

Введение в кабельную технику.

Более 110 лет одновременно возникли и затем продолжали развиваться вот уже более 110 лет 2 направления в области передачи больших количеств электроэнергии (ЭЭ) на большие расстояния:

- линии **открытого типа** (воздушные);
- линии **закрытого типа** (кабельные);

В наиболее общем плане *линия электропередачи* (ЛЭП) определяется как «электрическая линия, выходящая за пределы электростанции или подстанции и предназначенная для передачи электрической энергии на большие расстояния».

По **конструктивному исполнению** различают воздушные и кабельные линии.

Воздушная линия – это «линия электропередачи, провода которой поддерживаются над землей с помощью опор, изоляторов и арматуры».

В свою очередь **кабельная линия** определяется как линия электропередачи, выполненная одним или несколькими кабелями, уложенными непосредственно в землю или проложенными в кабельных сооружениях (коллекторах, туннелях, каналах, блоках и т.д.).

На сегодняшний день в *электрических системах* применяются почти все известные виды кабельной продукции, однако базовыми, которые и будут рассмотрены ниже, являются силовые кабели и частично провода для *воздушных линий электропередачи* (ЛЭП).

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии и являются одним из важнейших видов кабельных изделий. Классификацию силовых кабелей принято проводить по значению напряжения *электрических сетей*, в которых они используются.

Силовые кабели низкого напряжения (до 1 кВ)

Преимущественно эти кабели применяются в 3-х фазных системах с заземленной нейтралью при напряжении 220/380 В и изготавливаются в основном в 4-х жильном исполнении (3 фазных проводника и один нулевой для соединения с заземленной нейтралью – рис. 5), хотя выпускаются и 3-х жильные кабели.

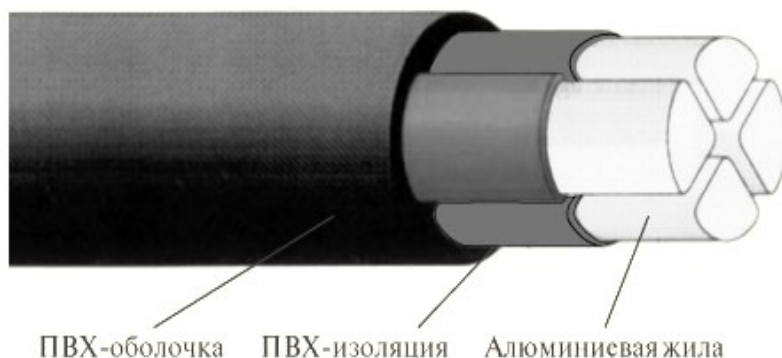


Рис. 5. Типовая конструкция силового кабеля на напряжение до 1кВ

По условиям эксплуатации кабели разделяются на 2 группы:

- а) для подземной прокладки;
- б) для прокладки в кабельных сооружениях (каналах, туннелях, эстакадах) производственных помещениях, в том числе ТЭЦ, АЭС и других объектах (прокладка в воздухе).

Перспективными являются конструкции кабелей низкого напряжения с изоляцией из сшитого **полиэтилена** (ПЭ) с повышенной нагрузочной способностью по сравнению с ПВХ-изоляцией (примерно на 17%), в том числе коррозионно защищенные кабели для подземной прокладки в агрессивных грунтах. Коррозионная защита кабелей обеспечивается применением полиэтиленовой изоляции и оболочки, имеющих пониженные коэффициенты диффузии водных растворов, в 8- 10 раз меньшие по сравнению с ПВХ-изоляцией.

Силовые кабели среднего напряжения (до 35 кВ)

Эти кабели применяются в распределительных сетях с изолированной нейтралью на напряжения 6, 10, 20 и 35 кВ. Основным напряжением распределительных сетей энергосистем России стран СНГ является напряжение 10 кВ и 35 кВ.

На сегодняшний день существует 2 типа силовых кабелей на среднее напряжение:

- силовые кабели с пропитанной бумажной изоляцией – кабели старого поколения;
- силовые кабели с экструдированной полимерной изоляцией (изоляция из сшитого полиэтилена) – кабели нового поколения.

