжение ("фаза-фаза"),

---

$U_m$  = 245 кВ, максимальное длительно допустимое напряжение, которое можно прикладывать к оборудованию электрической сети.

---

Высоковольтная кабельная линия включает в себя 3 однофазных кабеля и высоковольтные контактные выводы, расположенные на каждом конце кабеля. Эти контактные выводы также называют "концевыми муфтами".

Когда длина линии превышает емкость кабельного барабана, используются соединительные муфты для соединения отрезков кабеля.

В качестве комплектующих оборудования электрических сетей используются также кабельные соединительные коробки, соединительные коробки для выполнения заземления экранов, и кабели заземления.



**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 увеличивается с увеличением сечения используемого проводника.

Небольшое расстояние, разделяющее фазы одной линии, приводит к появлению **эффекта близости**.

Когда диаметр жилы значительно превышает расстояние между фазами, электрический ток стремится сконцентрироваться на наружной поверхности жилы. Действительно, внешние проводники, из которых

состоит жила, имеют меньшую индуктивность, чем внутренние (индуктивность проводника возрастает при увеличении площади его наружной поверхности), и ток преимущественно проходит по проводникам, имеющим меньшую индуктивность и, следовательно, меньшее сопротивление.

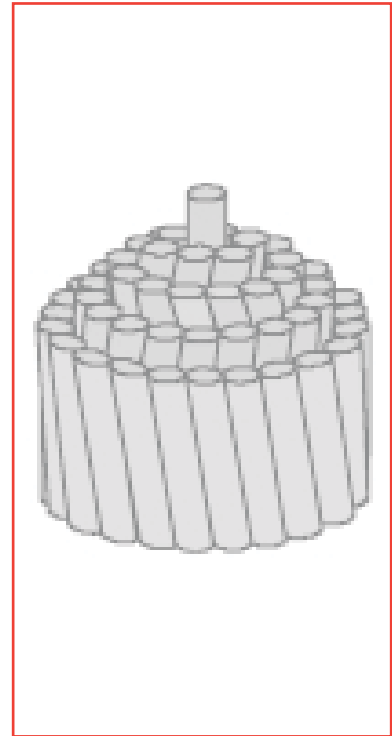
На практике эффект близости проявляется слабее, чем скин-эффект, и быстро уменьшается с увеличением расстояния между кабелями.

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

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

**Круглые жилы компактной скрутки состоят из нескольких слоев проводников, расположенных концентрически и винтообразно.**

Так как электрическое сопротивление между проводниками, из которых состоит жила, мало, то поверхностный эффект и эффект близости практически идентичны тем, которые имеют место в монолитной жиле большого сечения.

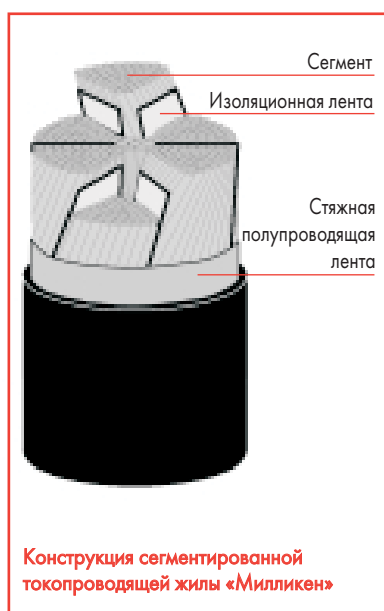


Сегментированные жилы, которые также называются милликеновскими, собираются из нескольких проводников секторного сечения, которые формируют цилиндрическую жилу.

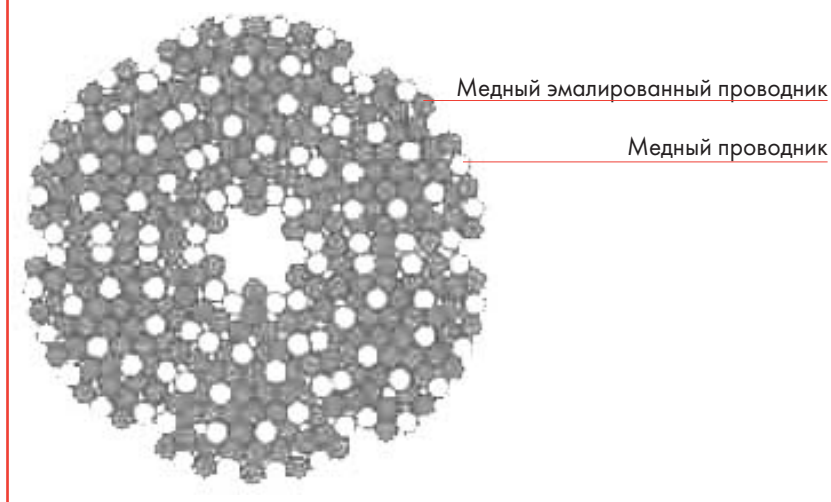
Проводник большого сечения разделен на несколько проводников секторной формы. Эти проводники, число которых находится в пределах от четырех до шести, называются секторами или сегментами. Они изолированы друг от друга ленточной изоляцией.

Спиральная конструкция исключает постоянное прохождение одних и тех же проводников жилы рядом друг с другом, что способствует снижению эффекта близости.

Такие конструкции используются для жил большого сечения (не менее 1200 мм<sup>2</sup> для жил из алюминия и не менее 1000 мм<sup>2</sup> для жил из меди). Конструкция типа «Milliken» позволяет значительно снизить поверхностный эффект и эффект близости.



### Схема токопроводящей жилы



### Медная эмалированная жила

Для медных токопроводящих жил с сечением более 1600 мм<sup>2</sup> при изготовлении сегментированной жилы типа «Milliken» используются эмалированные диэлектрическим лаком проводники (приблизительно 2/3 общего количества проводников).

**Эффект близости** практически устраняется, потому что каждый проводник проходит как по наружным, так и по внутренним областям жилы.

**Поверхностный эффект** уменьшается благодаря небольшому сечению используемых проводников,

которые электрически изолированы друг от друга.

**Использование конструкции с эмалированными проводниками позволяет уменьшить сечение жилы при той же пропускной способности.**

Например, медный кабель сечением 2000 мм<sup>2</sup>, в котором используются эмалированные проводники, позволяет заменить медный кабель сечением 2500 мм<sup>2</sup>, в котором используются проводники без эмалевого покрытия. Формирование жилы с эмалированными проводниками выполняется с помощью специальной технологии, разработанной фирмой Nexans.

### Уменьшение скин-эффекта

AC/90 сопротивление DC/90 сопротивление	Конструкция токопроводящей жилы			
	Сечение (мм <sup>2</sup> )	круглая жила компактной скрутки	сегментированная жила «Milliken»	жила из эмалированных проводников «Milliken»
	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



### Полупроводящий экран жилы

Применяется для выравнивания скачка напряженности электрического поля на границе токопроводящей жилы и слоя изоляции с помощью создания промежуточного полупроводящего слоя между токопроводящей жилой и изоляцией из сшитого полиэтилена.

### Изоляция (сшитый полиэтилен)

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

### Полупроводящий экран изоляции

Назначение этого слоя идентично назначению полупроводящего экрана на жиле.

Он позволяет получить плавное изменение напряженности электрического поля между изоляцией, где напряженность электрического поля не равна нулю, и проводником (металлический экран кабеля), 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).

#### Использование металлического экрана:

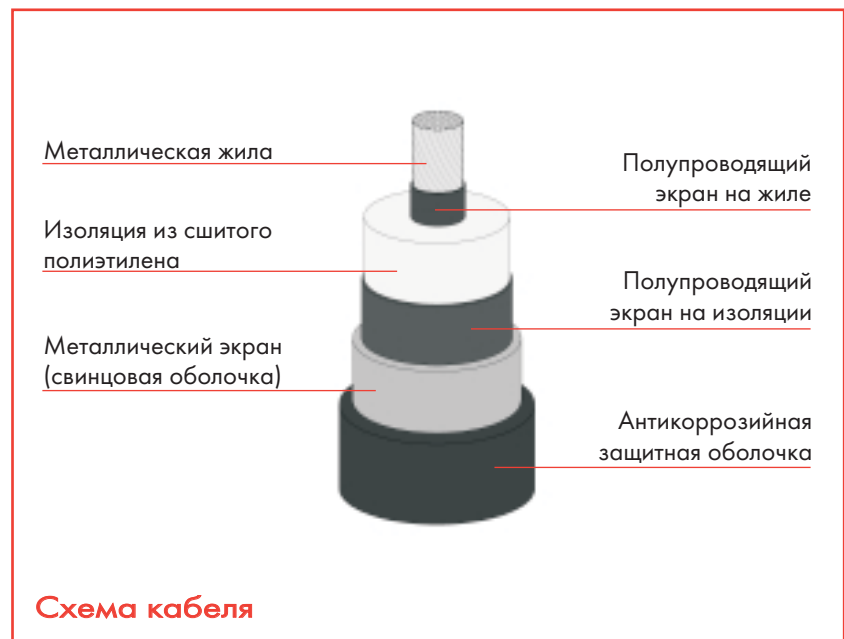
- Приводит к необходимости подсоединять этот металлический экран к контуру заземления, по крайней мере, в одной точке.
  - Обеспечивает отвод протекающих через изоляцию емкостных токов на землю.
  - Обеспечивает полный или частичный отвод тока короткого замыкания (КЗ) на землю.
- По этому параметру можно рассчитать сечение металлического экрана.
- Приводит к появлению индукционных вихревых токов вследствие наличия электромагнитных полей, создаваемых различными проходящими 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 защищать металлический экран 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, боится влаги. Действительно, одновременное воздействие влаги и сильного электрического поля приводит к появлению локальных пробоев (дендритов), что через некоторое время может привести к разрушению изоляционного материала.



## РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ

### Цельнотянутая оболочка из свинцового сплава

#### Преимущества:

- Герметичность, гарантированная способом производства
- Большое электрическое сопротивление, то есть небольшие потери в линиях при прямом контакте оболочки с грунтом
- Прекрасная защита от коррозии

#### Недостатки:

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

### Экран из концентрических медных и алюминиевых проводников (провонок), термически связанных с полиэтиленовой оболочкой или оболочкой из ПВХ

#### Преимущества:

- Легкая конструкция
- Высокая пропускная способность для токов КЗ

#### Недостатки:

- Низкое электрическое сопротивление, являющееся причиной применения специальных технических решений (заземление в одной точке или транспозиция) для того, чтобы ограничить потери от вихревых токов

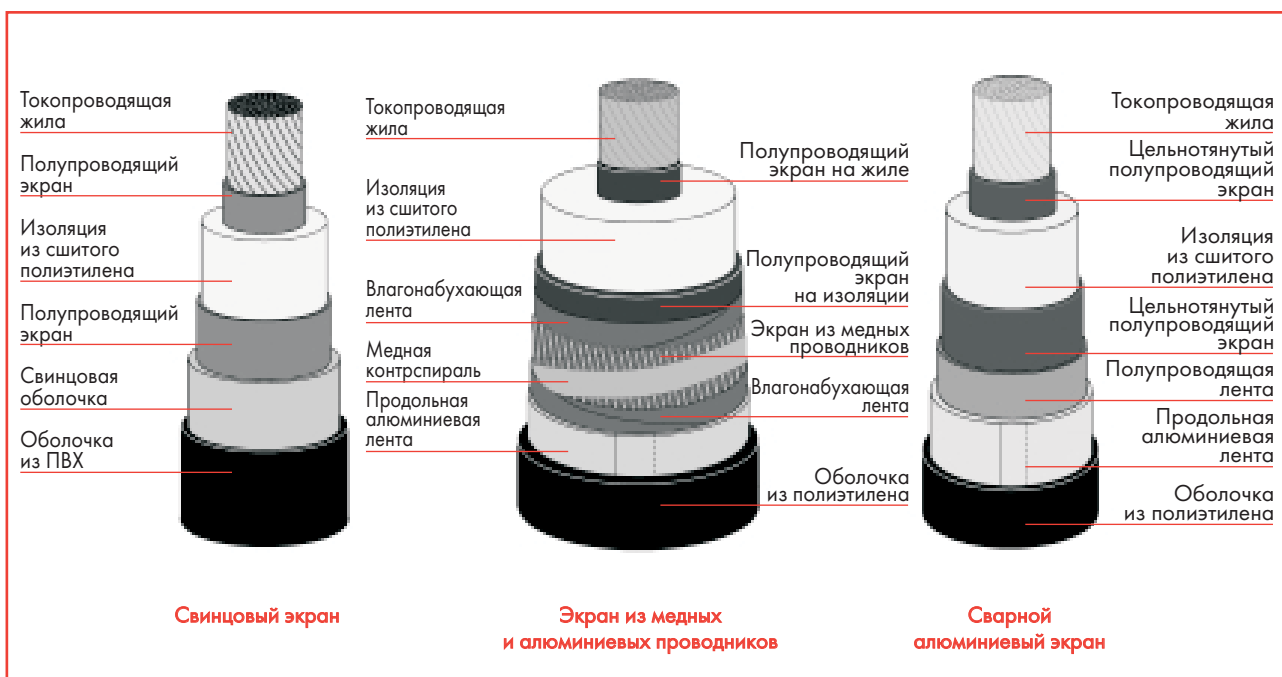
### Алюминиевый экран сварен продольным швом и приклеен к полиэтиленовой оболочке

#### Преимущества:

- Легкая конструкция
- Высокая пропускная способность для токов КЗ
- Герметичность, гарантированная способом изготовления

#### Недостатки:

- Малое электрическое сопротивление, являющееся причиной применения специальных технических решений (заземление в одной точке или транспозиция) для того, чтобы ограничить потери от вихревых токов
- Потери, связанные с вихревыми токами, больше, чем в предыдущих конструкциях





### Экран из медной проволоки и цельнотянутой свинцовой оболочки

Эта конструкция является комбинацией показанных выше конструкций. Данная конструкция сочетает в себе преимущества свинцовой оболочки и экрана из медной проволоки.

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**
- **Защищает металлический экран от сырости и коррозии.**

Кроме этого, внешняя оболочка должна защищать кабель от механических воздействий, возникающих при установке 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 коррозионные дымы, этот материал запрещен многими пользователями. Когда в применении указывается «стойкость по отношению к распространению огня» согласно нормам IEC 332, то вместо ПВХ используются материалы HFFR (не содержат галогенов, и обладают высокой огнестойкостью). Однако механические свойства этих материалы хуже, чем у полиэтилена, а цена выше. Поэтому эти материалы используют на тех объектах и в тех местах сооружений, где требуется пожаробезопасность. Для того чтобы проверить целостность внешней оболочки, на нее часто наносится слой из полупроводящего материала. Этот слой может быть сформирован с помощью нанесения графитной краски, или нанесения слоя полупроводящего полимера, одновременно с экструзией внешней оболочки.



