

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНТАЖА И РЕМОНТА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

А. А. Васильев, технический директор,

ООО «СИКАМ Украина»

Важнейшей задачей каждой энергетической компании, которая специализируется на поставке и передаче электрической энергии потребителям, является повышение надежности работы электрической сети. Очевидно, что отказ электротехнического оборудования приводит к нарушению электроснабжения потребителей, в результате чего электросетевая компания недополучит определенную сумму оплаты за транспорт электроэнергии. Минимизировать потери можно лишь одним путем – в кратчайшие сроки возобновить электроснабжение потребителей. Для решения этой задачи выбирают наиболее совершенное электрооборудование, современные и надежные материалы, эффективные методы и технологии оперативного восстановления сети.

Сказанное в полной мере относится и к кабельным распределительным сетям среднего напряжения. Наиболее перспективным методом повышения надежности таких сетей является применение кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СП) при строительстве новых или ремонте существующих кабельных линий. В этом отношении преимущества кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена по сравнению с кабелями с пропитанной бумажной изоляцией (ПБИ) очевидны [3,4]:

- большая пропускная способность за счет увеличения рабочей температуры жил до 90°C;
- в восемь раз более низкие диэлектрические потери;
- более высокий ток термической стойкости при коротком замыкании;
- кабель с изоляцией из СП можно прокладывать при температурах до -20°C, тогда как прокладка кабеля с ПБИ без предварительного подогрева возможна только до 0°C;
- низкий вес, диаметр и радиус изгиба, что облегчает прокладку на трассах сложных траекторий;
- прокладка на трассах с неограниченной разностью уровней;

- экологическая безопасность;
- большая строительная длина (до 2000–4000 м) при использовании однофазного кабеля.

Как следствие, кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена более надежны в эксплуатации, требуют меньших расходов на монтаж, реконструкцию и содержание кабельных линий.

С точки зрения оперативности монтажа и обслуживания, кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена обладают также следующими важными особенностями:

- возможность применения высокопроизводительного оборудования и инструмента для подготовки кабеля при монтаже и ремонте кабельных линий;
- возможность использования широкого спектра соединительных и концевых муфт, в том числе и высокотехнологичных муфт холодной усадки.

Среди ведущих мировых производителей такого оборудования важное место занимает компания SICAME, которая уже более 30 лет разрабатывает и производит муфты и арматуру для кабельных линий среднего напряжения. Наличие собственного Центра разработок и тестирования, а также производственной базы полного цикла позволяет не только интенсивно разрабатывать и внедрять современные инновации, но и обеспечить высокое качество выпускаемой продукции. Постоянный контроль над качеством продукции SICAME отнесен сертификатом ISO 9001.

Одной из последних новых разработок компании является серия концевых муфт холодной усадки. Корпус муфты изготовлен из высококачественной силиконовой высокомолекулярной резины. Почему конструкторы отдали предпочтение именно силикону, материалу не самому дешевому?

Необходимо отметить, что у муфт наружной установки изолирующие и герметизирующие элементы должны обладать **высокими механическими и термическими свойствами**.

ствами. При изменении температуры кабеля мягкий силикон принимает на себя механические деформации, защищая тем самым кабельную изоляцию от возможных механических воздействий. Силикон обхватывает и заполняет все неровности на поверхности кабеля гораздо эффективнее, например, термоусаживаемых элементов или смол. Благодаря этому надёжно предупреждается образование пузырьков воздуха под корпусом муфты, особенно при резких колебаниях температуры, полностью отсутствует ионизация и разрядные токи. Кроме того, испытания в условиях ускоренного старения показали, что силикон обладает более высокой температурной стабильностью и долговечностью, чем органические эластомеры. Изделия из силикона сохраняют свою работоспособность от -60°C до $+200^{\circ}\text{C}$. Силиконы устойчивы к воздействию радиации, ультрафиолетового излучения, а при температуре выше $+100^{\circ}\text{C}$ они превосходят по изоляционным показателям все традиционные эластомеры [1].