Основные преимущества кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена перед кабелями с бумажной пропитанной изоляцией приведены ниже:

- Не требуется техническое обслуживание кабельной линии в процессе эксплуатации КЛ (в силу сложности конструкции для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией периодически проводились ремонты свинцовой оболочки, которая в процессе эксплуатации могла выходить из строя);
- Изоляция из сшитого полиэтилена в гораздо меньшей степени подвержена воздействию воды по сравнению с бумажной пропитанной изоляцией, что сказывается на повышенной надежности работы кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- Возможность передать большую мощность по сравнению с кабелями с бумажно-масляной изоляцией (длительно допустимая рабочая температура жилы кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена – 90⁰С, в то время, как для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией эта температура составляет – 70⁰С);
- В связи с отсутствием масла в конструкции отсутствует загрязнение окружающей среды (в связи с повреждениями внешней свинцовой оболочки кабелей с бумажной изоляцией возникает опасность проникновения пропитывающего состава из изоляции в окружающую среду, в то время как кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена в своей конструкции не имеют жидких компонентов)
- монтаж кабельной арматуры на кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена существенно проще, по сравнению с кабелями с бумажной пропитанной изоляцией.
- для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена не существует ограничений по разнице вертикальных уровней при прокладке, в то же время для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией такие ограничения присутствуют и связаны они с возможностью

стекания пропиточного состава в места с более низким уровнем прокладки из мест с более высоким уровнем и пересыханием изоляции в таких местах.

На рис. 6 показана типовая конструкция кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее напряжение.