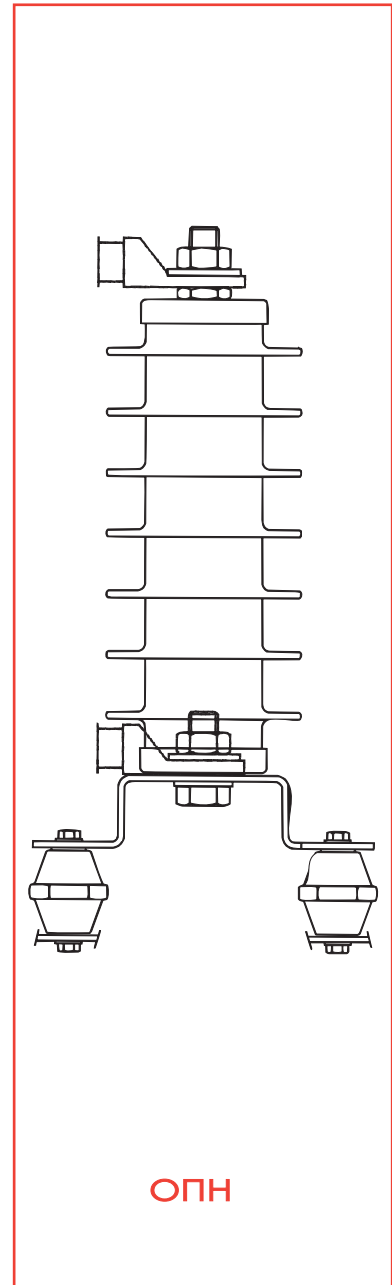
Элемент	Назначение	Используемые материалы
Токопроводящая жила	<ul style="list-style-type: none"> <li>Для прохождения тока</li> <li>- в нормальном режиме</li> <li>- при перегрузке</li> <li>- при КЗ</li> <li>Выдерживает механические напряжения при укладке</li> </ul>	$S \leq 1000 \text{ mm}^2$ (медь) $S \leq 1200 \text{ mm}^2$ (алюминий) Кабель с круглыми компактными токопроводящими жилами с медными или алюминиевыми проводниками $S \geq 1000 \text{ mm}^2$ (медь) сегментированная $S \geq 1200 \text{ mm}^2$ (алюминий) сегментированная
Полупроводящий экран жилы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сглаживает скачок напряженности поля в промежутке между жилой и изоляцией.</li> <li>Обеспечивает эквипотенциальное соединение между проводником и изоляцией. Сглаживает скачок напряженности поля на поверхности проводника.</li> </ul>	Полупроводящий сшитый полиэтилен
Изоляционный материал	<ul style="list-style-type: none"> <li>Для того чтобы выдерживать различные напряженности электрического поля в течение срока службы кабеля:</li> <li>- Напряжение "фаза-земля"</li> <li>- Грозовые перенапряжения</li> <li>- Внутренние перенапряжения</li> </ul>	Изоляционный сшитый полиэтилен Полупроводящий экран жилы и полупроводящий внешний экран, а также сама изоляция накладываются одновременно в головке экструдера.
Внешний полупроводящий экран	<ul style="list-style-type: none"> <li>Обеспечивает эквипотенциальное соединение между изоляцией и экраном.</li> <li>Устранять скачок напряженности электрического поля на границе раздела между изоляцией и внешним металлическим экраном</li> </ul>	Полупроводящий сшитый полиэтилен
Металлический экран	<ul style="list-style-type: none"> <li>Предотвращает распространение электрического поля за пределы кабеля</li> <li>Обеспечивает боковую герметичность (предотвращает контакт изоляции с водой)</li> <li>Обеспечивает отвод токов КЗ на землю</li> <li>Обеспечивает повышение механической прочности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Цельнотянутая оболочка из свинцового сплава</li> <li>Экран из медных и алюминиевых проводников, приклеенных к оболочке из полиэтилена или</li> <li>Сварной алюминиевый экран, термически связанный с оболочкой из полиэтилена</li> <li>Комбинация медной проволоки и свинцовой оболочки</li> </ul>
Внешняя оболочка	<ul style="list-style-type: none"> <li>Изолирует металлический экран от окружающей среды</li> <li>Защищает металлический экран от коррозии</li> <li>Повышает механическую прочность</li> <li>Повышает стойкость кабеля к распространению огня</li> </ul>	<b>Изолирующая оболочка</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Возможность нанесения полупроводящего слоя для проведения испытания электрической прочности оболочки после укладки кабеля</li> <li>Оболочка из полиэтилена</li> <li>Оболочка из HFFR</li> </ul>



## ЗАЗЕМЛЕНИЕ ЭКРАНОВ КАБЕЛЯ

Когда по токопроводящей жиле кабеля протекает переменный ток, то на металлических экранах разных фаз и между концами линии возникает напряжение, пропорциональное индуцированному току. Незаземленные концы линии являются тем местом, где возникает индуцированное напряжение, которое необходимо контролировать. При нормальной работе линии это напряжение порядка нескольких десятков вольт. Простые методы позволяют устранить риск поражения электрическим током, возникающим под действием этого напряжения. При возникновении тока КЗ, величина которого измеряется килоамперами, индуцированное этим током напряжение (пропорционально току), может достигать нескольких киловольт. Однако это напряжение, как правило, не превышает пробивного напряжения 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 защитной оболочки на землю. Отсюда следует, что необходимо ограничить повышение потенциала экрана с помощью подключения специального оборудования для ограничения возникающих перенапряжений (ОПН) между металлическим экраном и землей. Эти ОПН работают 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, через его нелинейное сопротивление начинает протекать ток. Таким образом перенапряжение, воздействию которого подвергается защитная оболочка, ограничивается на уровне разрядного напряжения ОПН. Этот критерий определяет тип используемого ОПН для данного соединения.



## 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 трансформатора в высоковольтных сетях, как правило, соединяется с землей. Полное сопротивление этого соединения в зависимости от типа нейтрали (непосредственно земля или линия нейтрали) может быть достаточно большим.

Различают два типа токов КЗ.

- 1. Симметричные короткозамкнутые цепи** (три фазы замкнуты накоротко), когда токи в трех фазах образуют симметричную систему. Таким образом, токи протекают только в основных проводниках (жила 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.

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

### Различные виды заземления

Вид заземления	Постоянное 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, наводимое в экране каждой фазы. Транспозиция осуществляется с помощью специального соединения металлических экранов с ОПН.
Характеристики линии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Длина линии больше 200 м</li> <li>• Сечение кабеля не более 630 мм<sup>2</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Длина линии меньше одного километра</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Линия большой длины</li> <li>• Большая пропускная способность, сечения более 630 мм<sup>2</sup>, Cu</li> <li>• Установка соединительных муфт</li> <li>• Количество отрезков: кратное трем, длины отрезков должны быть приблизительно равны</li> </ul>
Необходимый материал	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Кабель типа R2V или с изоляцией с небольшим пробивным напряжением</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ОПН</li> <li>• Кабель типа R2V или с изоляцией с небольшим пробивным напряжением</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Соединение с разделителем экрана</li> <li>• Коаксиальный кабель</li> <li>• ОПН в точке транспозиции экранов</li> </ul>
Плюсы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простота установки</li> <li>• Отсутствие эквипотенциального кабеля, устанавливаемого вдоль соединения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оптимальное использование пропускной способности</li> <li>• Возможна защита "масса-кабель"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эквипотенциальный кабель вдоль линии (не обязательно)</li> <li>• Подавление индуцированных токов в экранах</li> </ul>
Минусы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Снижение пропускной способности</li> <li>• Защита "масса-кабель" невозможна</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эквипотенциальный кабель вдоль всей линии</li> <li>• Использование ОПН</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Необходимость обслуживания</li> <li>• Стоимость</li> </ul>





## ЗАЩИТА «МАССА-КАБЕЛЬ»

Защита масса-кабель используется при **монтаже комбинированных воздушно-подземных линий с заземлением в одной точке.** Это устройство позволяет обнаружить неисправности в кабеле. Устройство исключает возможность выполнения повторное включение при наличии неисправности.

### Принцип работы

Трансформатор тока с тороидальным сердечником

устанавливается в цепь заземления экрана.

Если возникает неисправность в воздушной линии, трансформатор, установленный в цепь экрана кабеля, не обнаруживает ток.

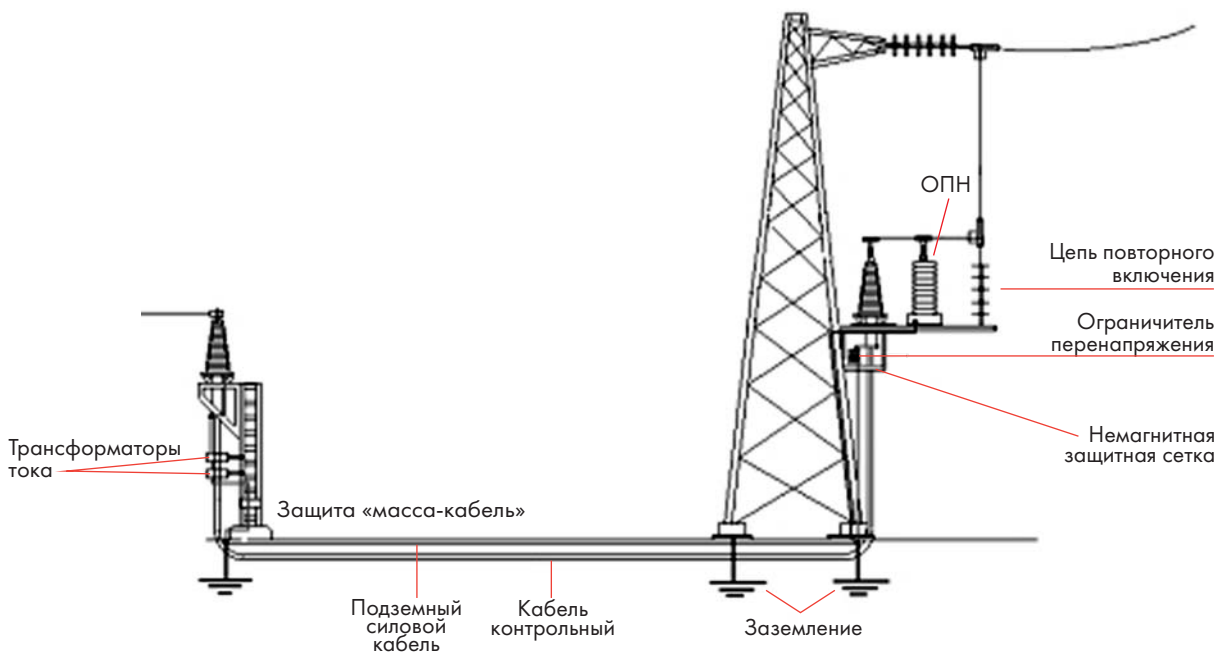
Трансформатор тока с тороидальным сердечником подключен к реле, замыкание контактов которого сигнализирует о наличии неисправности и запрещает автоматическое повторное включение (АПВ).

Преимущество защиты масса-кабель – упрощение эксплуатации комбинированной воздушно-подземной линии.

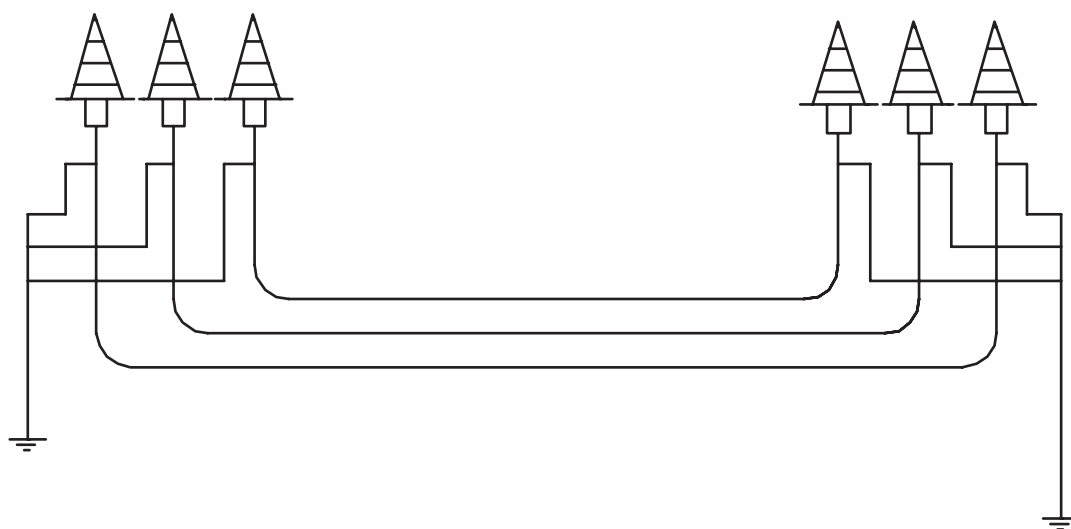
В подземных коллекторах устройство позволяет устранить риск возникновения пожара.

Такие относительно дешевые системы устанавливаются, главным образом, в диспетчерских и в подземных коллекторах.

