

Силовые кабели на напряжение до 35 кВ - Этапы монтажа

Силовые кабели на среднее напряжение до 35 кВ

Типы силовых кабелей на среднее напряжение

Несмотря на большое количество разных конструкций силовых кабелей, все они в целом идентичны и содержат:

- токопроводящую жилу
- экран по жиле
- изоляцию
- экран по изоляции (из полупроводящего материала и из металла)
- оболочку

Каждый из этих компонентов жизненно важен для обеспечения оптимальных характеристик силового кабеля и должен быть всесторонне учтен для обеспечения выполнения надежного соединения или концевой заделки кабеля.



Рис. 1

Подготовка к монтажу кабеля на среднее напряжение до 35 кВ

Подготовке к монтажу должен предшествовать качественный обрез конца кабеля. Типовой

практикой является выполнение обреза конца кабеля после его прокладки, чтобы удалить участки конца кабеля, поврежденные при прокладке. Предпосылкой обеспечения качественной разделки кабеля является применение высококачественного, острого инструмента. В ходе разделки проводов кабеля разрезы его конструктивных элементов следует делать не по всей их толщине. Например, при удалении изоляции жилы монтажник должен следить за тем, чтобы не прорезать изоляцию по всей толщине, поскольку это может привести к повреждению проволок жилы. При разделке различных конструктивных элементов кабеля следует применять специализированный инструмент. При разделке следует полностью удалять полупроводящий слой (слои) материала и остатки этого слоя. Удаление остатков полупроводящего материала обычно производится абразивной лентой и/или растворителем.

Абразивные материалы

Исследования показали, что оптимальным является применение абразивных материалов с зерном № 120. Такая зернистость абразива обеспечивает

достаточную чистоту обработки поверхности высоковольтной изоляции и вполне обеспечивает удаление частиц полупроводящего материала без необходимости замены самого абразивного материала.

Зерна абразивного материала должны быть неэлектропроводящими.

Не допускается применять в качестве абразивного материала частицы корунда или иного материала, содержащего проводящие частицы, поскольку частицы абразива в ходе его применения могут быть внедрены в изоляцию кабеля.

Растворители

Для обработки поверхности кабеля рекомендуется применять пожаробезопасные растворители.

Не следует применять растворители, оставляющие после себя следы.

Не следует применять большее количество растворителя, нежели то, которое обеспечивает удаление полупроводящего материала и получение непроводящей поверхности. Применяйте известные вам растворители. Не допускайте применения токсичных растворителей, могущих нанести вред здоровью.

Соединение кабелей

В составе комплектов материалов для подготовки кабеля к монтажу поставляются салфетки для очистки и обезжиривания поверхности кабеля, пропитанные необходимым количеством трудновоспламеняемого, нетоксичного растворителя.

В состав этих комплектов также входят ленты абразивного материала на основе непроводящего абразива с размером зерен № 120.

Сращивание

Определение

Сросток представляет собой соединение двух или более жил с помощью соответствующего соединительного элемента, восстановление изоляции, восстановление экрана и восстановление оболочки с применением совместимых материалов, устанавливаемых на правильно подготовленную поверхность. В тех случаях, когда это возможно, сращивания следует избегать. В то же время сращивание часто необходимо по экономическим соображениям. Имеется много причин для сращивания кабелей, в том числе:

- поставленная длина кабеля недостаточна для данных целей; на барабане может быть размещена ограниченная строительная длина кабеля; только определенная длина кабеля может быть проложена при данной конфигурации кабельной канализации, с учетом имеющегося количества изгибов, и т. д.
- повреждения кабеля
- необходимо выполнить ответвление от существующего кабеля (Т-образное или Y-образное)

Во всех этих случаях следует сделать выбор: сращивать кабель или же менять всю его длину. Невысокая стоимость современных материалов для монтажа кабелей во многих случаях

позволяет отдать предпочтение сращиванию как оптимальному варианту такого выбора.

Независимо от причин сращивания кабеля, имеющийся опыт говорит о том, что сростки кабеля должны иметь характеристики не хуже, чем сам кабель. Сросток не должен снижать характеристики кабеля и не должен представлять собой слабое звено в кабельной системе.

Этапы монтажа

Следует заблаговременно тщательно проработать пять типовых этапов выполнения сращивания кабеля:

1. Подготовка поверхности.
2. Соединение жил с использованием соединительного элемента.
3. Восстановление изоляции.
4. Восстановление экрана.
5. Восстановление оболочки.