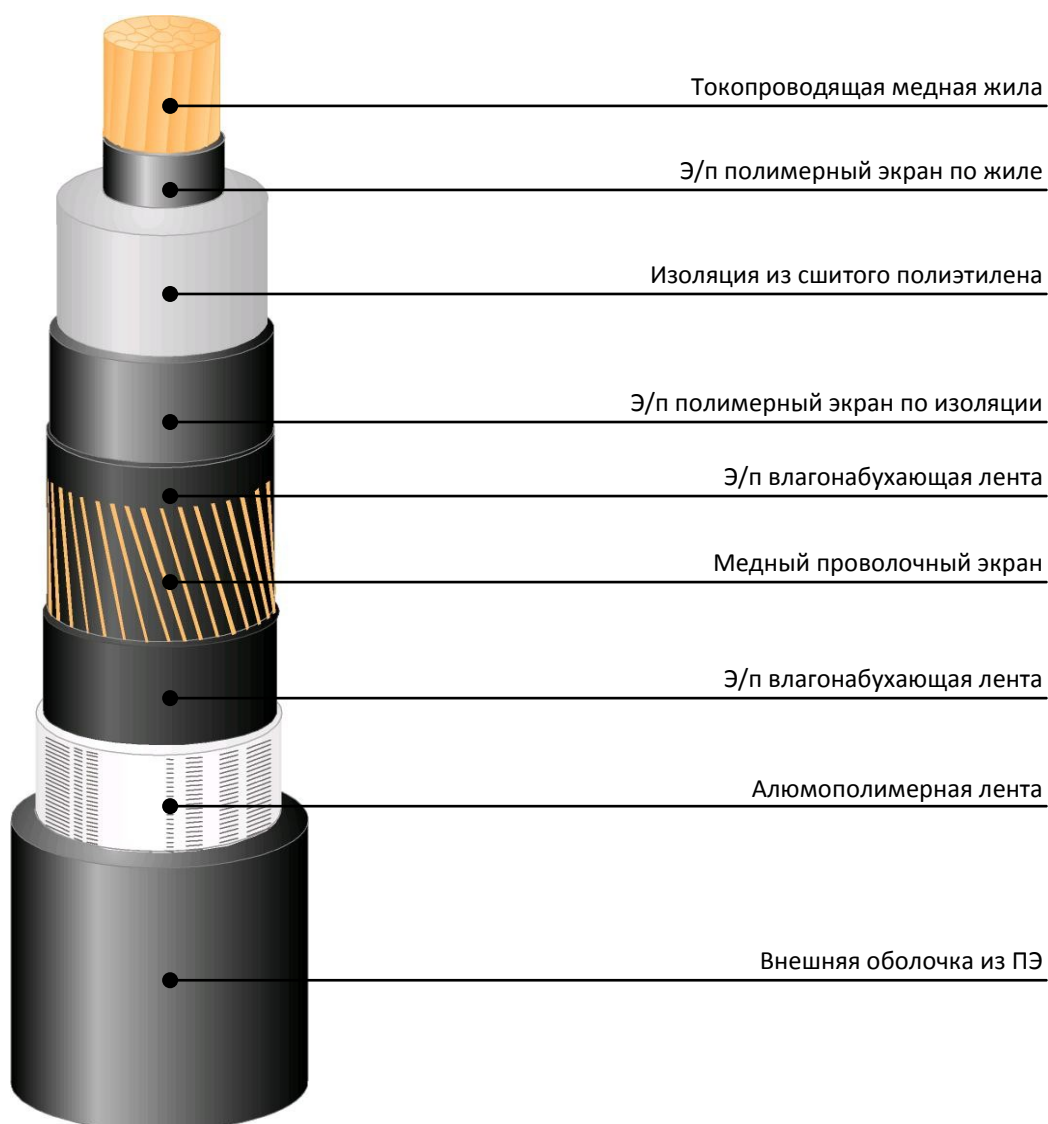


Рис. 6 Типовая конструкция кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена на среднее напряжение.

Основным токоведущим элементом в кабеле является токопроводящая жила, которая может быть выполнена из медных или алюминиевых проволок.

Электропроводящий экран по жиле, изоляция и электропроводящий экран по изоляции представляют собой изоляционную систему кабеля и на современных предприятиях эти 3 элемента накладываются в процессе 1 технологической операции. Электропроводящий экран по

жиле совместно с электропроводящим экраном по изоляции обеспечивают равномерное распределение электрического поля внутри изоляции из сшитого полиэтилена.

Для обеспечения механической защиты изоляционной системы кабеля при дальнейшем наложении медного проволочного экрана, а также для придания продольной герметизации кабелю, поверх изоляционной системы накладывается слой электропроводящих влагонепроницаемых лент.

Медный проволочный экран служит для выполнения заземления кабеля, при монтаже концевых муфт этот экран выводится и закрепляется на заземляющем проводнике. Кроме того, медный проволочный экран обеспечивает путь для протекания токов короткого замыкания (КЗ). Экран из медных проволок бандажируется медной лентой, которая обеспечивает надежный электрический контакт между всеми проволоками экрана.

Для придания дополнительной защиты от продольного проникновения влаги в кабель поверх медного проволочного экрана накладывается слой электропроводящих влагонепроницаемых лент.

Внешняя полимерная оболочка обеспечивает механическую защиту конструкции кабеля при прокладке. Для придания кабелю защиты от поперечного проникновения влаги при возможных повреждениях внешней оболочки применяется алюмополимерная лента, которая накладывается продольно кабеля, при этом возникающий продольный шов проклеивается. Эта алюмополимерная лента приваривается к внешней оболочке кабеля при производстве.

Силовые кабели высокого напряжения (до 500 кВ)

К классу кабелей высокого напряжения относятся кабели на напряжение 110, (150), 220 кВ, 330, (380) и 500 кВ применительно к номинальным напряжениям систем электропередачи, принятых в России и странах СНГ. Напряжения 150 и 380 кВ используются в отдельных случаях.

Кабели высокого напряжения предназначены для передачи крупных мощностей электроэнергии (60 – 620 МВА) на указанных выше напряжениях. Области применения таких кабелей следующие:

- глубокие вводы к центрам потребления электроэнергии в условиях крупных городов (применяются кабели на напряжение 110 – 220 кВ для питания районных городских подстанций);
- выводы мощности с крупных гидро- и тепловых электростанций преимущественно при напряжениях 220 и 500 кВ;
- питание энергоемких производственных комплексов (автозаводы, металлургические, нефтеперерабатывающие и химические комбинаты).

На рис. 7 показана типовая конструкция кабеля на высокое напряжение.



Рис. 7. Типовая конструкция кабеля на высокое напряжение.

В отличие от кабелей на среднее напряжение, кабели на высокое напряжение могут иметь токопроводящую жилу, которая выполняется из *отдельных сегментов*, скрученных между собой. Такая конструкция жилы уменьшает потери электроэнергии, связанные с эффектом вытеснения тока на поверхность жилы. Такой эффект увеличивается с ростом сечения жилы, поэтому разбивку токопроводящей жилы на отдельные сегменты, как правило, выполняют при сечениях более 1000 мм².