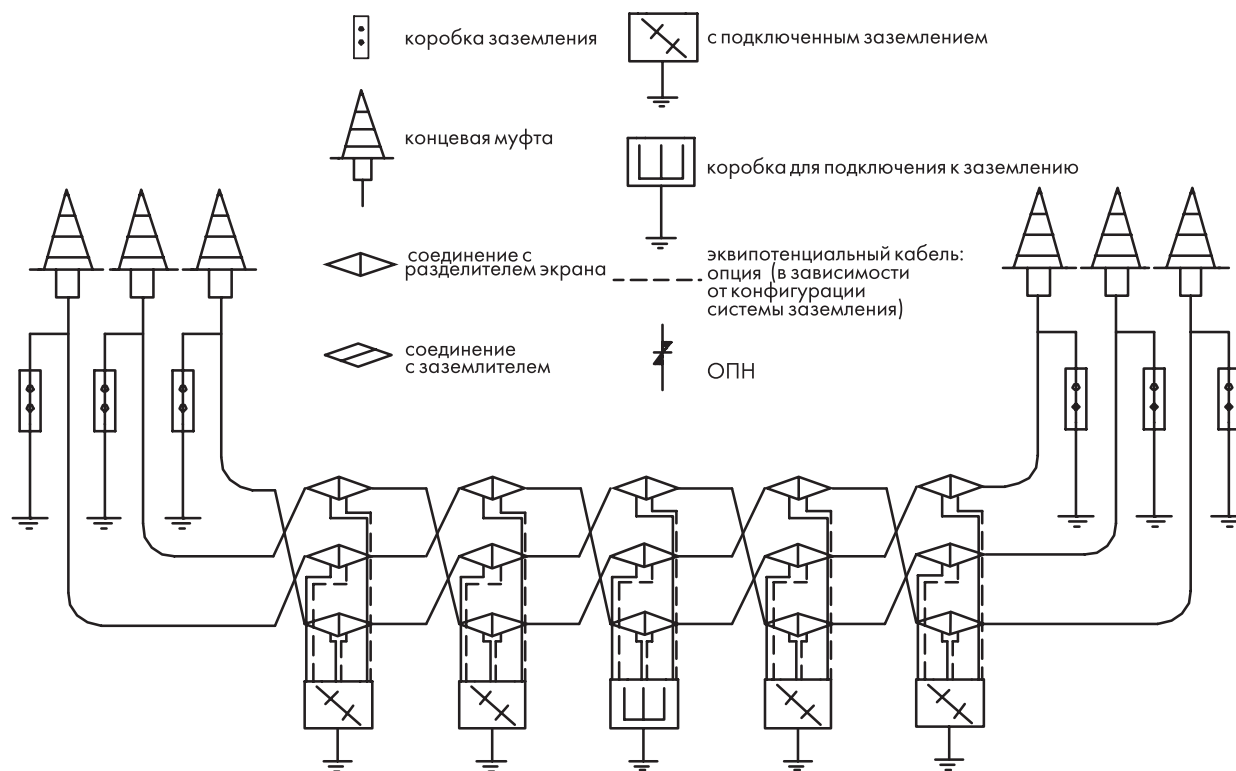
### Установка воздушно-подземной линии с защитой «масса-кабель»



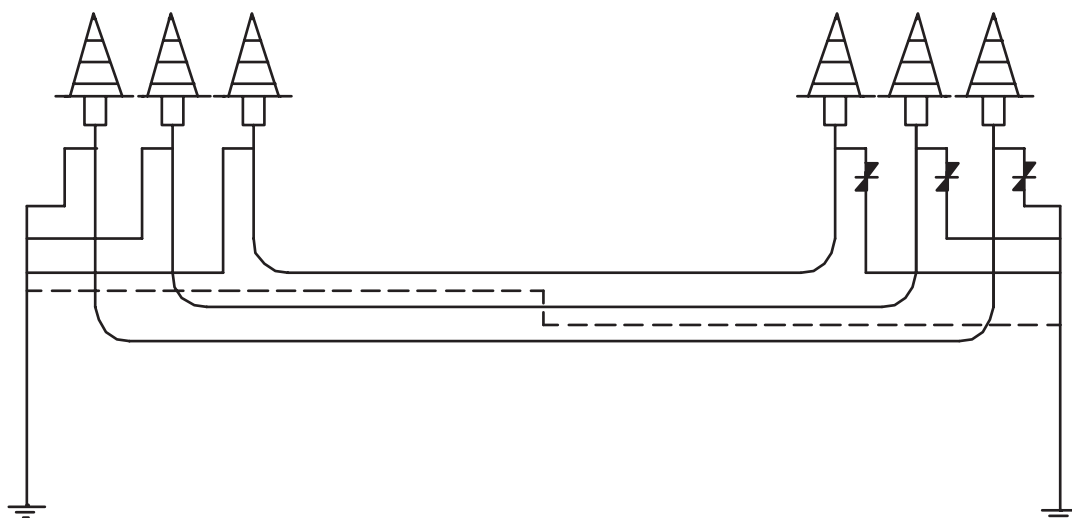
### Схема заземления на обоих концах линии



### Система транспозиции экранов



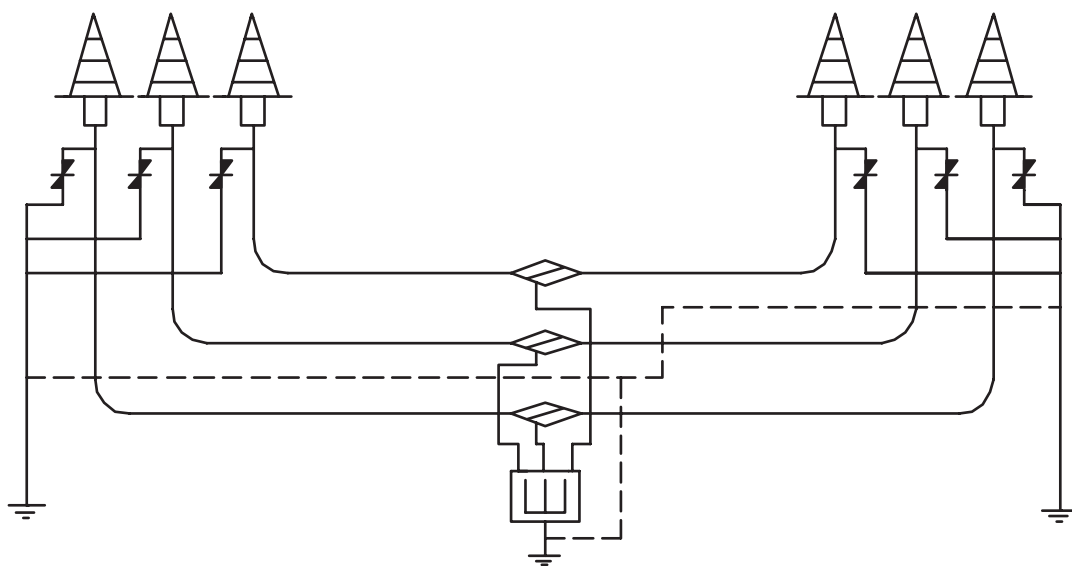
Электрическая схема линии с заземлением в одной точке



Другой вариант:

заземление в средней точке при наличии двух отрезков одной линии  
или при наличии одного соединения в одном отрезке

Система заземления в средней точке



## СПОСОБЫ УКЛАДКИ КАБЕЛЯ

### 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:

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

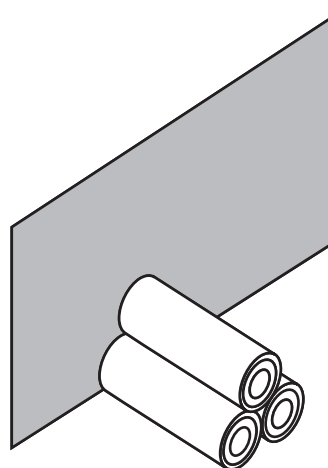
$E$  : удлинение

$D_e$  : внешний диаметр кабеля

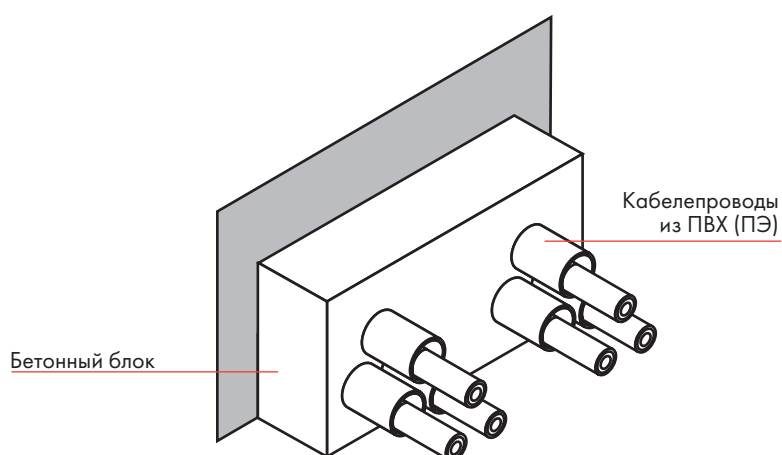
$D_p$  : диаметр сгибания

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

### Три примыкающих друг к другу кабеля, уложенные в грунт

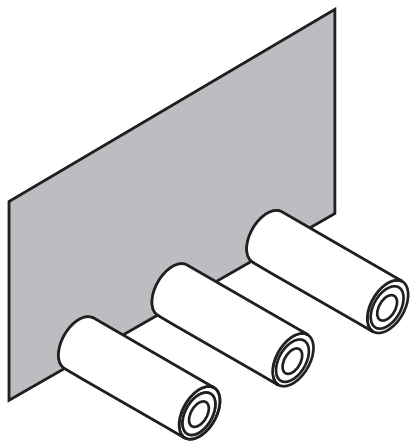


### Кабели, уложенные в грунт в кабелепроводах (в форме трилистника)

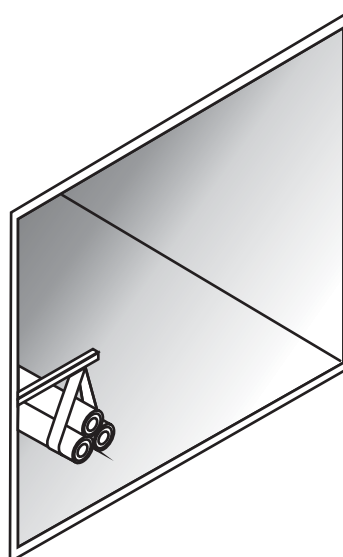




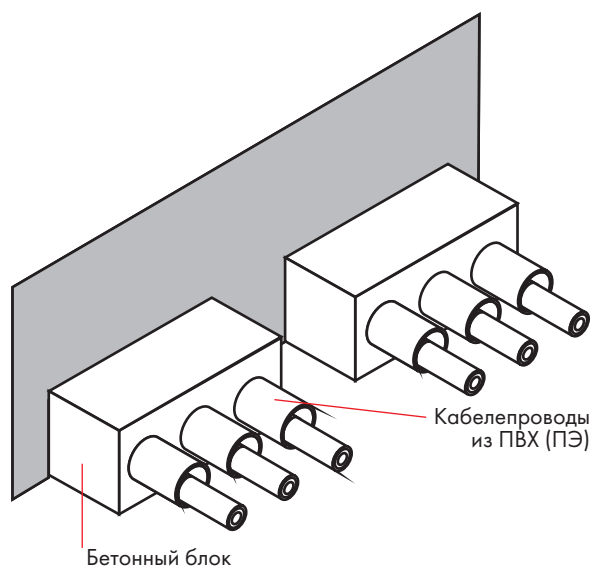
**Кабели, уложенные прямо в грунт в одной плоскости**



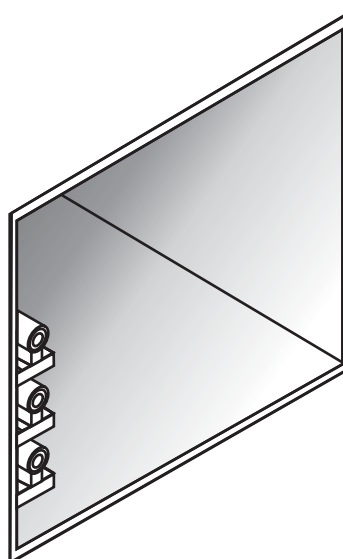
**Три примыкающих друг к другу кабеля, подвешенные в кабельном тоннеле**



**Кабели, уложенные в кабелепроводах в одной плоскости**



**Кабели, расположенные на полках в кабельном тоннеле**



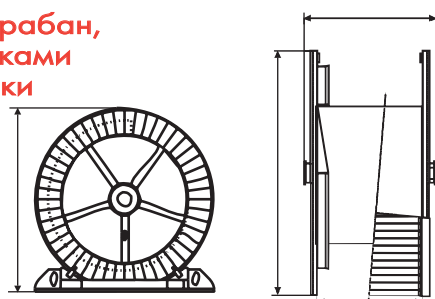
## КАБЕЛЬНЫЕ БАРАБАНЫ

Для определения диаметра корпуса барабана пользуются следующими правилами:

### Выбор барабана для хранения кабеля

**Металлический барабан, снабженный салазками для транспортировки и установки**

**Максимальные размеры:**  
диаметр фланца = 4,5 м;  
ширина = 2,5 м;  
масса = 40 т



Тип экрана	Минимальный диаметр 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, сформированной одновременно с экраном	18

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

### Радиус изгиба кабеля

Условия	Минимальный радиус изгиба, выраженный в количестве диаметров кабеля
При протягивании кабеля, опирающегося на ролики и валики	30
При протягивании кабеля в кабелепроводах	35
При установке без габаритных ограничителей кабеля	20
После установки с габаритными ограничителями (крепёжные хомуты монтируются равномерно по изгибу)	15

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

### Растягивающие напряжения и боковая нагрузка

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

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

**Максимальное усилие, прикладываемое к проводнику равно  $K \times S$  (даН), где**

**S:** сечение проводника ( $\text{мм}^2$ )

**K:** максимальное напряжение ( $\text{даН}/\text{мм}^2$ )

$K = 3 \text{ даН}/\text{мм}^2$  для

алюминиевых проводов

$K = 5 \text{ даН}/\text{мм}^2$  для медных проводов

Тип металлического экрана	Предельно допустимое боковое усилие в деканьютонах (даН)
Медные проводники и алюминиевая оболочка, покрытая полиэтиленом	1000
Медные проводники + свинцовая оболочка	1000
Гладкая сварная алюминиевая оболочка + приклеенная оболочка из полиэтилена	2500
Свинцовая оболочка + оболочка из полиэтилена	1500
Свинцовая оболочка + оболочка из ПВХ	1000



## СИСТЕМЫ КРЕПЛЕНИЯ

### Термомеханические воздействия

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, в системах крепления вспомогательного электротехнического оборудования, и при расчете величины промежутков между кабелями.

## ИСПЫТАНИЕ КАБЕЛЕЙ

Имеются три основных типа испытаний кабеля:

### 1. Индивидуальные испытания, которые также называются «предварительными испытаниями»

Эти неразрушающие испытания кабеля выполняются на всех кабелях на завершающей стадии их производства.

### 2. Специальные испытания, которые также называются «выборочными испытаниями» в зависимости от действующих норм и правил эксплуатации.

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 позволяют подтвердить выбранную концепцию системы кабелей, то есть совокупности материалов, составляющих высоковольтную линию электропередачи. Такие испытания в основном выполняются на контуре, состоящем из кабеля и вспомогательного оборудования, соответствующего напряжению в линии. 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 идентичным вспомогательным оборудованием. Типовые испытания позволяют также квалифицировать материалы, входящие в состав кабеля, и проверить их на совместимость. Кабели, выпускаемые фирмой Nexans, обычно испытываются в соответствии с международными нормами IEC 60 840 для напряжений  $U_m \leq 170$  кВ и в соответствии с нормам IEC 62 067 для более высоких напряжений. Также могут проводиться испытания в соответствии с национальными нормам или согласно техническим спецификациям заказчика.

## НОВЫЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

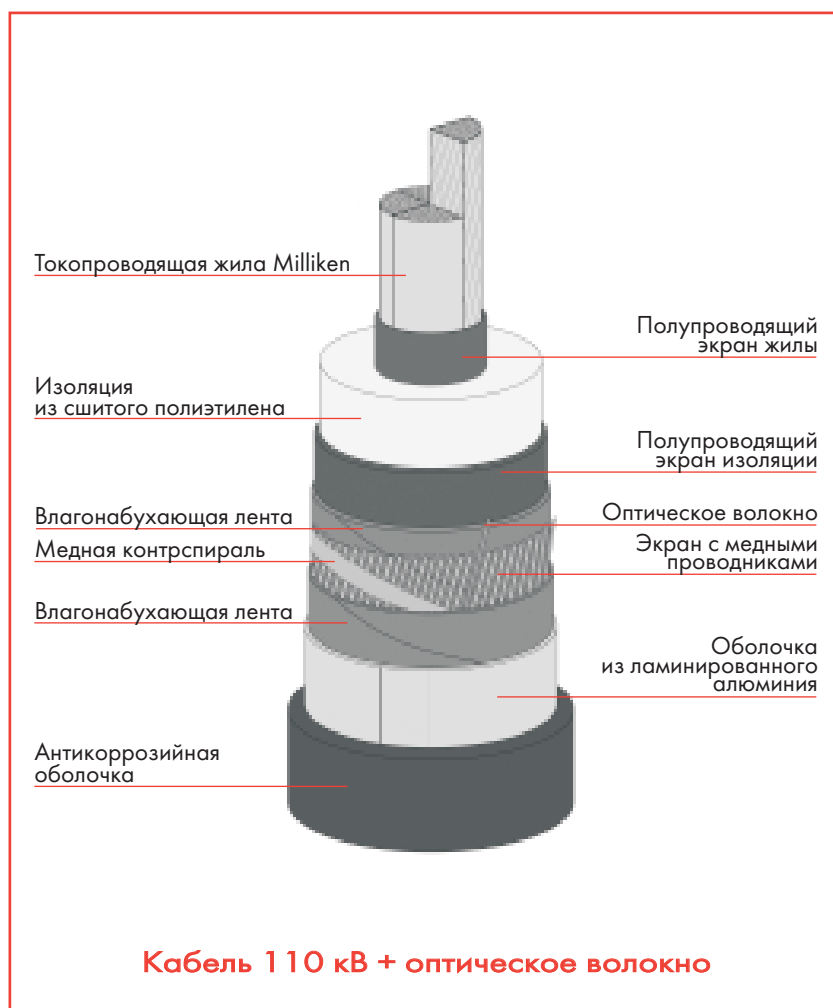
Проектно-конструкторский отдел нашей фирмы в настоящее время занимается следующими разработками в области производства кабелей и вспомогательного оборудования:

- Кабель с токопроводящей жилой из изолированных проводников с низким скин-эффектом и низким эффектом близости для обеспечения низких потерь и высокой удельной мощности.

- Кабель со сварным металлическим экраном, приклеенным к пластмассовой оболочке
- Кабель 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, Россию и другие страны.

- **Соединительная муфта с механической, электрической и антикоррозионной защитой**, типа НОР, с минимальными размерами, имеющая прочную конструкцию и с минимальным числом ручных монтажных операций на месте установки.
- **Концевая муфта с устройством защиты от взрыва** для обеспечения высокой безопасности на распределительной подстанции.
- **Концевая муфта, полностью изготовленная из синтетического материала** для обеспечения минимального обслуживания.
- **Концевая муфта из композитного материала** для обеспечения высокой безопасности и сокращения сроков поставки.
- **Соединительные устройства и концевые муфты с интегрированными датчиками частичных разрядов** для раннего обнаружения дефектов, возникших при монтаже или вследствие старения материала.
- **Концевая муфта типа GIS, полностью сухая (без масла)** для обеспечения минимального обслуживания.







## ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

**Вспомогательное оборудование** используется для соединения кабелей между собой (соединительные муфты) или для подключения кабелей к различным типам оборудования (концевые муфты).

При подготовке кабеля к соединению разрезается металлический экран и полупроводящий экран. При этом происходит сильное искажение силовых электрических линий и возрастание их плотности в области концевой заделки экрана кабеля. По этой причине при напряжениях выше 6 кВ нужно использовать устройства для выравнивания электромагнитного поля.

## КОНЦЕВЫЕ МУФТЫ

Концевые муфты используются для подключения кабелей к сети. Концевые муфты осуществляют выравнивание электрического поля, обеспечивают **путь прохождения тока утечки** и выполнение **соединения с внешними сетями**.

### Выравнивание электрического поля

Выравнивание электрического поля осуществляется с помощью специальной конструкции, изготовленной

из литого или ленточного эластомера. Выравнивание осуществляется благодаря усилению изоляции, выполненной в виде двойного конуса в области концевой заделки экрана кабеля. Затем на конусе со стороны экрана формируется токопроводящая поверхность, которую продолжает экран кабеля. Это способствует более равномерному распределению силовых линий электрического поля и снижению локальных напряженностей электрического поля.

### Путь прохождения тока утечки

**Путь утечки** – это расстояние на изолирующем элементе, измеренное на поверхности участка, который разделяет детали, находящиеся под напряжением, и заземленный экран. Путь утечки служит для устранения прямой проводимости посредством разряда по поверхности изолятора в окружающем его веществе (воздух, газ или масло). Путь утечки это общепринятое понятие, которое используется для концевых муфт, применяемых как внутри помещения, так и на открытом воздухе. Внутри помещения путь тока утечки не зависит от условий окружающей среды, а на открытом воздухе условия прохождения разряда по поверхности изолятора на пути тока утечки зависят от условий окружающей среды.

**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 массой. Это электрическое сопротивление зависит от условий окружающей среды, а именно: от влажности, содержания в воздухе соли и других загрязнений. Путь утечки концевой муфты равен произведению коэффициента загрязнения (измеряется в миллиметрах на киловольт) на максимальное напряжения в сети. Коэффициент загрязнения (мм/кВ) x максимальное напряжение = путь утечки (мм) концевой муфты.**

### Соединение

Соединение служит для непосредственной передачи электроэнергии и должно выполняться в зависимости от сечения кабеля. Соединения выполняются в два этапа: соединение токопроводящей жилы кабеля с концевой муфтой и подсоединение концевой муфты к сети. Металлический соединитель изготавливается из того же материала, что и жила кабеля (медь или алюминий).

### Изоляционные заполнители муфт

Изоляционные заполнители (масло или газ) обеспечивают однородную изоляционную среду внутри полого изолятора, окружающего концевую муфту.

Выбор между маслом и газом определяется условиями эксплуатации, безопасностью и защитой окружающей среды. Используются две категории электроизоляционных масел: минеральные масла и синтетические масла, (например, силиконовые масла).

Преимуществом использования масла является отсутствие необходимости в обслуживании компрессионной системы. Однако оно воспламеняемо и его утечки могут приводить к загрязнению грунта. Основным преимуществом газовой изоляции является его невоспламеняемость. Однако появляется необходимость в обслуживании компрессионной системы, а его утечки приводят к загрязнению атмосферы.

### Концевые муфты для применений на открытом воздухе

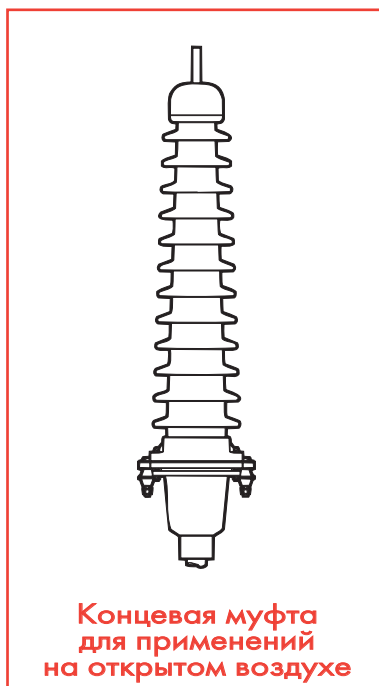
Концевые муфты для применений на открытом воздухе могут быть с синтетической или композитной внешней крышкой, а также с фарфоровым изолятором.

### Синтетические концевые муфты

Этот тип концевых муфт, как правило, не заполняется маслом или газом. Путь утечки находится в непосредственном контакте с окружающим воздухом.

Он создается с помощью ребер изоляторов. Как правило, используются силиконовые изоляторы, обладающие высокой степенью гидрофобности. Такие изоляторы используются, в основном, в следующих случаях:

- в условиях ограниченного свободного пространства
- при наличии опасности взрыва или пожара
- для выполнения временного соединения
- при наличии ограничений для монтажа (сверху или снизу, с наклоном..)



**Концевая муфта  
для применений  
на открытом воздухе**

### Композитные концевые муфты Жесткая синтетическая концевая муфта

- Изолятор выполнен в виде трубки из эпоксидной смолы, армированной стекловолокном, покрыт силиконовыми ребрами и закрыт двумя алюминиевыми фланцами.

- Муфта заполняется электроизоляционным маслом или элегазом.

- Эти концевые муфты предназначены для:

- установки на столбах или опорах
- эксплуатации в районах с высокой сейсмической активностью
- эксплуатации во взрывоопасной среде
- эксплуатации в условиях с высокой загрязненностью окружающей среды

### Концевые муфты с эмалированным фарфоровым изолятором

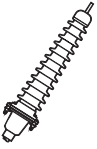
Конструкция этой концевой муфты является очень старой, и она хорошо зарекомендовала себя в процессе эксплуатации.

- Изолятор выполнен из эмалированного фарфора коричневого или серого цвета, и закрыт двумя алюминиевыми фланцами.

- Муфта заполняется электроизоляционным маслом.

- Эти концевые муфты предназначены для:

- установки на столбах или опорах
- эксплуатации в условиях с высокой загрязненностью



## Синтетические концевые муфты для применений внутри помещений и на открытом воздухе

Речь идет о **синтетических концевых муфтах без заполнителя**.

Синтетические концевые муфты используются внутри зданий в следующих случаях:

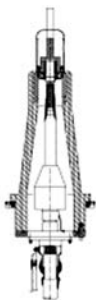
- подключение модульных агрегатов
- подключение к электрическим шинам
- подключение к трансформатору

Синтетические концевые муфты могут также использоваться для выполнения временных подключений.

Изолятор изготовлен из литого синтетического материала и обеспечивает герметизацию между внутренней и внешней частями концевой муфты. Юбки изолятора выполнены из того же синтетического материала и используются в качестве пути утечки между элементами, находящимися под напряжением, и заземленным экраном кабеля.

**Характеристики концевых муфт этого типа:**

- малый вес (значительно меньше, чем фарфоровый изолятор)
- хорошее соотношение параметров пожаробезопасность/защита окружающей среды, так как они не содержат никакой горючей или загрязняющей жидкости
- малые размеры
- нет необходимости в обслуживании
- при взрыве в результате пробоя не образуется осколков



**Трансформаторная концевая муфта**

- высокая стойкость к внешним механическим воздействиям (например, вандализм)

### Трансформаторная концевая муфта

Концевая муфта данного типа используются для подсоединения кабеля непосредственно к трансформатору.

Международные спецификации для трансформаторных концевых муфт представлены в документе EN 500299.

Существует очень много различных моделей трансформаторов, поэтому для выбора концевой муфты нужного типа необходимо знать особенности конструкции трансформатора.

Необходимыми параметрами для выбора вспомогательного оборудования нужного типа являются:

- положение концевой муфты, кабельной муфты, а также кабельного ввода
- изоляционный заполнитель, в котором находится концевая муфта (трансформаторное масло, газ или воздух)
- рабочая температура кабельной муфты
- нормы или особые требования

Для трансформаторных концевых муфт используется изолятор, изготовленный из эпоксидной смолы, который полностью погружен в изоляционный заполнитель (газ или масло).

При установке в наклонном положении, или когда верхняя часть соединения расположена внизу, используется резервуар для компенсации расширения масла.

Он необходим для того, чтобы эпоксидный изолятор всегда находился в масле.

Выравнивание электрического поля, как правило, осуществляется с помощью отклоняющего устройства, изготовленного из литого эластомера, которое

установлено на изоляции кабеля.

### Концевые муфты выключателей или КРУЭ

Концевые муфты этого типа предназначены для подключения кабеля к выключателю. Так как существует множество моделей выключателей, то для выбора концевой муфты нужного типа необходимо знать особенности конструкции КРУЭ.

Необходимыми параметрами для выбора вспомогательного оборудования нужного типа являются:

- положение концевых муфт, КРУЭ, а также кабельного ввода
- температура окружающей среды при работе выключателя
- нормы или особые требования

Норма IEC 60859 определяет тип концевых муфт выключателя, а также соответствующие границы раздела ответственности.

Существуют две технологии:

- Концевые муфты выключателя с эпоксидным изолятором

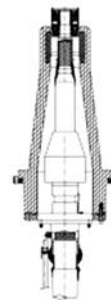
- Концевые муфты выключателя без эпоксидного изолятора

В соответствии с нормами IEC 60859, эпоксидный изолятор является точкой разграничения ответственности между

производителем шкафа

кабельной сборки, и

производителем кабеля. Этот изолятор заполняется маслом.



**Концевая муфта КРУЭ**

## Вспомогательное оборудование, соединительные муфты

Выравнивание электрического поля, как правило, осуществляется с помощью устройства, изготовленного из литого эластомера, которое установлено на изоляции кабеля.

При использовании изолятора из эпоксидной смолы может потребоваться компенсационный резервуар для компенсации изменения объема масла (увеличение или уменьшение) при изменении температуры. Это устройство используется в том случае, если объем воздушной полости внутри металлической вставки меньше объема компенсационного масла, или если воздушная полость внутри металлической вставки самопроизвольно заполняется маслом.

Эти два условия возникают в следующих случаях:

- если изолятор расположен наклонно или вверх ногами. При таком расположении внутренняя часть металлического резервуара самопроизвольно заполняется маслом, и компенсация осуществляется из внешнего резервуара.
- для изолятора, расположенного вертикально, если изменения объема масла больше объема воздушной полости внутри металлической вставки, то компенсация осуществляется также из внешнего резервуара.

### Соединительные муфты

Соединительные муфты используются для соединения кабелей между собой.

В настоящее время существуют две технологии:

- **ленточные** соединения используются при напряжении до 110 кВ
- **литые** соединения используются при напряжении до 500 кВ

Чтобы правильно выбрать тип соединения, необходимо знать тип кабеля и условия его прокладки.

Существуют три типа соединений:

#### Соединение с заземлением или без заземления

- **соединение без заземления**

Оно включает в себя те же компоненты, что и кабель, и обеспечивает механическую и электрическую целостность линии.

Это соединение используется в **линиях небольшой длины** или на **участках линии большой длины с небольшим индуцированным напряжением на экранах**.

- **соединение с заземлением**

При использовании соединения с заземлением, соединение экрана с землей осуществляется жестким кабелем промышленного типа, такое соединение используется в линиях небольшой длины, или на участках линии большой длины.

- **соединение с транспозицией экрана**

Соединение без транспозиции экрана и с транспозицией экрана выбирается в зависимости от конструкции

наружного экрана кабеля.

Для соединения с транспозицией экрана разрыв экрана позволяет осуществить физическое продолжение полупроводящих и металлических экранов. Наряду с транспозицией экранов это соединение позволяет оптимизировать сечение кабеля и передаваемую мощность, а также свести к минимуму потери в соединении. Транспозиция экранов заключается в разрыве цепей экранов и выполнении соединений между цепями экранов разных фаз для снижения индуцируемых на экранах напряжений. Транспозиция экранов выполняется в том случае, если **линия содержит как минимум три отрезка кабеля приблизительно одинаковой длины в каждой фазе**. Все типы экранов или внешней оболочки кабеля могут соединяться через промежуточные компоненты соединительной муфты. Что касается токопроводящих жил, то необходимо знать из какого металла они изготовлены, их сечение и размер. Среди указанных выше типов соединений существует также **переходные соединительные муфты**. Они служат для соединения двух кабелей различного типа (например, маслонаполненного кабеля и кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена).



## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ

### Ленточное соединение

Технология ленточных соединений является самой старой, она заключается в создании в месте соединения изоляции, эквивалентной той, которая имеется на соединяемых отрезках кабеля.

В этом случае используются

#### синтетические ленты

с хорошими диэлектрическими характеристиками.

Ленточное соединение может выполняться как вручную, так и с использованием механического оборудования. Последнее является менее

распространенным.

Этот тип соединения используется для напряжений не выше 110 кВ.

### Характеристики этого соединения:

**Экономический аспект:** в плане компонентов это соединение является самым экономичным.

#### Технический аспект:

используемые ленты обладают хорошими механическими и диэлектрическими характеристиками. Хорошие механические характеристики позволяют обеспечить плотное обжатие границы раздела между кабелем и лентой.

Хорошие диэлектрические характеристики ленты обеспечивают высокое сопротивление изоляции на переменном токе, а также позволяют выдерживать удары молнии и скачки напряжения при выполнении коммутации.

Однако, при ручном выполнении ленточного соединения его характеристики зависят от профессионализма монтажника.

### Литое соединение

Это более современная технология выполнения соединений. Литые соединения включают в себя **литой корпус, выполненный из эластомера, с электродом и два элемента, выравнивающих электромагнитное поле, изготовленные из полупроводящего эластомера.**

Это соединение является моноблочным.

Изготовленное и испытанное на заводе соединительное устройство с усилием одевается на соответствующим образом подготовленные концы кабеля. В данном случае качество соединения меньше зависит от квалификации монтажника, чем в случае ленточных соединений.

Операция одевания корпуса выполняется с помощью механических устройств. Так как это соединение имеет больший диаметр, чем диаметр кабеля, то к нему может прикладываться достаточно большое сжатие на границе раздела с кабелем.

### Монтаж литых соединительных устройств

Существует два метода монтажа:

#### Монтаж с помощью расширения литого корпуса:

Литой корпус соединительного устройства расширяется с помощью специального устройства на поддерживающей втулке, которая временно устанавливается со стороны кабеля при подключении токопроводящей жилы. После этой операции поддерживающую втулку

вытаскивают, и корпус соединительного устройства окончательно устанавливается на свое место.

### Монтаж с помощью надвигания на кабель:

Стресс-конус с усилием одевается на конец кабеля до соединения токопроводящих жил. После этой операции производится соединение жил. Затем стресс-конус окончательно устанавливается на свое место. Как правило, стресс-конус движется с помощью специальной механической лебедки.

Этот тип соединения используется до напряжений 290/500 (550) кВ.

### Характеристики соединения:

Выполняемые на заводе-изготовителе предварительные испытания позволяют обнаружить дефекты в соединительном устройстве. Хорошие механические характеристики используемых синтетических материалов позволяют поддерживать хорошее обжатие на поверхности контакта между кабелем и литым соединением по всей длине соединения и на протяжении всего срока службы кабеля. Хорошие электрические характеристики материала обеспечивают высокое сопротивление изоляции на переменном токе, позволяют выдерживать удары молнии и скачки напряжения при выполнении коммутации.



## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ

### Сборное соединение

Сборное соединение включает в себя несколько деталей, которые соединяются между собой на месте установки. Качество таких соединений в значительной степени зависит от квалификации монтажника.

Назначением соединения является обеспечение пути прохождения электрического тока, а также изоляция металлических экранов системы от земли и друг от друга.

### Переходное соединение между кабелями с бумажно-масляной изоляцией и кабелем с синтетической изоляцией

Это соединение используется для соединения кабеля с бумажно-масляной изоляцией (промасленная бумага) с кабелем с синтетической изоляцией.

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

### Основные характеристики:

С одной стороны, кабель с бумажно-масляной изоляцией и выравнивателем поля, а с другой стороны, кабель с синтетической изоляцией и литым насаженным стресс-конусом.

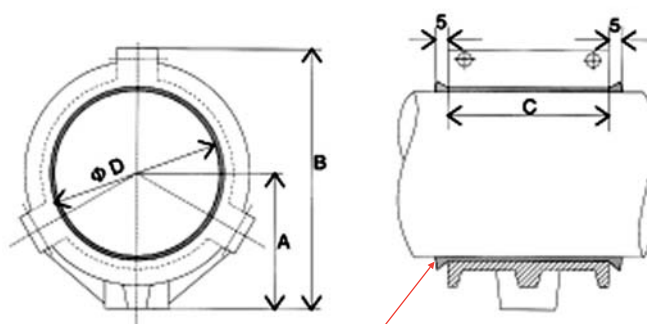
### Защитное оборудование

При прокладке высоковольтных кабелей, заземление экранов выполняется напрямую или через внутренние или наружные ограничители перенапряжения (ОПН).

### Крепежные материалы

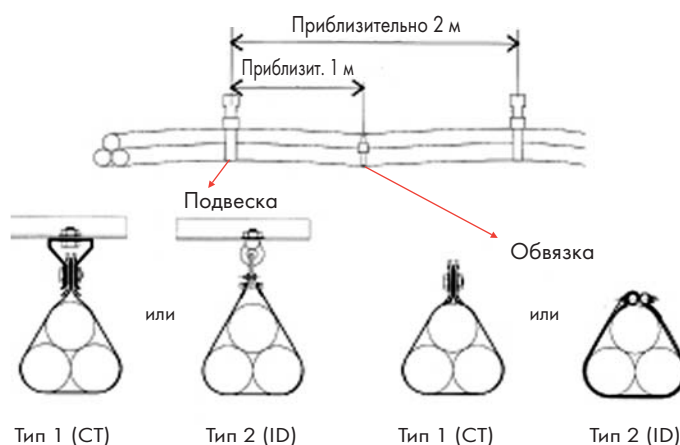
Хомуты служат для закрепления кабелей, расположенных на жестких опорах или на столбах. В кабельных туннелях используются подвешиваемые крепления.

### Хомуты закреплены на стрелях и на неподвижных основаниях или на шаровых опорах



Прокладка толщиной от 5 до 10 мм

### Крепление в кабельном туннеле





## УСТАНОВКА

### Монтаж концевых муфт

При подготовке к прокладке кабеля необходимо исключить непосредственный контакт между внешней оболочкой кабеля и неровностями бетона. Поэтому кабели прокладываются в кабелепроводах из эластичной пластмассы (например, в полиэтиленовых трубах). Этот кабелепровод выступает приблизительно на 30-50 см 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 стационарном режиме и 20 кВ в при переходных процессах), с помощью установки немагнитной сетки. Если металлические экраны расположены на высоте более 3 м (для линий свыше 400 кВ), то нет необходимости устанавливать эти защитные устройства.

### Хомуты для крепления кабеля

При вертикальном монтаже кабеля рекомендуется устанавливать не менее двух хомутов крепления кабеля к строительной конструкции.

### Концевые муфты, устанавливаемые на опорах воздушно-подземных линий

#### Платформа

Крепление воздушной линии осуществляются с помощью гирлянд к концевым зажимам на верхушках концевых муфт. Муфты устанавливаются на горизонтальные платформы на высоте не менее 6 м и окружаются защитной сеткой (состоит из разъемных секций), которая предотвращает несанкционированный доступ к оборудованию.

#### ОПН

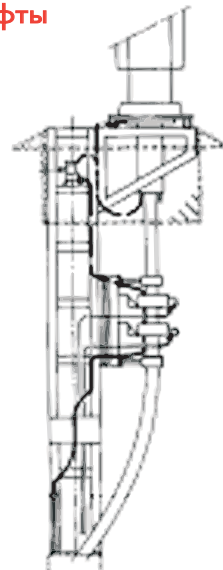
В случае специального соединения экранов на них со стороны стойки устанавливаются ОПН для того, чтобы избежать

дублирования защиты «массы-кабеля». 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 концевой муфты



## МОНТАЖ КАБЕЛЯ

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

### Прокладка кабелей

#### Защита кабеля

##### Внешние воздействия

Защита кабелей для обеспечения их долговременной работы непосредственно связана с методом 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, протягивании, или при монтаже вспомогательного оборудования.

##### 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 блуждающих 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 является следующее:

- 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 длину кабеля
- Максимальную длину кабеля на барабане
- Метод выполнения заземления экранов кабеля

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.





### Прокладка под землей

**В большинстве случаев кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена прокладываются в земле.**

#### Укладка в грунт

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 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 подземном кабельном тоннеле вследствие эффекта декомпрессионной камеры в кабельном тоннеле.

#### Ширина траншеи

Ширина траншеи зависит от используемого способа прокладки кабеля, а так же от нужного промежутка между кабелями, который определяется характеристиками машины для укладки кабеля.

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
- при использовании 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.

#### Межосевое расстояние для двух линий

Это расстояние является функцией тепловых условий, используемых в расчетах пропускной способности каждого из двух линий.

На практике минимальное рекомендуемое расстояние равняется 70 см.

#### 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.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ПРОКЛАДКА КАБЕЛЯ В СТРОИТЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ

Этот метод прокладывания еще не очень распространен, он применяется только для высоковольтных линий с напряжением до 150 кВ, прокладываемых вне городских или пригородных зон с высокой плотной коммуникационных сетей (вода, газ, электричество, телекоммуникации, центральное отопление...).

### Ширина траншеи

Минимальная ширина траншеи равна 0,25 м.

Эта ширина (занимаемая кабелями) при определенных условиях увеличивается, как описано выше.

### Дно траншеи

Протягивание кабелей по земле, непосредственно по дну траншеи, категорически запрещено.

Обычно для этого используются гладкие плиты основания, выполненные из строительного раствора, толщиной от 5 до 10 см и весом до 100 кг. При этом используются такие же плиты основания и такие же межосевые расстояния между двумя линиями, что и при традиционной прокладке.

### 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...)

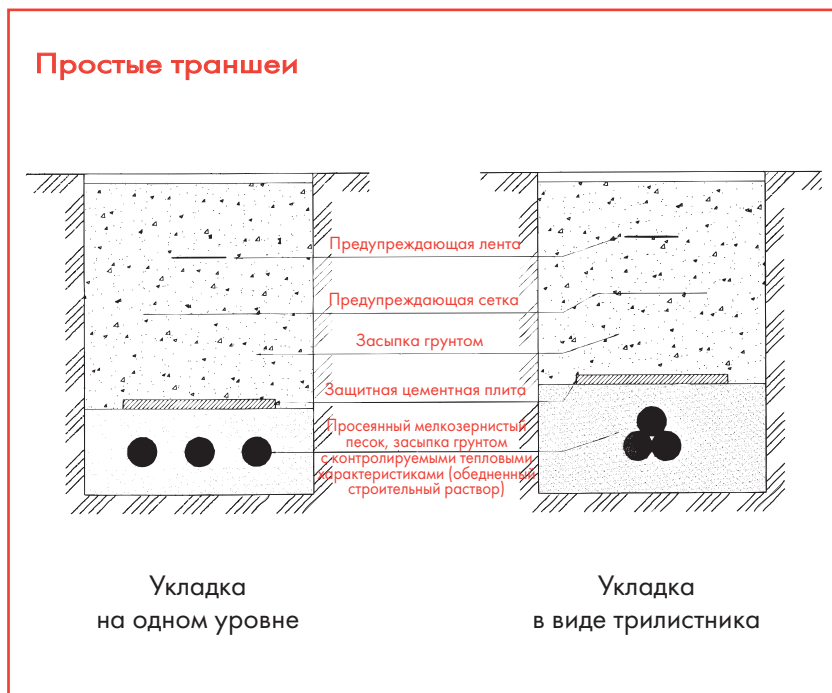
### Контролируемая грунтовая засыпка

Опыт показывает, что не могут быть обеспечены постоянные тепловые характеристики грунтовой засыпки с контролируруемыми тепловыми характеристиками (другие работы, проводимые поблизости, разрыхление почвы приводят к снижению

теплопроводности почвы).

Однако на подстанциях такая засыпка грунтом с контролируруемыми тепловыми характеристиками 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 контролируемую засыпку грунта.





## ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ В КАБЕЛЬНЫХ ТРАНШЕЯХ

### Засыпные кабельные траншеи

#### 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 городской черте глубина траншеи на протяжении трассы равняется 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

- 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 0,90 м.

#### Средства предупреждения о наличии кабеля

Средства предупреждения о наличии кабеля располагаются в траншеях (на расстоянии приблизительно 20 см от кабеля), это может быть сетка, кирпичная кладка или стальной лист.

#### Кабель заземления

В случае специального соединения экранов кабель заземления располагается в траншее над расположенными в виде трилистника кабелями, на минимальном расстоянии от кабелей, для того, чтобы снизить напряжение, индуцируемое на экранах кабеля. Кабель заземления должен быть пригоден для выполнения транспозиции экранов кабелей, если это не выполняется другим способом.

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

#### Телекоммуникационный кабель

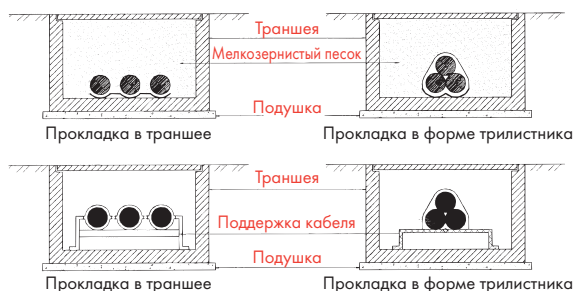
Телекоммуникационные кабели всегда прокладываются в бетонированных траншеях для обеспечения надежной защиты от механических воздействий, а также для упрощения выполнения ремонта.

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

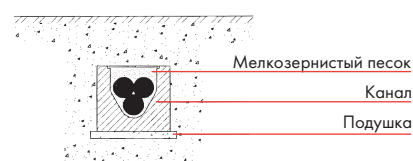
#### Наклонные траншеи

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

### Прокладка во вскрываемой траншее



### Прокладка в траншее с засыпкой



## ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ В КАБЕЛЕПРОВОДАХ

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:

- Снижает время проведения работ
- Обеспечивает эффективную механическую защиту в местах, 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 кабелепроводах из ПЭ, залитых бетоном

Этот вид прокладки кабелей является наиболее распространенным. Прокладка кабелепроводов, залитых бетоном, без взаимного соприкосновения (отдельно друг от друга) используется, в основном, в особых случаях (кабели с повышенной защитой: вспомогательные линии группы 220 и 400 кВ, пересечение шоссе...)

### Расположение кабелепроводов в форме трилистника отдельно друг от друга

#### Глубина траншеи

Обычно используются траншеи, имеющие следующую глубину:

- в черте города: 1,50 м
- на распределительных подстанциях: 0,90 м.