Следует учитывать, что качество сращивания и отсутствие дефектов в сростке во многом определяются человеческим фактором – уровнем квалификации монтажника, который выполняет сращивание. Качественная разделка и монтаж конструктивных элементов кабеля требуют наличия высоких профессиональных навыков кабельщиков. Хотя в последние несколько лет и было многое сделано для разработки изделий и технологий, упрощающих сращивание, однако для обеспечения высокого качества сращивания кабеля необходимы постоянный технический контроль, поддержание квалификации монтажников и забота о них.

1. Подготовка поверхности

В комплект поставки качественных изделий обычно входят инструкции по монтажу. Эти инструкции должны быть детальными, приведенные в них технологические операции должны быть поэтапно прове-

рены на комплектность. Однако качественные инструкции сами по себе не гарантируют высокого качества выполняемых работ, а лишь являются необходимым условием. Компания ЗМ предлагает программы обучения монтажников правильному монтажу и настоятельно рекомендует, чтобы до выполнения работ по сращиванию и концевой заделке кабелей монтажники проходили обучение по таким программам.

2. Сращивание жил

После выполнения разделки кабелей начинается процесс монтажа. Если монтаж предусматривает применение предварительно изготовленной изоляционной детали или муфты холодной усадки, на кабель перед сращиванием предварительно должны быть надвинуты соответствующие монтажные детали. Первым этапом монтажа является соединение жилы каким-либо способом: опрессовка либо механический соединитель.

Алюминиевая жила

Соединение выполняют соединителем с корпусом из сплава алюминия. Соединитель должен поступать с нанесенной на него антиоксидной пастой, необходимой для разрушения изоляционной оксидной пленки алюминия на поверхностях как соединителя, так и жилы.

Медная жила

Соединение выполняют медным соединителем или соединителем, изготовленным из сплава алюминия.

Соединитель должен быть испытан на соответствие его применимости для монтажа высоковольтных кабелей и должен быть рекомендован для этих целей.

Таким образом, выбор соединителей для высоковольтного кабеля остается за пользователем.

3. Восстановление изоляции

Наиболее распространенным до последнего времени методом восстановления изоляции являлось использование изоляционных лент. Изоляционная лента является наиболее универсальным монтажным материалом, она не связана с типом кабеля и с его размерами. В то же время монтаж высоковольтных кабелей с применением обмотки изоляционной лентой может требовать много времени и приводить к дефектам, поскольку качественное восстановление изоляции с применением изоляционной ленты предусматривает аккуратность ее наложения с 50%-м перекрытием при постоянном натяжении с целью предотвращения образования воздушных включений. Существуют изоляционные ленты без подложек, позволяющие сократить затраты времени на монтаж на 30-50% и уменьшить количество дефектов.

Другой метод восстановления изоляции – использование холодноусаживаемых или термоусаживаемых фасонных изделий.

Данные изделия изготавливаются методом экструзии.

Термоусаживаемые изделия изготавливаются в основном из радиационно сшитых термопластичных полиолефинов. Эта технология позволяет существенно сократить время монтажа по сравнению с ленточной технологией и обеспечивает меньшее количество дефектов.

В последнее время наиболее прогрессивной технологией для восстановления изоляции является технология холодной усадки. Муфты холодной усадки представляют собой предварительно растянутые и помещенные на спиралевидный пластиковый корд изделия из этиленпропиленовой резины или силикона. При удалении корда изделие усаживается на кабель, обеспечивая электрическую изоляцию и надежную герметизацию

места монтажа. Изделия холодной усадки испытываются при производстве и не требуют при монтаже применения специализированного инструмента.

4. Восстановление экрана

При монтаже сростка кабеля должны быть восстановлены обе системы экранов кабеля (экран поверх жилы и экран поверх изоляции). Для этих целей используются те же два метода, что и для восстановления изоляции: метод применения лент и метод применения фасонных монтажных деталей.

В случае применения первого из этих методов экран поверх проводника кабеля восстанавливается с помощью ленты из полупроводящего материала. Лента полупроводящего материала наматывается вокруг смонтированной соединительной гильзы жилы, обеспечивая выравнивание выступов и впадин соединителя.

Восстановление системы экрана на поверх изоляции кабеля производится комбинированным способом. Восстановление полупроводящего слоя поверх изоляции производится той же полупроводящей лентой, которая используется для восстановления экрана поверх жилы кабеля.

Восстановление металлического экрана, как правило, осуществляется оплеткой, выполненной из луженых медных проволок. В зависимости от сечения этой оплетки она может быть предназначена или только для экранирования, или также для протекания тока экрана. В последнем случае такая оплетка должна иметь допустимую токовую нагрузку, эквивалентную допустимой токовой нагрузке экранов кабелей. Желательная конструктивная характеристика холодноусаживаемого изоляционного изделия – возможность монтажа его без применения специализированного инструмента. Для соответствия этому требу-

ется обеспечение малой длины поверхностей электрических стыков. Получение таких стыков возможно оптимизацией формы электродов из проводящей резины.