Еще одной отличительной особенностью кабелей на высокое напряжение является наличие оптического волокна, встроенного между проволоками медного проволочного экрана кабеля. Такое волокно выполняет функцию распределенного датчика температуры кабеля. В связи с высокой важностью кабельных линий на высокое напряжение очень важным аспектом становится обеспечение надежной работоспособности кабельной линии. Встроенное оптическое волокно позволяет оценить локальные перегревы кабельной линии и предотвратить отказ кабельной линии.

К электрической изоляции кабелей высокого напряжения предъявляются высокие требования в части электрической прочности, высокой надежности в течение продолжительного срока службы (35 и более лет). Напряженности электрического поля в изоляции таких кабелей составляют от 7 до 15 кВ/мм, т.е. являются наиболее высокими по сравнению с напряженностями поля в любых электротехнических аппаратах и устройствах. Напряженность электрического поля является одним из главных параметров, обеспечивающих приемлемые конструктивные размеры таких кабелей. Высокие рабочие напряженности электрического поля ставят серьезные научно-технические проблемы с точки зрения обеспечения высокого ресурса работы кабелей. Эти проблемы успешно решаются для двух видов электрической изоляции кабелей: бумажно-пропитанной, работающей под избыточным давлением масла (маслонаполненные кабели – МНСК и МВДТ) и из сшитого полиэтилена с применением соответствующих технологий, обеспечивающих чистоту и требуемое качество изоляции.

Силовые кабели на высокое постоянное напряжение

Несмотря на все достоинства **кабелей переменного напряжения**, имеется по крайней мере одна область, где их использование практически невозможно, а именно – передача электроэнергии на большие расстояния. Зарядный ток I_z (ток утечки через изоляцию кабеля) уменьшает передаваемую мощность. По достижении некоторой, так называемой критической величины $I_{кр}$ ток I_z окажется равным допустимому току нагрузки на кабель, что сделает передачу энергии невозможной. Значения $I_{кр}$ ориентировочно составляют несколько десятков километров.

Для **кабелей постоянного тока** $I_z = 0$, что и делает их привлекательными и часто единственно возможным техническим решением для передачи энергии на большие расстояния, в первую очередь – при пересечении больших водных пространств.

Помимо фактического отсутствия ограничений по длине передачи кабели постоянного тока имеют целый ряд преимуществ по сравнению с кабелями переменного тока. Это более высокая надежность, обусловленная отсутствием некоторых механизмов старения, присущих изоляции, работающей при переменном напряжении, возможность реверса потока мощности и передача очень больших мощностей. Указанные преимущества весьма существенны для России, которая отличается большими пространствами, значительной неравномерностью размещения источников и потребителей электроэнергии, а также большим экспортом энергии.

Типы наружных покровов силовых кабелей

На сегодняшний день существуют определенные требования к внешним защитным покровам силовых кабелей. Так, например, существуют требования по содержанию дыма при горении кабелей, требования по содержанию токсичных и химически активных элементов при горении кабелей. В зависимости от тех или иных требований или при их совокупности на сегодняшний день разработаны различные варианты исполнения внешней оболочки кабелей. Ниже приведена классификация силовых кабелей в зависимости от применяемого наружного покрова.

Кабели марки **(А)ПвП** – силовые кабели с (алюминиевой) медной жилой, изоляцией из сшитого полиэтилена, медным проволочным экраном, с оболочкой из полиэтилена высокой плотности (HDPE);

Кабели марки **(А)ПвПу** - силовые кабели с (алюминиевой) медной жилой, изоляцией из сшитого полиэтилена, медным проволочным экраном, с усиленной оболочкой из полиэтилена высокой плотности (HDPE);

Кабели марки **(А)ПвВ** – силовые кабели с (алюминиевой) медной жилой, изоляцией из сшитого полиэтилена, медным проволочным экраном, с оболочкой из ПВХ- пластика;

Кабели марки **(А)ПвВнг** – силовые кабели с (алюминиевой) медной жилой, изоляцией из сшитого полиэтилена, медным проволочным экраном, с оболочкой из ПВХ- пластика пониженной горючести;

Кабели марки **(А)ПвВнг-LS** – силовые кабели с (алюминиевой) медной жилой, изоляцией из сшитого полиэтилена, медным проволочным экраном, с оболочкой из ПВХ- пластика пониженной горючести с пониженным дымо- и газовыделением;

Кабели марки **(А)ПвПнг-НГ** – силовые кабели с (алюминиевой) медной жилой, изоляцией из сшитого полиэтилена, медным проволочным экраном, с оболочкой пониженной горючести из полимерной композиции, не содержащей галогены.