Иной отличительной особенностью силикона является наличие у него целого ряда положительных **электроизоляционных характеристик**. Дело в том, что при наложении электрического напряжения в диэлектрике, представляющем сложную электрическую и пространственную молекулярную систему, протекают разнообразные электрические процессы, связанные с его поляризацией и изменением электрической проводимости. В случае очень большого напряжения может произойти разрушение диэлектрика, называемое пробоем. Для полимеров при этом характерно разрушение поверхностного слоя изолятора (рис. 1). Силикон, один из немногих упругих материалов, обладает большим удельным объёмным сопротивлением, высоким пробивным напряжением (электрической прочностью) и малой диэлектрической проницаемостью. Так, удельное электрическое сопротивление силикона составляет не менее $1,0 \times 10^{12} \text{ Ом}\cdot\text{м}$, электрическая прочность – более $10 \text{ кВ}/\text{мм}$, а относительная диэлектрическая проницаемость – 7 единиц (у воздуха, например, она равна 1). К тому же все вышеперечисленные параметры стабильны по отношению к температуре [2].

Важным показателем для концевых муфт наружной установки является способность противостоять явлениям трекинга и эрозии. Обычно со временем поверхность концевых муфт наружной установки загрязняется и во влажных условиях начинают возрастать

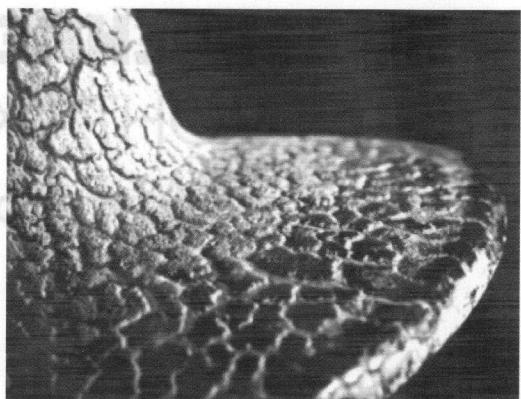


Рис. 1. Недостаточная диэлектрическая стойкость некоторых полимеров

токи утечки. При определённых погодных условиях эти токи утечки могут ухудшить наружную поверхность концевых муфт посредством создания трекинговых дорожек или посредством эрозии на поверхности полимера (рис. 2). Оба эти явления могут привести к пробою концевой муфты. Применение в концевых муфтах SICAM силиконовых корпусов позволяет противостоять такому явлению как трекинг, а также и другим разрушающим факторам, таким как эрозия, ультрафиолетовое излучение и другие воздействия окружающей среды. Этот материал надёжно сохраняет свои свойства и работоспособность муфты на весь срок эксплуатации даже в самых суровых климатических и погодных условиях [2].

Большое значение для эксплуатирующих организаций имеет **степень влагосодержания** в изоляции кабелей и муфт. Ведь от этого во многом зависит срок службы кабельной линии. В этом отношении силиконовые материалы имеют поверхности, чрезвычайно не склонные к смачиванию, имеют показатели, близкие к сверхгидрофобности и обладают так называемым

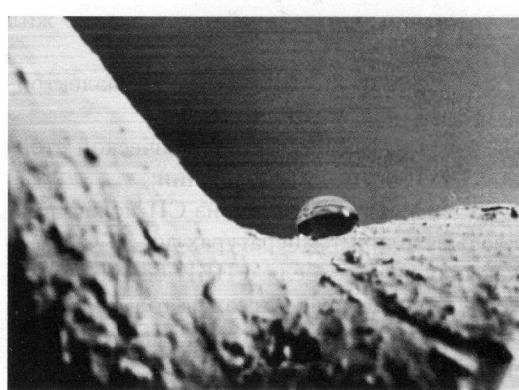


Рис. 2. Процессы развития трекинга и эрозии на поверхности полимера

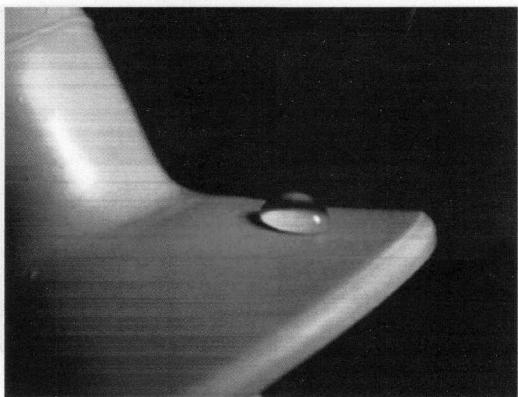


Рис. 3. Гидрофобные свойства силиконов

«эффектом лотоса». Это означает, что вода, попадающая на поверхность силиконовой муфты, сворачивается в шарикообразные капли (рис. 3). При стекании с муфтой вода захватывает с собой частицы пыли, тем самым очищая поверхность. Этот эффект также повышает трекинго-эррозионностойкость муфты [1,2].