Рекомендуемая минимальная толщина слоя бетона вокруг кабелепровода – порядка 10 см. Трамбовка грунта засыпки является обязательной.

#### Ширина траншеи

Ширина траншеи зависит в основном от внешнего диаметра кабелепровода, используемого для прокладки кабеля, а также от необходимой ширины:

- для прокладки кабелепровода: 4 см между двумя кабелепроводами зарезервированы 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 кабелепроводом 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 кабелепровода

Минимальный радиус кривизны изгиба при прокладке кабелепровода должен быть в 20 раз больше его наружного диаметра.

- Направление раструба кабелепровода должно соответствовать направлению протяжки кабеля.
- Диаметр протягиваемого кабеля должен соответствовать диаметру кабелепровода (0,8 внутреннего диаметра кабелепровода). На кабелепроводе должно быть указано направление протяжки кабеля, и он должен быть закрыт заглушками.



- Рекомендуется использование гребенок для облегчения ремонта и обслуживания (расстояние между гребенками в 10 раз больше наружного диаметра кабелепровода).

**Средства предупреждения о наличии кабеля**

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

**Кабель заземления**

Изолированный кабель заземления прокладывается в бетоне под кабелепроводами на расстоянии 75 мм

от кабелепроводов, посередине между двумя фазами, которые образуют одну сторону трилистника (на минимальном расстоянии от кабелей для того, чтобы уменьшить индуцируемые на экранах напряжения). Кабель заземления должен быть пригоден для выполнения транспозиции экранов кабелей, если это не предусмотрено в силовых кабелях.

**Засыпка грунтом с контролируруемыми тепловыми характеристиками**

Бетон обладает хорошими тепловыми характеристиками, и засыпка грунтом с контролируруемыми тепловыми характеристиками не требуется.

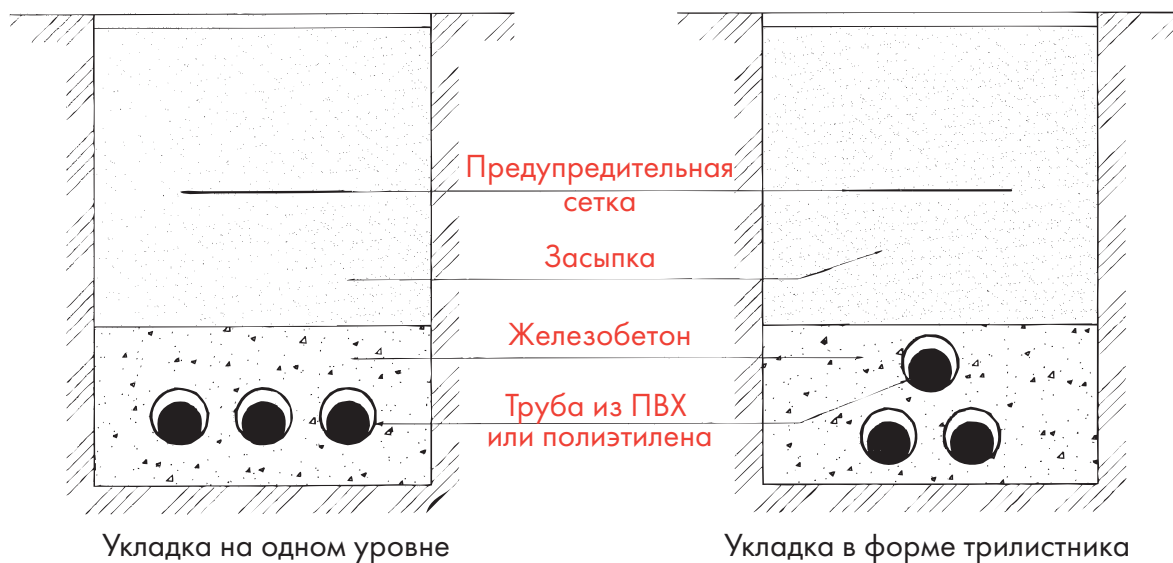
**Прокладка на небольшой глубине (усиленная засыпка)**

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 кабелепроводов, расположенных на одном уровне отдельно друг от друга**

Такая прокладка кабельной линии является исключительной. Технология прокладки идентична указанной выше, между кабелепроводами имеются зазоры, в которых должны быть проверены тепловые характеристики.

**Пересечение с обычной дорогой**



## ПРОКЛАДКА В КАБЕЛЬНЫХ ТОННЕЛЯХ

**Наличие на одной и той же трассе нескольких кабельных линий может быть причиной прокладки кабелей в подземном кабельном тоннеле**

### Преимущества

- Возможность проложить несколько 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.

### Недостатки

- 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 от 0,90 м (при установке кабелей на двух сторонах 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, а на конце 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 классической прокладке кабельных линий высокого и сверхвысокого напряжения в засыпных траншеях каждая

кабельная линия выделяет в результате потерь тепло от 50 до 200 Вт/м, это тепло рассеивается в грунте. Такая же мощность рассеивается в кабельном тоннеле в воздух, температура которого должна поддерживаться на указанном выше уровне.

### Оборудование

#### кабельного тоннеля

Кабель, как правило, подвешивается в кабельном тоннеле на крепежных устройствах, которые закрепляются на оболочке кабеля или на кабелепроводе. Металлические детали оборудования, расположенного в кабельном тоннеле, должны обязательно подсоединяться к кабелю заземления (эквипотенциальное соединение).

### Система крепления кабелей

#### в галерее, туннеле

#### 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 втулка





из эластомера (Nypalon или EPDM). Для компенсации расширения в направлении оси кабеля (продольное расширение), когда кабель должен проходить по воздуху на участках большой протяженности, крепление должно выполняться с помощью метода «змейки».

Для удерживания кабелей при воздействии на них электродинамических усилий, возникающих при КЗ, кабели должны быть обязательно связаны между собой через одинаковые промежутки, величина которых определяется качеством или типом связи, а также величиной возникающих усилий. В первом приближении, расстояние между обвязками кабелей на отрезке между двумя фиксированными 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**

**Установка**

- Крепление кабелей на фиксированных опорах, установленных на одинаковых расстояниях друг от друга
- Прокладка «змейкой» в вертикальной плоскости

- На отрезках между фиксированными опорами можно связывать кабели между собой
- Возможность разматывать кабели прямо на их опоры

**Крепление в горизонтальной плоскости**

**Установка**

- Крепление кабелей на фиксированных опорах, установленных на одинаковых расстояниях друг от друга или на кабельной полке
- Прокладка змейкой в вертикальной или горизонтальной плоскости
- Возможность связывать кабели между собой

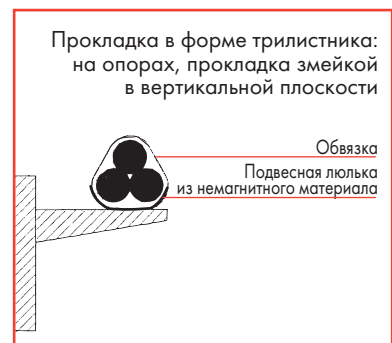
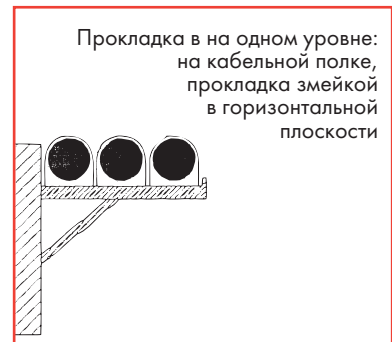
**Прокладка в форме трилистника**

**Установка**

- Кабели удерживаются в подвешенном состоянии непосредственно на фиксированных кронштейнах, 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».

### Соединительные муфты

#### Кабельный колодец

В том случае, если используются соединительные коробки, кабельный колодец должен иметь дренажный лоток и колодец для сбора грунтовых вод.

#### Расположение кабелей

Кабели находятся в кабельном колодце 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:

- Последовательные соединения - это наиболее распространенный тип соединения
- Соединения ребро к ребру
- Соединения в шахматном порядке – используются редко.

#### Засыпка грунтом, трамбовка

Засыпка грунтом и трамбовка обеспечивают следующие:

- Безопасность для персонала в случае короткого замыкания

- Улучшается отвод тепла через грунт (увеличивается пропускная способность кабеля)
- Улучшается механическая прочность грунта
- Обеспечивается защита кабеля от внешних воздействий

Засыпка траншеи грунтом выполняется последовательными слоями, которые тщательно утрамбовываются.

#### Засыпка материалом с контролируемыми тепловыми характеристиками

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 часто используются натуральные пески.

#### Контроль температуры кабелей

Для контроля температуры кабеля в некоторых местах кабельной линии устанавливаются термодатчики, например:

- Между кабелепроводами
- В кабельных тоннелях
- В соединительных кабельных колодцах
- В местах пересечения кабелей
- Вблизи источников тепла

#### Маркировка подземных кабелей

Маркировка подземных кабелей производится с помощью этикеток из ПВХ (самосжимающиеся), которые устанавливаются в определенных местах на трассе, обычно на концах кабелей и в соединительных кабельных колодцах:

- по обе стороны соединения, в кабельных тоннелях (вверху или внизу)
- на блоках кабелепроводов или на соединениях (на входе или на выходе блока), или в тоннелях, где располагаются другие коммуникационные линии, вместе с предупреждениями об опасности

Это также относится к маркировке кабелей заземления, телекоммуникационных кабелей, а также электропроводки.

#### Специальные земляные работы

Для прокладки кабелей могут использоваться различные методы проходки и бурения, позволяющие решать различные задачи (пересечение с дорогами, автомобильными шоссе, железными дорогами, каналами, реками, 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 устраняет тем самым

необходимость рыть открытую траншею (это особенно важно в местах пересечения кабельной трассы, например, с дорогой). Пример применения данного метода показан на представленном ниже рисунке. Эта система может применяться для проходки препятствий большой длины, проходка

выполняется с большой точностью, так как она легко управляется и корректируется во время выполнения. Данный метод основан на том, что трубная секция вгоняется в грунт, перед трубной секцией производится выемка грунта (вручную), и грунт по мере продвижения трубной секции удаляется.

**Техника проходки**

**Микротоннель (шнековый бур)**  
**Принцип:**  
 операция заключается в том, чтобы проталкивать вперед трубу (оболочку) из стали, железобетона и т.д. в грунт, выемка породы осуществляется шнековым буром.

**Микротоннель (машина для проходки микротоннелей)**  
 Техника прокладки заключается в том, чтобы проталкивать вперед элементы сборных труб, имеющих сечение, достаточное для прохождения проталкивающей установки.

## НАКЛОННОЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ БУРЕНИЕ

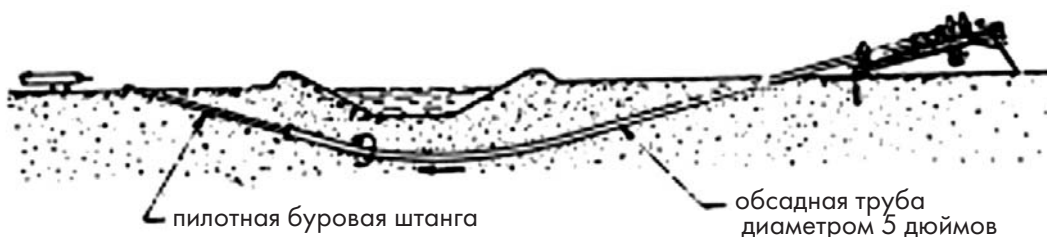
Наклонное горизонтальное бурение особенно эффективно при пересечении рек, каналов и т.д.

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

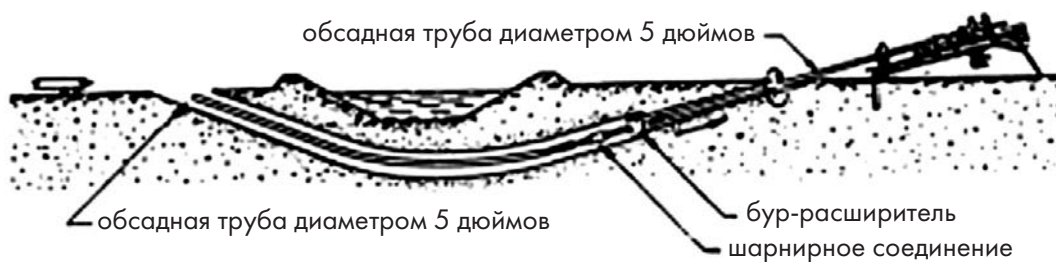
### Техника бурения



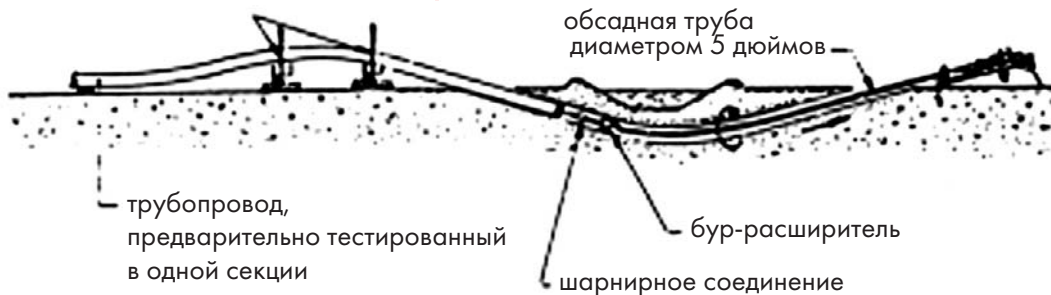
### Обсадная труба диаметром 5 дюймов



### Бурение



### Протягивание



## ПРОКЛАДКА И СЕЧЕНИЕ

### Информация, необходимая для расчета сечения кабеля

- Напряжение сети
- Длина линии
- Номинальный ток
- Метод прокладки
- Величина и длительность прохождения тока КЗ
- Температура грунта и воздуха
- Близость термических источников (кабель, например трубопровод горячей воды)
- Тепловое сопротивление грунта

### для выбора вспомогательного оборудования высоковольтной линии

- Положение линии в сети
- Окружающая среда
- Тип трансформатора (если используется)
- Высота, на которой устанавливается вспомогательного оборудование
- Температура на месте установки (минимальная и максимальная)



## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПРОКЛАДКИ КАБЕЛЯ НА ДОПУСТИМЫЙ ТОК

Тип прокладки	МОЩНОСТЬ	100 МВА	400 МВА
	Номинальное напряжение Ток Длина линии	110 кВ 523 А 300 м	220 кВ 1050 А 1000 м
<b>Кабели, прокладываемые прямо в земле – 1 цепь</b> Тепловое сопротивление грунта = 1 К·м/Вт Температура грунта = 20°C Глубина прокладки L = 800 мм	Сечение и материал жилы Заземление экранов Укладка кабелей  Схема прокладки	400 мм <sup>2</sup> , алюминий в 2 точках в форме трилистника с общей обвязкой Т1	800 мм <sup>2</sup> , медь в 1 точке на одном уровне  N1: s = 180 мм
<b>Кабель в земле – 1 цепь</b> Тепловое сопротивление грунта = 2 К·м/Вт Температура грунта = 35°C Глубина прокладки L = 2000 мм	Сечение и материал жилы  Заземление экранов Укладка кабелей  Схема прокладки	630 мм <sup>2</sup> , алюминий  в 2 точках в форме трилистника с общей обвязкой Т1	1600 мм <sup>2</sup> , медь (сегментированная – эмалированные проводники) в 1 точке на одном уровне  N1 : s = 450 мм
<b>Кабель в кабельном тоннеле</b> Температура воздуха = 40°C	Сечение и материал жилы Заземление экранов Укладка кабелей  Схема прокладки	300 мм <sup>2</sup> , алюминий в 2 точках в форме трилистника с общей обвязкой Т2	630 мм <sup>2</sup> , медь в 1 точке в прилегающем слое  N2: s = 180 мм
<b>Кабель в бетонном кожухе – 2 цепи</b> Тепловое сопротивление грунта = 2 К·м/Вт Температура грунта = 35°C Глубина прокладки L = 800 мм	Сечение и материал жилы  Заземление экранов Укладка кабелей Схема прокладки	800 мм <sup>2</sup> , алюминий  в 2 точках в форме трилистника Т3 : s=200 мм x 700 мм	2000 мм <sup>2</sup> , медь (сегментированная – эмалированные проводники) в 1 точке на одном уровне N3: s = 400 мм x 2500 мм

Из приведенной выше таблицы следует, что пропускная способность кабеля зависит от способа прокладки кабеля (то есть, при разных способах прокладки кабеля для пропускания одинакового тока требуются кабели разного сечения). Поэтому при расчете необходимого сечения кабеля необходимо учитывать параметры его прокладки.

## РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ СИЛЫ ТОКА ДЛЯ РАЗНЫХ ПРОВОДНИКОВ (МЕДЬ ИЛИ АЛЮМИНИЙ)

Металлические экраны рассчитываются так, чтобы выдержать ток КЗ согласно данным, которые приведены в представленной таблице.

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

Эти расчеты не должны заменять расчеты совокупности параметров, выполняемые Технической Службой высокого напряжения фирмы NEXANS.

Номинальное напряжение, Кв	Ток КЗ
110 ≤ U < 220	20 кА - 1 сек
220 ≤ U ≤ 330	31,5 кА - 1 сек
330 < U ≤ 500	63 кА - 0,5 сек

Коэффициент загрузки: 100 %

### Определение сечения токопроводящей жилы и расчет допустимой силы тока

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

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

- I**: допустимый ток в А  
**S**: полная мощность линии в кВА  
**U**: номинальное напряжение линии в кВ

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

### Допустимые температуры для изоляции из сшитого полиэтилена

Температура в нормальном режиме работы	90°C
Температура в режиме перегрузки	105°C
Температура при КЗ (не более 3 с)	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 в 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	5,0
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

## НАПРЯЖЕНИЕ 64/110 (123) кВ, АЛЮМИНИЕВЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная 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 * Cu	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана * Cu	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана * Cu	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана * Cu	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана * Cu	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана * Cu	Внешний диаметр кабеля *	Внешний диаметр кабеля *	Вес кабеля *
мм <sup>2</sup>	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм	мм	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	кг/м	
240 R	18.4	16	0.1250	0.16	180	66	85	72	9	100	68	5	330	77	4	800	73	13
300 R	20.5	16	0.1000	0.17	180	67	4	85	73	9	100	69	5	340	77	5	810	13
400 R	23.3	16	0.0778	0.19	190	69	4	85	74	10	95	71	5	340	79	5	810	13
500 R	26.4	15	0.0605	0.21	190	71	5	80	76	10	95	72	5	380	82	5	810	14
630 R	30.3	15	0.0469	0.24	180	73	5	80	79	11	90	76	6	390	85	6	800	14
800 R	34.7	15	0.0367	0.27	170	78	6	75	84	12	90	80	7	420	90	7	810	15
1000 R	38.2	15	0.0291	0.28	180	82	7	70	88	14	85	84	8	470	95	8	800	16
1200 R	41.4	15	0.0247	0.29	190	86	8	65	92	15	85	88	8	490	99	9	790	16
1600 R	48.9	15	0.0186	0.33	170	95	10	50	102	18	80	98	10	580	110	11	800	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: на одном уровне		Номинальное сечение
	Заземление	В воздухе, в тоннеле	В земле	В воздухе, в тоннеле	
мм <sup>2</sup>	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	мм
	ρ=1,0 T=20°C	ρ=1,2 T=30°C	ρ=1,0 T=20°C	ρ=1,2 T=30°C	
240 R	405	350	430	375	240 R
300 R	455	390	485	420	300 R
400 R	515	445	560	480	400 R
500 R	580	500	640	550	500 R
630 R	695	595	735	630	630 R
800 R	785	670	835	715	800 R
1000 R	870	745	935	800	1000 R
1200 R	930	795	1010	865	1200 R
1600 R	1135	975	1230	1055	1600 R



## НАПРЯЖЕНИЕ 64/110 (123) кВ, МЕДНЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная 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* Cu	Вес кабеля* кг/м	Внешний диаметр кабеля*	Сечение экрана* Cu	Вес кабеля* кг/м	Внешний диаметр кабеля*	Сечение экрана* Cu	Вес кабеля* кг/м	Внешний диаметр кабеля*	Сечение экрана* Cu	Вес кабеля* кг/м	Внешний диаметр кабеля*	Сечение экрана* Cu	Вес кабеля* кг/м	Внешний диаметр кабеля*
240 R	18.4	16	0.0754	0.16	180	66	5	85	72	11	100	68	6	330	77	6	800	73	14
300 R	20.5	16	0.0601	0.17	180	67	6	85	73	11	100	69	7	340	77	6	810	73	15
400 R	23.2	16	0.0470	0.19	190	68	7	85	74	12	95	70	7	340	79	7	810	75	16
500 R	26.7	15	0.0366	0.22	190	71	8	80	77	13	95	73	8	380	82	9	820	77	17
630 R	30.3	15	0.0283	0.24	180	73	9	80	79	15	90	76	10	390	85	10	800	79	18
800 R	34.7	15	0.0221	0.27	170	78	11	75	84	17	90	80	12	420	90	12	810	83	20
1000 R	38.8	15	0.0176	0.28	180	83	13	65	89	20	85	85	14	470	96	14	810	88	23
1000 R	40.0	15	0.0176	0.29	190	86	14	65	92	21	85	88	15	490	99	15	790	90	23
1200 R	42.5	15	0.0151	0.31	200	89	16	60	95	23	85	91	16	510	101	17	790	93	24
1600 R	48.9	15	0.0113	0.32	170	97	21	50	104	29	80	100	22	650	112	23	790	101	30
1600 S Em	48.9	15	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 Em: сегментированная эмалированная жила

### Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Заземление		Вид прокладки: в форме трилистника		Заземление		Вид прокладки: на одном уровне		Номинальное сечение	
	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	В воздухе, в тоннеле	В земле	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	В воздухе, в тоннеле	В земле	В воздухе, в тоннеле	В земле
240 R	С вихревыми токами	С вихревыми токами	T=30°C	T=30°C	T=30°C	T=30°C	T=30°C	T=30°C	T=30°C	T=30°C
300 R	570	490	730	730	625	540	855	685	625	540
400 R	635	550	835	835	715	615	995	795	715	615
500 R	710	610	950	950	810	700	1160	925	810	700
630 R	860	740	1155	1155	925	795	1345	1075	925	795
800 R	960	820	1310	1310	1040	890	1545	1235	1040	890
1000 R	1040	895	1455	1455	1145	985	1735	1385	1145	985
1000 R	1125	965	1580	1580	1220	1045	1850	1480	1220	1045
1200 R	1205	1030	1710	1710	1315	1125	2015	1610	1315	1125
1600 R	1280	1095	1850	1850	1400	1200	2190	1750	1400	1200
1600 S Em	1380	1185	2005	2005	1525	1310	2390	1910	1525	1310





## НАПРЯЖЕНИЕ 87/150 (170) кВ, МЕДНЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20°C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран		Проволочный экран Sn/Pb		Проволочный экран Sn/Al		Алюминиевый гофрированный экран		Свинцовый экран		
					Сечение экрана*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Вес кабеля*	Внешний диаметр кабеля*
мм <sup>2</sup>	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм <sup>2</sup>	кг/м	мм <sup>2</sup>	кг/м	мм <sup>2</sup>	кг/м	мм <sup>2</sup>	кг/м	мм <sup>2</sup>	кг/м	
400 R	23.2	19	0.0470	0.15	180	8	65	88	15	85	9	470	810	87	17
500R	26.7	19	0.0366	0.17	190	9	65	89	16	85	10	480	790	88	18
630 R	30.3	18	0.0283	0.19	190	85	11	65	91	17	85	490	810	90	20
800 R	34.7	18	0.0221	0.21	200	88	12	60	94	20	85	500	810	92	21
1000 R	38.8	18	0.0176	0.23	200	91	15	55	97	22	85	550	780	95	23
1000 S	40.0	18	0.0176	0.25	170	92	15	55	99	23	80	560	800	97	24
1200 S	42.5	18	0.0151	0.26	170	95	16	50	102	25	80	580	800	100	25
1600 S	48.9	18	0.0113	0.29	180	101	22	40	108	31	80	740	790	105	30
1600 S Em	48.9	18	0.0113	0.29	180	101	22	40	108	31	80	740	790	105	30
2000 S	57.2	18	0.0090	0.32	160	110	25	25	117	35	75	870	830	114	34
2000 S Em	57.2	18	0.0090	0.32	160	110	25	25	117	35	75	870	830	114	34

\* Значения указаны в качестве примера R: круглая жила

S: сегментированная жила

S Em: сегментированная эмалированная жила

### Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Заземление		Вид прокладки: в форме трилистника		Заземление		Вид прокладки: на одном уровне		Номинальное сечение
	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	В воздухе, в тоннеле	В земле	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	В воздухе, в тоннеле	В земле	
мм <sup>2</sup>	С вихревыми токами	Без вихревых токов	В воздухе, в тоннеле	В земле	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	В воздухе, в тоннеле	В земле	мм
400 R	640	550	835	665	710	615	960	775	400 R
500 R	715	615	955	760	810	700	1125	900	500 R
630 R	860	740	1145	910	920	795	1305	1045	630 R
800 R	955	820	1300	1035	1035	890	1505	1205	800 R
1000 R	1040	895	1445	1150	1140	980	1700	1360	1000 R
1000 S	1130	970	1575	1250	1220	1045	1815	1455	1000 S
1200 S	1210	1040	1705	1355	1315	1130	1980	1585	1200 S
1600 S	1275	1090	1840	1460	1395	1200	2160	1730	1600 S
1600 S Em	1375	1180	1990	1580	1520	1305	2360	1885	1600 S Em
2000 S	1385	1185	2050	1625	1590	1310	2435	1945	2000 S
2000 S Em	1535	1315	2290	1815	1725	1480	2750	2200	2000 S Em

## НАПРЯЖЕНИЕ 127/220 (245) кВ, АЛЮМИНИЕВЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная 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*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм <sup>2</sup>	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм	кг/м
400 R	23.3	22	0.0778	0.14	310	85	145	91	14	165	87	8	480	97	7	1290	93	21	
500 R	26.4	22	0.0605	0.15	300	90	135	96	15	160	92	8	510	102	8	1280	97	21	
630 R	30.3	21	0.0469	0.17	300	90	135	96	15	160	92	8	510	102	8	1290	97	22	
800 R	34.7	21	0.0367	0.20	300	90	135	97	16	160	93	9	510	102	9	1290	98	22	
1000 R	38.2	21	0.0291	0.21	290	94	130	100	17	155	96	10	560	107	10	1290	101	23	
1200 R	41.4	21	0.0247	0.22	300	98	120	105	19	155	100	11	650	112	11	1280	105	24	
1600 S	48.9	21	0.0186	0.25	300	107	110	114	22	150	109	13	770	121	13	1270	113	26	
2000 S	54.0	21	0.0149	0.25	290	115	14	95	123	145	118	15	940	130	16	1280	121	28	
2500 S	63.5	21	0.0119	0.30	280	123	16	80	131	140	126	17	1080	139	18	1260	128	30	

\* 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: на одном уровне		Номинальное сечение
	Заземление	В воздухе, в тоннеле	Заземление	В воздухе, в тоннеле	
мм <sup>2</sup>	Ток, индуцированный в металлическом экране	В земле ρ=1,0 T=20°C	Ток, индуцированный в металлическом экране	В земле ρ=1,0 T=20°C	мм
400 R	Ток, индуцированный в металлическом экране	525	Ток, индуцированный в металлическом экране	555	400 R
500 R		600		630	500 R
630 R	Ток, индуцированный в металлическом экране	680	Ток, индуцированный в металлическом экране	725	630 R
800 R		765		820	800 R
1000 R	Ток, индуцированный в металлическом экране	850	Ток, индуцированный в металлическом экране	920	1000 R
1200 R		910		995	1200 R
1600 S	Ток, индуцированный в металлическом экране	1095	Ток, индуцированный в металлическом экране	1200	1600 S
2000 S		1210		1345	2000 S
2500 S	Ток, индуцированный в металлическом экране	1345	Ток, индуцированный в металлическом экране	1520	2500 S
		1145		1300	2500 S

## НАПРЯЖЕНИЕ 127/220 (245) кВ, МЕДНЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение мм <sup>2</sup>	Диаметр проводника мм	Номинальная толщина изоляции мм	Электрическое сопротивление при 20°C Ом/км	Электрическая емкость мкФ/км	Алюминиевый экран		Проволочный экран Cu/Pb		Проволочный экран Cu/Al		Алюминиевый гофрированный экран		Свинцовый экран						
					Сечение экрана* мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м	Сечение экрана* Cu мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м	Сечение экрана* мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м	Сечение экрана* мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м	Сечение экрана* мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м
400 R	23.2	22	0.0470	0.14	310	85	9	145	91	16	165	87	10	480	97	10	1290	93	23
500 R	26.7	22	0.0366	0.15	300	90	10	135	96	18	160	92	11	510	102	11	1280	97	24
630 R	30.3	21	0.0283	0.17	300	90	11	135	96	19	160	92	12	510	102	12	1290	97	26
800 R	34.7	21	0.0221	0.20	300	90	13	135	97	21	160	93	14	510	102	14	1290	98	27
1000 R	38.8	21	0.0176	0.21	290	94	15	130	100	24	155	96	16	560	107	16	1290	101	29
1000 S	40.0	21	0.0176	0.22	300	97	16	120	104	25	155	100	17	640	111	17	1280	104	30
1200 S	42.5	21	0.0151	0.22	290	102	18	115	109	27	150	104	19	740	116	19	1280	109	32
1600 S	48.9	21	0.0113	0.25	300	107	23	110	114	33	150	109	24	770	121	24	1270	113	37
1600 S Em	48.9	21	0.0113	0.25	300	107	23	110	114	33	150	109	24	770	121	24	1270	113	37
2000 S	57.2	21	0.0090	0.28	290	115	26	95	123	38	145	118	27	940	130	28	1280	121	40
2000 S Em	57.2	21	0.0090	0.28	290	115	26	95	123	38	145	118	27	940	130	28	1280	121	40
2500 S Em	63.5	21	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 Em: сегментированная эмалированная жила

### Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение мм <sup>2</sup>	Заземление		Вид прокладки: в форме трилистника		Заземление		Вид прокладки: на одном уровне		Номинальное сечение
	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	В воздухе, в тоннеле	В земле	В воздухе, в тоннеле	В земле	В воздухе, в тоннеле	В земле	
400 R	665	575	855	685	705	610	955	770	400 R
500 R	750	650	985	785	800	690	1110	890	500 R
630 R	845	725	1130	900	910	785	1290	1035	630 R
800 R	935	800	1285	1020	1020	875	1495	1195	800 R
1000 R	1020	875	1425	1130	1125	965	1680	1345	1000 R
1000 S	1090	935	1535	1220	1195	1025	1785	1425	1000 S
1200 S	1170	1000	1660	1320	1285	1105	1935	1550	1200 S
1600 S	1225	1045	1785	1415	1365	1170	2115	1690	1600 S
1600 S Em	1315	1125	1930	1530	1480	1270	2305	1840	1600 S Em
2000 S	1315	1125	1975	1565	1490	1275	2370	1895	2000 S
2000 S Em	1450	1235	2195	1740	1665	1425	2675	2135	2000 S Em
2500 S Em	1585	1350	2445	1940	1860	1585	3035	2425	2500 S Em

## НАПРЯЖЕНИЕ 190/330 (362) кВ, АЛЮМИНИЕВЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20°С	Электрическая емкость	Алюминиевый экран		Проволочный экран Cu/Pb		Проволочный экран Cu/Al		Алюминиевый гофрированный экран		Свинцовый экран				
					Сечение экрана *	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана *	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана *	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана *	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана *	Внешний диаметр кабеля *	Сечение экрана *	Внешний диаметр кабеля *	Вес кабеля *
мм <sup>2</sup>	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	кг/м	
500 R	26.4	26	0.0605	0.13	300	97	125	104	17	155	99	640	111	9	1270	104	22
630 R	30.3	25	0.0469	0.15	300	97	125	104	17	155	100	640	111	10	1270	104	23
800 R	34.7	24	0.0367	0.17	300	97	125	104	18	155	100	640	111	10	1280	104	23
1000 R	38.2	24	0.0291	0.18	290	101	115	108	19	150	104	740	116	11	1270	108	24
1200 R	41.4	24	0.0247	0.19	300	106	110	113	21	150	108	770	120	12	1270	112	25
1600 S	48.9	24	0.0186	0.22	290	115	95	122	25	145	117	940	130	15	1270	120	27
2000 S	54.0	24	0.0149	0.23	280	122	80	130	28	140	125	1040	138	17	1250	127	29
2500 S	63.5	24	0.0119	0.26	300	130	60	138	31	135	133	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: на одном уровне		Номинальное сечение
	Заземление	В воздухе, в тоннеле	Заземление	В воздухе, в тоннеле	
мм <sup>2</sup>	ток, индуцированный в металлическом экране	В земле	В воздухе, в тоннеле	ток, индуцированный в металлическом экране	мм
500 R	Без вихревых токов	595	770	Без вихревых токов	500 R
630 R	Без вихревых токов	675	900	Без вихревых токов	630 R
800 R	Без вихревых токов	755	1035	Без вихревых токов	800 R
1000 R	Без вихревых токов	840	1165	Без вихревых токов	1000 R
1200 R	Без вихревых токов	900	1265	Без вихревых токов	1200 R
1600 S	Без вихревых токов	1080	1565	Без вихревых токов	1600 S
2000 S	Без вихревых токов	1200	1770	Без вихревых токов	2000 S
2500 S	Без вихревых токов	1315	2015	Без вихревых токов	2500 S

## НАПРЯЖЕНИЕ 190/330 (362) кВ, МЕДНЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20°C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран			Проволочный экран Cu/Pb			Проволочный экран Cu/Al			Свинцовый экран					
					Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм <sup>2</sup>	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м
500 R	26.7	26	0.0366	0.13	300	97	11	125	104	20	155	99	12	640	111	12	1270	104	25
630 R	30.3	25	0.0283	0.15	300	97	12	125	104	21	155	100	13	640	111	14	1270	104	26
800 R	34.7	24	0.0221	0.17	300	97	14	125	104	23	155	100	15	640	111	15	1280	104	28
1000 R	38.8	24	0.0177	0.19	290	101	16	115	108	26	150	104	17	740	116	18	1270	108	30
1000 S	40.0	24	0.0176	0.19	300	106	17	110	113	27	150	108	18	770	120	19	1260	112	31
1200 S	42.5	24	0.0151	0.20	300	106	18	110	113	28	150	108	19	770	121	20	1270	112	32
1600 S	48.9	24	0.0113	0.22	290	115	24	95	122	36	145	117	25	940	130	26	1270	120	38
1600 S Em	48.9	24	0.0113	0.22	290	115	24	95	122	36	145	117	25	940	130	26	1270	120	38
2000 S	57.2	24	0.0090	0.25	280	122	27	80	130	40	140	125	28	1080	138	30	1250	128	41
2000 S Em	57.2	24	0.0090	0.25	280	122	27	80	130	40	140	125	28	1080	138	30	1250	128	41
2500 S Em	57.2	24	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 Em: сегментированная эмалированная жила

### Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника		Вид прокладки: на одном уровне		Номинальное сечение	
	Заземление	Воздухе, в тоннеле	Заземление	Воздухе, в тоннеле		
мм <sup>2</sup>	Ток, индуцированный в металлическом экране	В земле r=1,0 T=20°C	В воздухе, в тоннеле r=1,2 T=30°C	Ток, индуцированный в металлическом экране	В земле r=1,0 T=20°C	В воздухе, в тоннеле r=1,2 T=30°C
500 R	Без вихревых токов	745	640	775	500 R	500 R
630 R	Без вихревых токов	835	715	890	630 R	630 R
800 R	Без вихревых токов	925	790	1005	800 R	800 R
1000 R	Без вихревых токов	1010	860	1120	1000 R	1000 R
1000 S	Без вихревых токов	1075	920	1200	1000 S	1000 S
1200 S	Без вихревых токов	1145	980	1300	1200 S	1200 S
1600 S	Без вихревых токов	1210	1030	1400	1600 S	1600 S
1600 S Em	Без вихревых токов	1300	1105	1510	1600 S Em	1600 S Em
2000 S	Без вихревых токов	1305	1105	1550	2000 S	2000 S
2000 S Em	Без вихревых токов	1435	1220	1720	2000 S Em	2000 S Em
2500 S Em	Без вихревых токов	1550	1315	2410	2500 S Em	2500 S Em
				1905		



## НАПРЯЖЕНИЕ 230/400 (420) кВ, АЛЮМИНИЕВЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная 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*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм <sup>2</sup>	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм <sup>2</sup>	мм	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м
500 R	26.4	32	0.0605	0.12	400	110	10	195	117	22	240	112	12	860	124	12	1840	119	31		
630 R	30.3	30	0.0469	0.13	400	110	11	195	117	22	240	113	12	860	124	12	1850	119	31		
800 R	34.7	28	0.0367	0.15	400	110	11	195	118	22	240	113	13	860	125	12	1850	119	31		
1000 R	38.2	27	0.0291	0.16	410	110	11	195	118	23	240	113	13	860	125	13	1850	119	32		
1200 R	41.4	27	0.0247	0.18	410	111	12	195	118	23	240	113	13	870	125	13	1860	120	32		
1600 S	48.9	27	0.0186	0.20	420	122	15	170	131	28	230	125	16	1030	137	16	1840	130	35		
2000 S	54.0	27	0.0149	0.22	430	125	16	165	134	30	230	128	17	1100	141	18	1840	133	36		
2500 S	63.5	27	0.0119	0.24	430	138	19	140	146	35	220	140	20	1290	154	21	1860	144	39		
3000 S	70.0	27	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: на одном уровне		Номинальное сечение
	Заземление	Воздухе, в тоннеле	Заземление	Воздухе, в тоннеле	
мм <sup>2</sup>	ток, индуцированный в металлическом экране	В земле ρ=1,0 T=20°C	В земле ρ=1,2 T=30°C	ток, индуцированный в металлическом экране	В воздухе, в тоннеле T=30°C
500 R	Без вихревых токов	585	505	Без вихревых токов	500 R
630 R	Без вихревых токов	665	570	Без вихревых токов	630 R
800 R	Без вихревых токов	750	640	Без вихревых токов	800 R
1000 R	Без вихревых токов	825	705	Без вихревых токов	1000 R
1200 R	Без вихревых токов	880	750	Без вихревых токов	1200 R
1600 S	Без вихревых токов	1050	895	Без вихревых токов	1600 S
2000 S	Без вихревых токов	1150	975	Без вихревых токов	2000 S
2500 S	Без вихревых токов	1265	1070	Без вихревых токов	2500 S
3000 S	Без вихревых токов	1360	1150	Без вихревых токов	3000 S



## НАПРЯЖЕНИЕ 230/400 (420) кВ, МЕДНЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

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

### Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника		Вид прокладки: на одном уровне		Номинальное сечение
	Заземление	В земле	Заземление	В воздухе, в тоннеле	
мм <sup>2</sup>	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	мм
	Без вихревых токов	Без вихревых токов	Без вихревых токов	Без вихревых токов	
500 R	735	630	785	680	500 R
630 R	825	705	890	765	630 R
800 R	910	780	995	855	800 R
1000 R	985	840	1095	935	1000 R
1000 S	1050	895	1160	990	1000 S
1200 S	1115	950	1245	1060	1200 S
1600 S	1170	995	1320	1125	1600 S
1600 S Em	1255	1065	1430	1220	1600 S Em
2000 S	1245	1055	1430	1215	2000 S
2000 S Em	1360	1150	1590	1355	2000 S Em
2500 S Em	1470	1245	1765	1495	2500 S Em
3000 S Em	1510	1275	1825	1545	3000 S Em

## НАПРЯЖЕНИЕ 290/500 (550) кВ, АЛЮМИНИЕВЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная 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 экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*	Сечение экрана*	Внешний диаметр кабеля*	Вес кабеля*
мм <sup>2</sup>	мм	мм	Ом/км	мкФ/км	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м	мм <sup>2</sup>	мм	кг/м
1000 R	38.2	37	0.0291	0.13	420	133	15	150	141	31	225	136	17	1210	149	18	1840	140	36
1200 R	41.4	36	0.0247	0.14	420	133	16	150	141	31	225	136	17	1210	149	18	1840	140	36
1600 S	48.9	32	0.0186	0.17	420	134	17	150	142	32	225	137	18	1260	150	19	1850	141	37
2000 S	54.0	32	0.0149	0.19	430	137	18	140	145	34	225	140	20	1280	153	21	1850	144	38
2500 S	63.5	32	0.0119	0.21	420	148	21	110	157	39	215	151	23	1480	165	24	1830	155	41
3000 S	70.0	32	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: на одном уровне		Номинальное сечение
	Заземление	В воздухе, в тоннеле	Заземление	В воздухе, в тоннеле	
мм <sup>2</sup>	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	ток, индуцированный в металлическом экране	мм
1000 R	820	700	890	765	1000 R
1200 R	880	750	960	820	1200 R
1600 S	1035	880	1150	980	1600 S
2000 S	1135	960	1280	1085	2000 S
2500 S	1250	1055	1435	1215	2500 S
3000 S	1335	1120	1560	1320	3000 S

## НАПРЯЖЕНИЕ 290/500 (550) кВ, МЕДНЫЙ ПРОВОДНИК

### Характеристики кабелей

Номинальное сечение	Диаметр проводника	Номинальная толщина изоляции	Электрическое сопротивление при 20°C	Электрическая емкость	Алюминиевый экран		Проволочный экран Cu/Рb		Проволочный экран Cu/Al		Алюминиевый гофрированный экран		Свинцовый экран			
					Сечение экрана* мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м	Сечение экрана* Cu мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м	Сечение экрана* Cu мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м	Сечение экрана* мм <sup>2</sup>	Внешний диаметр кабеля* мм	Вес кабеля* кг/м
1000 R	38.8	37	0.0176	0.13	420	133	22	150	141	37	225	136	23	1840	140	42
1000 S	40.0	36	0.0176	0.14	420	133	22	150	141	37	225	136	24	1840	140	42
1200 S	42.5	35	0.0151	0.15	420	133	23	150	141	38	225	136	25	1840	140	43
1600 S	48.9	32	0.0113	0.17	420	134	28	150	142	43	225	137	29	1850	141	48
1600 S Em	48.9	32	0.0113	0.17	420	134	28	150	142	43	225	137	29	1850	141	48
2000 S	57.2	32	0.0090	0.19	410	144	31	125	153	49	220	147	33	1860	151	52
2000 S Em	57.2	32	0.0090	0.19	410	144	31	125	153	49	220	147	33	1860	151	52
2500 S Em	63.5	32	0.0072	0.21	420	148	37	110	157	55	215	151	39	1830	155	58
3000 S Em	70.0	32	0.0060	0.22	450	155	41	95	164	60	210	158	43	1820	161	61

\* Значения указаны в качестве примера R: круглая жила

S: сегментированная жила

S Em: сегментированная эмалированная жила

### Допустимая сила тока (в амперах)

Номинальное сечение	Вид прокладки: в форме трилистника		Вид прокладки: на одном уровне		Номинальное сечение
	Заземление	В земле	Заземление	В воздухе, в тоннеле	
1000 R	985	840	1085	1540	1000 R
1000 S	1040	885	1145	1640	1000 S
1200 S	1105	940	1230	1790	1200 S
1600 S	1155	980	1305	1965	1600 S
1600 S Em	1240	1050	1410	2140	1600 S Em
2000 S	1240	1050	1415	2195	2000 S
2000 S Em	1360	1150	1585	2470	2000 S Em
2500 S Em	1460	1230	1745	2815	2500 S Em
3000 S Em	1535	1285	1875	3105	3000 S Em











Международный эксперт в области кабелей и кабельных систем

**ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО В СТРАНАХ СНГ**

ООО «НЕКСАНС СНГ»

РФ, Москва, Б. Овчинниковский пер., 16, офис 607

Тел.: +7 095 774 82 40. Факс: +7 095 775 82 41

[www.Nexans.ru](http://www.Nexans.ru)

[marketing@nexans.ru](mailto:marketing@nexans.ru)

**ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО В КАЗАХСТАНЕ**

«НЕКСАНС КАЗАХСТАН»

Республика Казахстан,

050060, г. Алматы, ул. 22-я линия, дом 45

Тел.: +7 3272 63 90 91, 63 90 92

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