Классификация силовых кабелей в зависимости от типа наружной оболочки непосредственно связана с условиями прокладки, в которых предполагается прокладывать тот или иной кабель. Так, например, существуют трассы сложной конфигурации, где необходимо использовать кабель, имеющий внешнюю оболочку с повышенными механическими свойствами для того, чтобы избежать механических повреждений кабеля при его протяжке и укладке. Кроме того, зачастую бывают требования по пожаробезопасности, связанные с возможностью нахождения большого количества людей в местах, где проложены кабели и т.д. Поэтому в зависимости от типа внешней защитной оболочки кабеля можно определить следующие основные условия, в которых прокладывается кабель:

Кабели марки **(А)ПвП** – для прокладки в земле, на воздухе, в сооружениях и помещениях при условии обеспечения требований пожарной безопасности;

Кабели марки **(А)ПвПу** – то же по трассам сложной конфигурации;

Кабели марки **(А)ПвВ** – одиночная прокладка в сооружениях и помещениях;

Кабели марки **(А)ПвВнг** – групповая прокладка в сооружениях и помещениях;

Кабели марки **(А)ПвВнг-LS** – то же, где дополнительно установлены требования к плотности дыма при пожаре;

Кабели марки **(А)ПвПнг-НГ** – то же, где расположена аппаратура чувствительная к коррозионным и токсичным продуктам горения.

Арматура силовых кабелей

В настоящее время в энергосистемах применяются различные виды кабельной арматуры. Из них наиболее известны *концевые* и *соединительные муфты*, разновидностями которых для концевых муфт являются *муфты элегазовых кабельных вводов*, а для соединительных муфт – *переходные* и *стопорные муфты*. Многообразие конструктивных форм арматуры и особенностей

ее монтажа определяются типами кабелей, для которых она используется и условиями эксплуатации.

Арматура силовых кабелей на среднее напряжение

На сегодняшний день для современных кабельных систем на среднее напряжение, состоящих из силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, существует 2 принципиально отличающихся подхода в области конструирования кабельной арматуры:

- термоусаживаемая кабельная арматура;

- кабельная арматура холодной усадки.

В данный момент на кабельном рынке термоусаживаемая кабельная арматура представлена огромным количеством производителей. Так сложилось исторически. Большинство из представленной арматуры имеет традиционную конструкцию и как результат такая арматура имеет свои преимущества и недостатки, которые представлены ниже:

Преимущества термоусаживаемой кабельной арматуры на среднее напряжение:

- традиционная конструкция у большинства производителей;
- большое количество производителей кабельной арматуры на сегодняшнем рынке;

Недостатки термоусаживаемой кабельной арматуры на среднее напряжение:

- необходимость проведения огневых работ при монтаже;
- необходима высокая квалификация монтажников, выполняющих огневые работы;
- необходимость использования специальных инструментов (горелки и баллона с газом) для выполнения огневых работ.

Кабельная арматура холодной усадки принципиально отличается от термоусаживаемой арматуры. В качестве изоляционных тел и защитных внешних покровов в данном типе кабельной арматуры применяются специальные эластичные полимерные материалы, которые до монтажа находятся в растянутом состоянии. В процессе монтажа происходит усадка этих изоляционных частей на подготовленный кабель. Зачастую монтаж такой арматуры существенно проще и быстрее. Применение технологии холодной усадки позволяет такой арматуре совместно с кабелем «дышать» во время процессов нагрева и охлаждения кабельной линии при эксплуатации, что обеспечивает надежное прилегание изоляционных частей арматуры к кабелю и исключает попадание влаги внутрь муфт. Это позволяет обеспечить дополнительную надежность кабельных систем на среднее напряжение при их эксплуатации. Кроме того, существует возможность устанавливать арматуру холодной усадки на изгибах кабельной трассы и в стесненных условиях. Ниже приведены основные преимущества и недостатки кабельной арматуры на среднее напряжение:

Преимущества кабельной арматуры холодной усадки:

- отсутствие необходимости выполнять огневые работы при монтаже;

- отсутствие необходимости в специальных инструментах для проведения огневых работ;
- относительная простота монтажа;
- возможность устанавливать кабельную арматуру на изгибах кабельной трассы и в стесненных условиях;
- кабельная арматура «дышит» совместно с кабелем при различных нагревах и охлаждениях кабельной линии при эксплуатации, тем самым обеспечивается плотное прилегание изоляционных частей арматуры к кабелю.