Таким образом, разработанные в SICAM концевые муфты холодной усадки серии E3UERF с силиконовым корпусом являются одними из самых высококачественных изделий такого плана. Данные муфты предназначены для наружной установки на одножильную изолированную жилу сечением 12-400 мм². Технические характеристики концевых муфт холодной усадки серии E3UERF приведены в табл. 1.

Таблица

Основные технические параметры концевых муфт холодной усадки серии E3UER

Обозначение	Сечение кабеля, мм ²	\varnothing , мм		Рабочее напряжение, кВ	L, мм	Количество юбок	Длина пути тока утечки Lf, мм
		Изоляция	Внешняя оболочка				
E3UERF 17,5 25-95	25-95	12	33	6/10 (12)	335	2	430
E3UERF 17,5 70-240	70-240	18	45	8,7/15 (17,5)	370	4	540
E3UERF 17,5 240-500	240-500	27	55				
E3UERF 2425-95	25-95	15	33				
E3UERF 24 50-240	50-240	19	45				
E3UERF 24185-400	184-400	27	55				

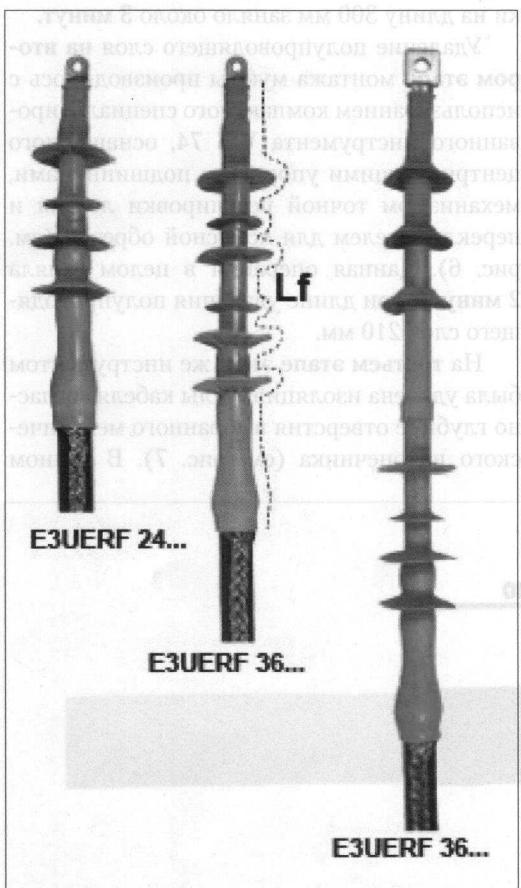


Рис. 4. Концевые муфты холодной усадки серии E3UERF

ных кабелях среднего напряжения с экраном из медных проволок без брони и применяются для кабелей с изоляцией из спитого полизтилена в условиях загрязнения внешней среды низкого или среднего уровня. В состав комплекта входят все необходимые составляющие для установки. Муфты успешно прошли испытания и сертифицированы по международным стандартам HD629.1.S2 и IEEEESTD 48. Основные технические параметры концевых муфт приведены в табл. 1 и на рис. 4.

Как отмечалось выше, особенностью кабеля с изоляцией из спитого полизтилена является удобство монтажа и небольшое время его подготовки для установки муфты, особенно, если для разделки кабеля применяется специализированный инструмент. Поэтому в целях сокращения общего времени монтажа в рассматриваемых муфтах была применена уникальная холодноусаживаемая система. Вероятность ошибок при установке значительно снижена благодаря отсутствию элементов термоусадки и малому количеству компонентов муфты.