Рис. 2

Результаты моделирования в лабораторных условиях характера распределения силовых линий электрического поля в сростке свидетельствуют о том, что оптимум конструкции сростка может быть достигнут при комбинации в нем электродов с логарифмическим и радиальным профилями.



Рис. 3

5. Восстановление оболочки

Восстановление оболочки при методе монтажа лентами заключается в комбинированном применении резиновой изоляционной ленты и накладываемой поверх нее изоляционной ленты ПВХ (поливинилхлорид). Также могут быть использованы термоусаживаемые и холодноусаживаемые кожухи.

Подытоживая сказанное, в части удобства работы практически любое сращивание является опасным, в то же время в таких ситуациях, когда необходимо смонтировать только несколько муфт или же если о кабеле известны только отдельные детали, наиболее эффективным для сращивания является применение лент или комплекта лент.

В тех случаях, если необходимо смонтировать фиксированное количество муфт и известен размер кабеля, его диаметр по изоляции и тип экрана, для удобства работы, простоты, снижения затрат времени монтаж рекомендуется выполнять с использованием холодноусаживаемых изделий.

Оконцевание кабелей

Регулирование распределения напряженности электрического поля

В кабеле с непрерывным экраном по всей длине жилы электрическое поле однородно вдоль оси кабеля напряженность электрического поля изменяется только в радиальном направлении.

Это иллюстрируется рис. 4 и 5, на которых показано распределение напряженности электрического поля в радиальном направлении.

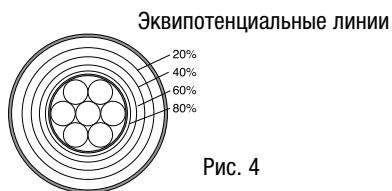


Рис. 4

Расстояния между силовыми линиями электрического поля меньше и плотность эквипотенциальных линий около жилы больше, чем около экрана поверх изоляции, что свидетельствует о более высокой напряженности электрического поля в изоляции возле жилы. Это увеличение напряженности (концентрации) электрического поля является прямым следствием соотношения геометрических размеров жилы и экрана поверх изоляции; в реальных конструкциях кабелей обеспечение уровня напряженности электрического поля в рамках допустимых значений регулируется толщиной изоляции.



Рис. 5

При концевой заделке кабеля с экраном удаление экрана следует производить до опре-

деленного расстояния относительно открытой жилы, как показано на рисунке ниже.



Рис. 6

Это необходимо для обеспечения длины, достаточной для предотвращения электрического пробоя.

В определенной степени необходимая длина определяется рабочим напряжением и характеристиками материала изоляции. Удаление части экрана приводит к нарушению однородности аксиального распределения напряженности электрического поля в кабеле, вследствие чего далее по длине аксиальное распределение поля становится неравномерным, с выраженными вариациями напряженности электрического поля по трем осям.



Рис. 7

На рис. 7 показано распределение напряженности электрического поля в зависимости от удаления от экрана. Силовые линии электрического поля напряженности вдоль жилы явно изменяются у конца экрана, увеличенная плотность эквипотенциальных линий свидетельствует о наличии повышенной напряженности электрического поля в этой области.

Эквипотенциальные линии



Рис. 8

Эта концентрация напряженности электрического поля

существенно больше, чем имеющаяся место возле жилы по длине кабеля, в связи с чем должны быть предприняты соответствующие меры по уменьшению напряженности электрического поля вблизи окончания экрана кабеля с целью предотвращения пробоев изоляции кабеля. Все концевые заделки должны по меньшей мере обеспечивать выравнивание напряженности электрического поля. Такое выравнивание может быть реализовано с помощью двух широко применяемых методов:

1. Выравнивание напряженности электрического поля за счет изменения геометрии

Этот метод предусматривает расширение экрана в месте его окончания (рис. 9) для уменьшения в этой области напряженности электрического поля за счет увеличения диаметра места окончания экрана (рис. 10 и 11).



Рис. 9



Рис. 10



Рис. 11

2. Выравнивание напряженности электрического поля за счет изменения емкости

Этот метод предусматривает применение материала с высокой диэлектрической проницаемостью (ϵ), в основном используется материал со значением $\epsilon=30$, имеющий высокую электрическую прочность.

Диэлектрическая
проницаемость= ϵ : (характеризует свойство материала сохранять заряд)

Материал	ϵ
Воздух	1
Изоляция кабеля	3
Лента 130 С	3
Материал с высокой диэлектрической проницаемостью	30

При размещении у конца экрана на кабеля материала, значение диэлектрической проницаемости которого на порядок выше, чем у материала изоляции кабеля, вносимая этим материалом емкость влияет на характер распределения напряженности электрического поля, окружающего концевую заделку экрана.