Недостатки кабельной арматуры холодной усадки:

- нетрадиционная конструкция;
- относительно небольшой круг производителей арматуры.

На следующих рисунках представлены конструкции кабельной арматуры холодной усадки на среднее напряжение.

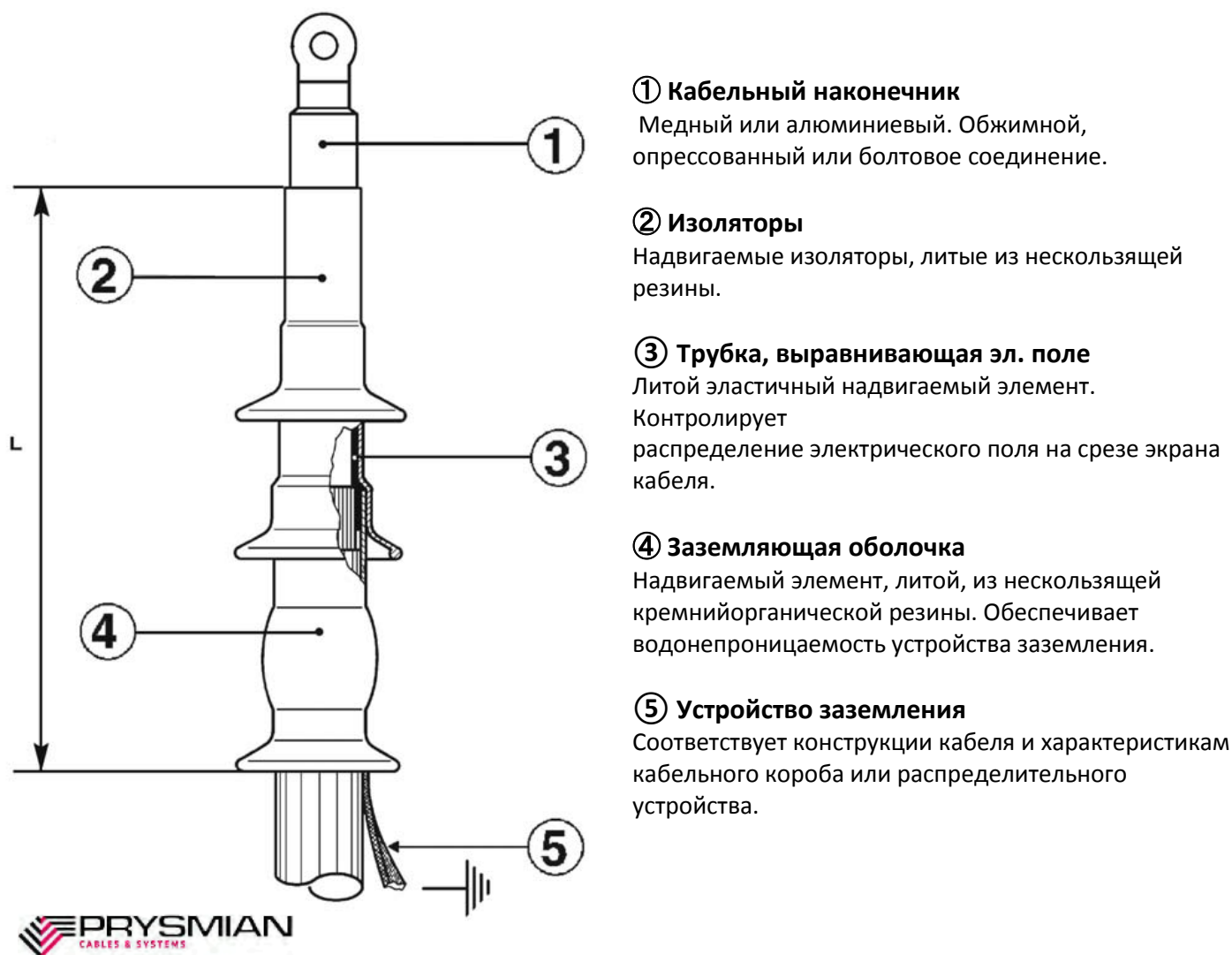
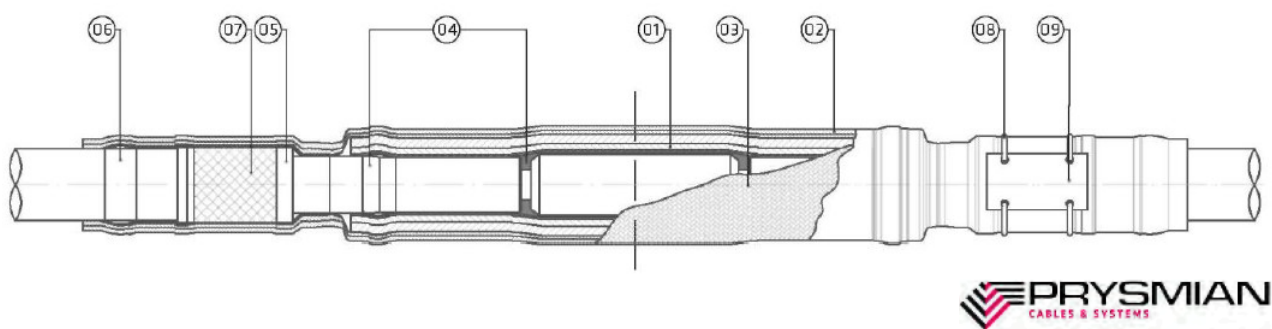