Чтобы оценить технологичность данной серии муфт были рассмотрены этапы установки муфты E3UERF на рабочее напряжение 24 кВ на кабеле сечением 120 мм² с оценкой временных интервалов на каждом этапе. При этом для исключения влияния субъек-

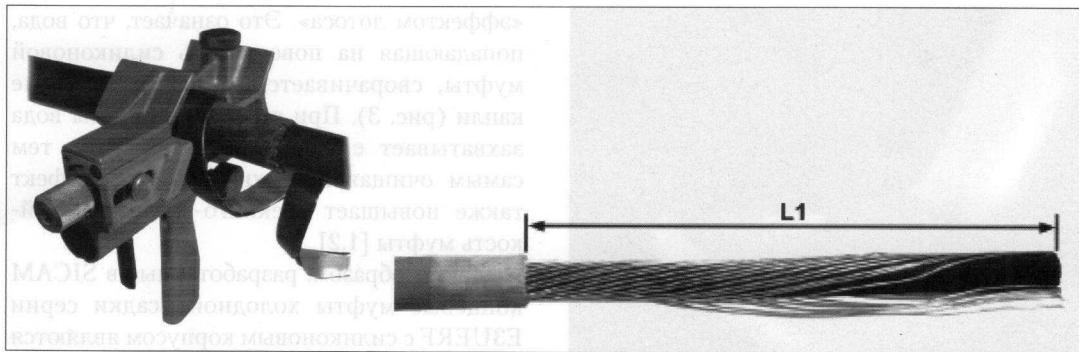


Рис. 5. Удаление внешней оболочки кабеля

тивного фактора, монтажник, который участвовал в оценке, устанавливала такую муфту впервые.

Важным вопросом здесь является применение специализированного инструмента, поскольку обработанные поверхности должны быть ровными, гладкими, без шероховатостей, задиров и надрезов [4]. Анализ повреждений концевых и соединительных муфт разных производителей, установленных на кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена, показывает, что большинство из них смонтированы с нарушением технологии монтажа и подготовки кабеля. Так, в некоторых случаях кабель перед монтажом муфты отрубали зубилом, нарушая геометрию кабеля и расположения проволок экрана и жилы, а удаление внешней оболочки, изоляции жилы и полупроводящего слоя производились обычным ножом. Ни о каком качестве обработки поверхностей в таком случае речь не идет.

На **первом этапе** производилась подготовка (разделка) кабеля согласно прилагаемой к муфте инструкции по монтажу. Для предотвращения изменения геометрии кабеля его обрезка производилась с помощью ручных механических ножниц типа MRK.

Также для кабелей сечением более 400 mm^2 можно использовать ручной гидравлический кабелерез типа HVA.

Удаление внешней оболочки кабеля на требуемую согласно инструкции длину было выполнено с использованием универсального инструмента для снятия внешних оболочек и изоляционных материалов WS 64 (см. рис. 5). Благодаря наличию подпружиненного зажимного механизма «спускового действия», винтовой микрометрической регулировке ножа, установка инструмента на кабеле, выставка резца и снятие внешней оболочки на длину 300 мм заняло около **3 минут**.

Удаление полупроводящего слоя **на втором этапе** монтажа муфты производилось с использованием компактного специализированного инструмента WS 74, оснащенного центрирующими упорными подшипниками, механизмом точной регулировки лезвия и переключателем для конусной обрезки (см. рис. 6). Данная операция в целом заняла **2 минуты** при длине удаления полупроводящего слоя 210 mm.

На **третьем этапе** этим же инструментом была удалена изоляция жилы кабеля согласно глубине отверстия выбранного механического наконечника (см. рис. 7). В данном