Силовые линии электрического поля становятся более равномерными, выравнивая напряженность электрического поля управляемым образом вдоль рассматриваемой области, где удален экран (рис. 12 и 13).



Рис. 12

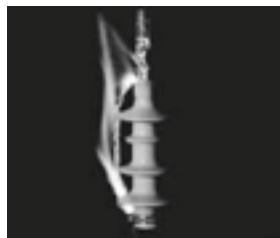


Рис. 13

В результате изменения характера электрического поля, окружающего концевую заделку кабеля, концентрация напряженности электрического поля снижается от нескольких десятков киловольт на миллиметр до уровня менее 200 В на миллиметр при номинальном значении напряжения кабеля.

Изоляция для предотвращения утечки по поверхности

Эта изоляция должна обеспечивать выполнение двух функций: защита от электрического пробоя вдоль поверхности и защита от трекинга.



Концевые заделки могут подвергаться воздействию разрядов, таких, как индуцированный грозовой разряд или же разряд вследствие коммутационного процесса в энергосистеме. Правильно разработанная концевая заделка кабеля должна быть стойка к воздействию таких разрядов.

Концевые заделки подвергаются также трекингу. Трекинг может быть определен как процесс, при котором происходит локальное разрушение материала изолятора, приводящее к потере изоляционных свойств в результате образования на поверхности проводящих частиц. На концевую заделку кабеля воздействует разность потенциалов между открытой жилой (наконечником), находящейся под высоким напряжением, и экраном, в результате чего между этими точками разного потенциала возникает ток утечки. Величина этого тока утечки обратно пропорциональна поверхностному сопротивлению изолятора. В результате воздействия на изолятор содержащихся в воздухе частиц (пыль, соль, загрязнения воздуха и т. д.) и влаги (влажность, конденсат, туман и т. д.) его поверхностное сопротивление снижается. В результате

этого на поверхности возникают разряды, именуемые трекингом.

В условиях промышленной атмосферы, где трудно избежать таких воздействий, для предотвращения повреждений следует применять трекингоустойчивые изоляторы.

Высококачественная концевая заделка изготавливается с применением соответственно сконструированных изоляционных юбок, размеры и форма которых обеспечивают прерывание образования влажной/загрязненной поверхностной дорожки, что снижает вероятность возникновения проблем, связанных с трекингом. Наличие юбок в конструкции изолятора обеспечивает уменьшение общей физической длины концевой заделки кабеля при необходимой длине поверхности за счет геометрической формы изолятора. Продуманная конструкция концевой заделки должна обеспечивать эффективность монтажа изолятора в нормальных полевых условиях. Это означает, что изделие должно обеспечивать его ручной монтаж с минимальным количеством технологических операций, при минимальном количестве составных частей и деталей. Желательно также отсутствие необходимости применения специализированного монтажного инструмента или источников нагрева. Фарфор и кремнийорганика (силикон) являются лучшими материалами в части обеспечения трекингоустойчивости, поскольку оба они являются неорганическими материалами и не образуют остатков углеродных (электропроводящих) частиц при воздействии разрядов.

Герметизация относительно внешней среды

Концевая заделка, особенно для наружной установки, должна обеспечивать герметизацию относительно внешней среды. Должны быть герметизированы как зона «жилы/наконечник», так и зона обреза оболочки.

Герметизация, обеспечивающая защиту кабеля от доступа в него влаги, способствует предотвращению ухудшения характеристик кабеля.

К методам, применяемым для обеспечения такой герметизации, относятся: герметизация в заводских условиях, герметизация лентами (для высококачественной герметизации должны применяться кремнийорганические ленты,

например Scotch® 70), герметизация компаундами (рис. 16). Все концевые заделки кабеля



Рис. 16

обычно заземляются. В то же время в отдельных случаях может не требоваться заземление на обоих концах кабеля. Экран кабеля в кабельной системе должен быть заземлен. При применении кабелей с

пластмассовой изоляцией подключение заземления рекомендуется выполнять без применения пайки (с тем чтобы предотвратить перегрев изоляции кабеля при выполнении пайки).

Подытоживая сказанное, концевые заделки, особенно для применения в жестких условиях – при сильном загрязнении, на открытом воздухе или в наиболее ответственных кабельных линиях энергосистем, рекомендуется выполнять на основе фарфора или силикона.

Для эксплуатации в условиях повышенной влажности и вероятности загрязнения наиболее целесообразно в большинстве случаев использовать концевую заделку на основе кремнийорганической резины.