Рис. 8. Конструкция концевой муфты холодной усадки на среднее напряжение.



Поз.	Описание
01	3-х слойный изолятор муфты
02	2-х слойная оболочка муфты
03	Медная сетка
04	Лента с высокой диэлектрической проницаемостью
05	Лента ПВХ
06	Изолирующая мастичная лента
07	Вдавленная медная лента
08	Кабельная стяжка из ПВХ
09	Идентификационная бирка

Рис. 9. Конструкция соединительной муфты холодной усадки на среднее напряжение.

① Кабельный наконечник

Медный или алюминиевый. Используется для жил сечением от 25 до 300 мм².

② Фиксирующая шпилька

Используется для стыковки соединяемых частей: бушинг, изоляционная пробка, кабельный наконечник.

③ Внутренний электропроводящий экран

④ Внешний электропроводящий слой

Дизайн этого элемента обеспечивает сглаживание электрического поля, подобно экрану в кабеле.

⑤ Изолятор

Отлит из изоляционного материала EPDM и является элементом, восстанавливающий основную изоляцию.

⑥ Индикатор

Индикатор позволяет определить наличие напряжения в системе без расстыковки системы.

⑦ Изоляционная пробка

⑧ Защитная крышка

⑨ Узел заземления

⑩ Узел ослабления электрического поля

Адаптирует изолятор для различных кабелей и обеспечивая влагозащиту.