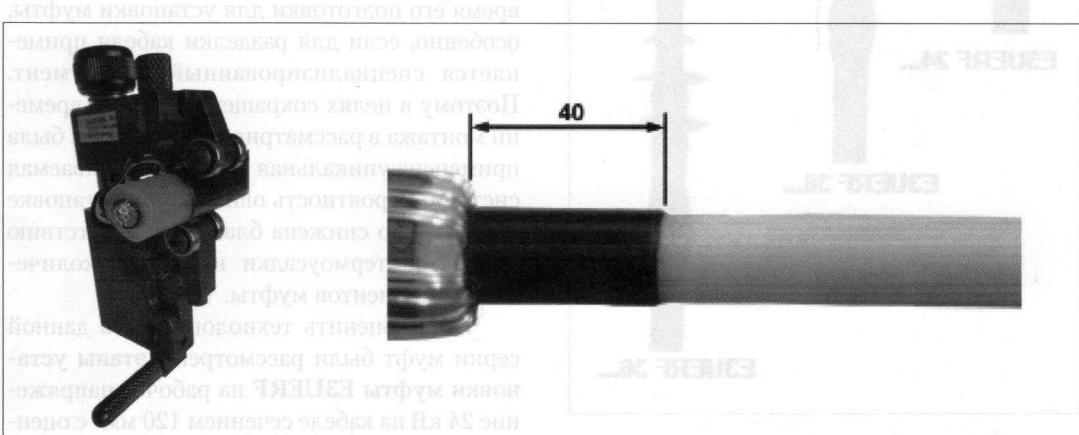


Рис. 6. Удаление полупроводящего слоя

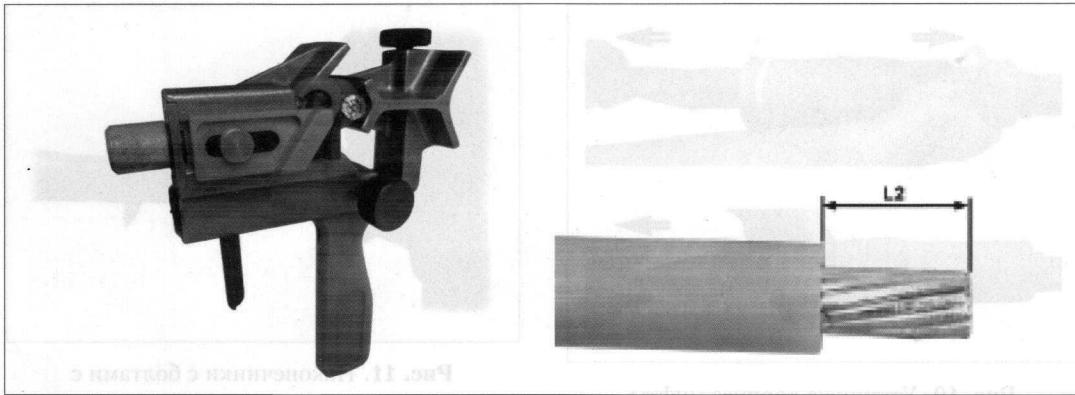


Рис. 7. Удаление изоляции жилы кабеля

случае на монтаж инструмента, регулировку и снятие изоляции на длину 50 мм потребовалось **2 минуты**. Таким образом, подготовка и разделка кабеля в изоляции из спицного

SICAME использует листовую специальную мастику, которая очень точно регулирует удельное объёмное электрическое сопротивление и диэлектрическую проницаемость на

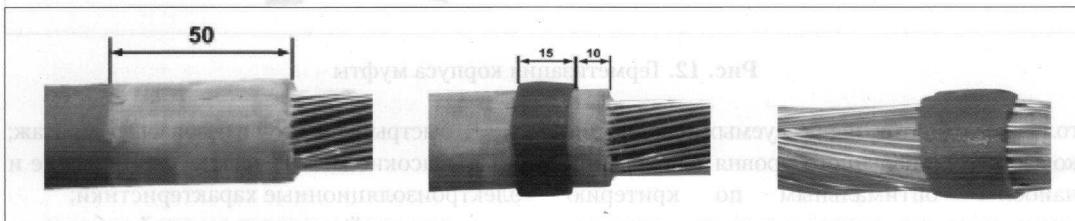


Рис. 8. Уплотнение и герметизация экрана кабеля TVH моделей MCR 038-1

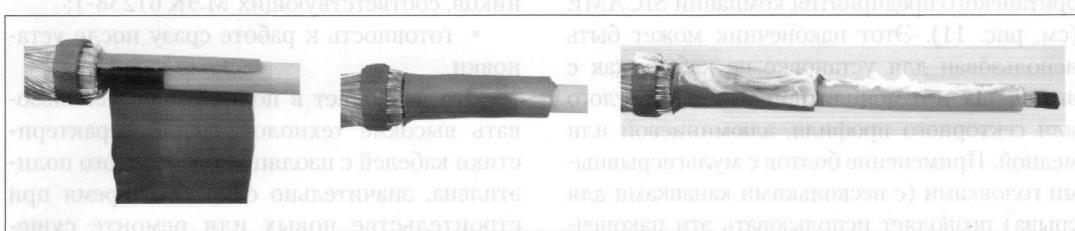


Рис. 9. Установка мастики контроля напряжённости электрического поля и нанесение пасты

полиэтилена с применением специализированного инструмента заняла всего **7 минут**.

Следующим, **четвёртым этапом**, последовала собственно установка элементов муфты, а именно – уплотнение и герметизация проволок экрана кабеля с использованием входящей в комплект уплотняющей мастики (см. рис. 8). При этом была выполнена шлифовка внешней оболочки кабеля, нанесение слоя мастики под проволоками экрана, их укладка и нанесение слоя мастики на проволоки экрана. Эта операция с тщательным уплотнением слоёв мастики заняла **2 минуты**.