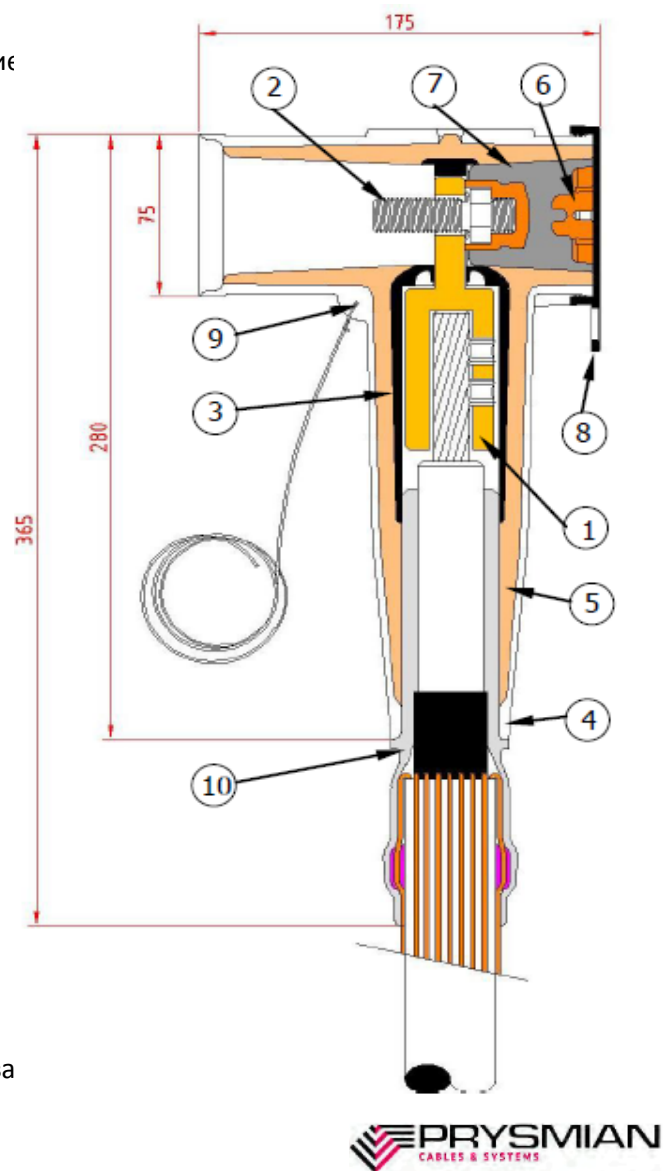


Рис. 10. Конструкция концевого кабельного адаптера.

Арматура силовых кабелей на высокое напряжение

Кабельная арматура на высокое напряжение отличается большими размерами по сравнению с арматурой на среднее напряжение, а также имеет целый ряд особенностей. Так, концевые муфты на высокое напряжение в своей конструкции элемент, выравнивающий электрическое поле, и изоляционное масло в качестве изоляционной среды. На сегодняшний день известны следующие типы кабельной арматуры на высокое напряжение:

- *концевые муфты наружной установки;*
- *соединительные муфты;*
- *соединительные транспозиционные муфты;*
- *элегазовые кабельные вводы в трансформаторы и КРУЭ.*

В связи с большой стоимостью кабелей на высокое напряжение часто бывают ситуации, когда потребители по экономическим или другим соображениям не всегда имеют возможность быстрой и полной замены всей длины существующих кабельных линий на основе маслонаполненного кабеля на современные кабели с изоляцией из сшитого ПЭ. Поэтому энергосистемы зачастую вынуждены менять маслонаполненный кабель по участкам (*по строительным длинам*). В этой связи возникает задача соединения кабелей с разнородной электрической изоляцией, которая решается путем использования *соединительных переходных муфт*.

На следующих рисунках представлены основные конструкции кабельной арматуры на высокое напряжение.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

максимальное напряжение – 145 кВ;

диапазон сечения жилы кабеля – $240 \div 2000 \text{ мм}^2$;

максимальный диаметр по изоляции кабеля – 101 мм.

ДЛИНА ПУТИ ТОКА УТЕЧКИ

минимальный гарантированная длина пути тока утечки – 3775 мм;

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

испытательное напряжение 50 Гц - 240 кВ в течение 24 ч;

- 310 кВ в течение 1 мин;

импульсное испытательное напряжение – 650 кВ;

испытательное напряжение стресс-конуса – 200 кВ – 30 мин.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- максимальное отклонение от вертикали - 30° ;

приблизительный масса – 100 кг;



Рис. 11. Концевая муфта 110кВ наружной установки.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

- максимальное напряжение – 145 кВ;
- диапазон сечения жилы кабеля – $240 \div 1600 \text{ мм}^2$;
- максимальный диаметр по изоляции кабеля – 80 мм.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- испытательное напряжение 50 Гц - 190 кВ в течение 24 ч;
- 230 кВ в течение 1 мин;
- импульсное испытательное напряжение – 550 кВ;
- испытательное напряжение изолятора – 160 кВ – 30 мин;
- испытательное напряжение оболочки – 10 кВ АС в течение 1 мин
- 20 кВ DC в течение 1 мин.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ

- ограничивается характеристиками кабеля.

Рис. 12. Соединительная транспозиционная муфта 110кВ (сверху) и соединительная муфта 110 кВ (снизу).



ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

максимальное напряжение – 145 кВ;
диапазон сечения жилы кабеля – $240 \div 2500 \text{ мм}^2$;
максимальный диаметр по изоляции кабеля – 98 мм;
Размеры и комплектность поставки соответствует МЭК 60859.
Применение в для 1-фазной и 3-х фазной ячейках КРУЭ.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

испытательное напряжение 50 Гц - 240 кВ в течение 24 ч;
- 310 кВ в течение 1 мин;
импульсное испытательное напряжение – 650 кВ;
испытательное напряжение стресс-конуса – 200 кВ – 30 мин.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

приблизительный масса – 70 кг.

Рис. 13. Элегазовый кабельный ввод 110 кВ в КРУЭ.