Очень важным вопросом в кабельной арматуре является выравнивание напряжённости электрического поля. Для этого наибольшее распространение получили специальные материалы в виде лент и термоусаживаемых трубок. В данной муфте компания

срезе полупроводникового экрана и в то же время занимает минимум времени на установку. **Пятый этап** установки муфты и заключался в нанесении такой листовой мастики, а также нанесении пасты для установки корпуса муфты (см. рис. 9) и занял всего **1 минуту**.

На **шестом этапе** производилась установка силиконового корпуса муфты на кабель. Для этого комплект муфты с каркасом просто одевается на кабель, позиционируется в указанном месте, а затем муфта сдвигается с каркаса на кабель (см. рис. 10). Данная операция заняла при первом выполнении 2 минуты, но практика показывает, что после двух-трёх попыток выполнять её можно в два раза быстрее.

Следующая, **седьмая операция** заключалась в установке наконечника. Среди множества конструкций механических со срываемыми

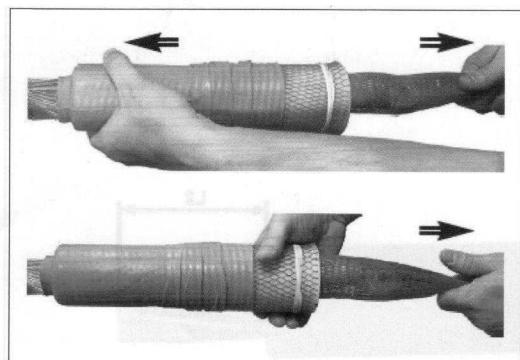


Рис. 10. Установка корпуса муфты



Рис. 11. Наконечники с болтами с мультисрывными головками



Рис. 12. Герметизация корпуса муфты

головками болтов и прессуемых наконечников для установленного уровня напряжения наиболее оптимальным по критерию «цена–качество–универсальность» представляется модель HVTM1/3-12 производства британского предприятия компании SICAME (см. рис. 11). Этот наконечник может быть использован для установки на кабель как с витой, так и с монолитной жилой, круглого или секторного профиля, алюминиевой или медной. Применение болтов с мультисрывными головками (с несколькими канавками для срыва) позволяет использовать эти наконечники для секторных жил сечением от 70 мм² до 240 мм², а для круглых жил – от 70 мм² до 400 мм², что даёт возможность сократить номенклатуру складских запасов. Установка наконечника заняла **1 минуту**.

Восьмым и девятым этапами была выполнена герметизация корпуса муфты со стороны наконечника и со стороны кабеля (см. рис. 12). Для этого со стороны наконечника намотана входящая в комплект самовулканизирующаяся лента, а со стороны кабеля – полупроводящая самовулканизирующаяся лента. На эту простую операцию ушло также **2 минуты**.

Таким образом, оценка временных интервалов технологического процесса монтажа концевой муфты холодной усадки типа E3UERF производства компании SICAME показала, что данная муфта устанавливается **за 15 минут** и обладает целым рядом замечательных особенностей:

- быстрый, простой и безопасный монтаж;
- высокие механические, термические и электроизоляционные характеристики;
- широкий диапазон сечений кабеля;
- использование любых типов наконечников, соответствующих МЭК 61238-1;
- готовность к работе сразу после установки.

Это позволяет в полной мере использовать высокие технологические характеристики кабелей с изоляцией из спирального полиэтилена, значительно сократить время при строительстве новых или ремонте существующих кабельных линий, повысить надёжность кабельных сетей в целом.

Литература

1. Корнеев А.Е., Буканов А.М., Шевердяев О.Н. Технология эластомерных материалов. – Москва, 2005.
2. Patai S., Rappoport Z. The Chemistry of Organic Silicon Compounds, Parts 1, Wiley. – 1989.
3. Кабели силовые с изоляцией из спирального полиэтилена на напряжение 10, 20, 35 кВ. Технические условия. ТУ 16.К71-335-2004. (ОАО ВНИИКП).
4. Ларин Ю.Т., Ильин А.А., Нестерко В.А. Кабели электрические. Заводы-изготовители. Общие сведения. Конструкции, оборудование, техническая документация, сертификаты. – Изд-во «Престиж», 2007.