

Полимерная труба как важнейший элемент кабельной системы 6–500 кВ

Ранее в журналах «КАБЕЛЬ-news» и «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» был опубликован ряд статей, где рассматривалась проблематика силовых кабельных линий 6–500 кВ, проложенных в полимерных трубах (например, [1]). За последний год проектные, монтажные, эксплуатирующие организации познакомились с работами по трубам и попытались сформировать своё собственное мнение на этот счёт. Также в стороне не остались и производители, которые стали предлагать различные технические решения для трубной прокладки кабельных линий. В новой статье содержатся ответы на возникающие вопросы и комментируются изменения в отрасли.

Михаил ДМИТРИЕВ, доцент
Санкт-Петербургского Политехнического университета,
к.т.н.

ПРОКЛАДКА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ МЕТОДОМ ГНБ

Одним из преимуществ изоляции из сшитого полиэтилена является отсутствие ограничений на перепад высот по трассе кабельной линии. Это свойство, которого были лишены кабели с бумажно-масляной изоляцией и маслонаполненные, серьёзно изменило методы строительства сетей. В частности, обычным делом стали:

- обустройство так называемых открытых переходных пунктов [2], когда в месте перехода воздушной линии в кабельную концевые муфты размещаются прямо на траверсе опоры на большой высоте, экономя землю, которую раньше было нужно отвести для строительства закрытого переходного пункта;

- прокладка кабельных линий методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ) с длиной участков более 500 м и глубиной заложения кабеля более 10 м.

Как видно, отсутствие ограничений на перепад высот позволило не только поднимать современный кабель на большую высоту над землей (опоры ВЛ), но и опускать его на большую глубину под землю (метод ГНБ).

Если изначально прокладка кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена методом ГНБ применялась только для прохода под препятствиями (автомобильные и железные дороги, площади, водные преграды), то теперь всё чаще встречаются линии, целиком состоящие из ГНБ-участков длиной по 300–500 м

каждый. Причин возросшей популярности ГНБ, наверное, несколько:

- уменьшение объёма согласований в различных инстанциях;
- снижение объёма земляных работ и ускорение строительства.

Названные выше причины развития ГНБ, в первую очередь, служат интересам проектных и монтажных организаций — именно они заинтересованы в упрощении и в ускорении проектирования и строительства. Что касается тех, кто эксплуатирует кабельные сети, то они беспокоятся совершенно о другом, и им очень важны:

- надёжность и долговечность кабелей;
- ремонтпригодность кабелей или возможность их полной замены.

К сожалению, кабельные линии, проложенные методом ГНБ, далеко не всегда удовлетворяют перечисленным выше требованиям эксплуатирующих организаций, ведь при ГНБ кабели зачастую оказываются в неподходящих трубах, да ещё на значительной глубине.

ОБСЛУЖИВАНИЕ КАБЕЛЯ НА ТРУБНОМ УЧАСТКЕ

Очевидно, что если пытаться учесть интересы эксплуатирующей организации, а не только проектировщиков и монтажников, то обязательно должны быть решены вопросы ремонта или замены кабельной линии. Без решения этих вопросов метод ГНБ — это не способ строительства сетей будущего, а отличный способ похоронить в земле кабель стоимостью в десятки миллионов рублей за каждый километр.

Ремонт или замена кабеля, проложенного методом ГНБ, возможны лишь если полимерные трубы, в которых размещён кабель, предполагают многократное использование, т.е. из них можно беспрепятственно извлекать кабель и затягивать его обратно. Чтобы обеспечить подобную возможность, необходимо:

- применять такие полимерные трубы, которые позволят не только проложить кабель, но и сохранят все свои прочностные свойства на десятилетия вперёд;
- надёжно закрывать торцы труб с целью исключить их заиливание.

Качество труб и заделка их торцов — вот два ключевых момента, в которых кардинально расходятся интересы монтажных и эксплуатирующих организаций. Если монтажники рассматривают трубу лишь как способ быстро построить линию, то эксплуатирующие организации должны рассматривать трубу обстоятельнее — как полноценный элемент кабельной системы, как надёжный долговечный кабельный канал многократного использования.

Число линий, проложенных в трубах методом ГНБ, с годами будет только возрастать, и эксплуатирующим организациям как можно скорее надо осознать всю важность жёсткого контроля за ГНБ, применяемыми материалами и технологиями.

ОПЫТ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

Одной из первых эксплуатирующих организаций, приступивших к наведению порядка в сфере ГНБ, стало ПАО «Ленэнерго» — это крупнейшая в нашей стране компания, обслуживающая кабельные сети 6—110 кВ значительной протяжённости, лидирующая по числу линий, проложенных методом ГНБ.

Здесь в 2015 году решением НТС были сформулированы требования [3] к полимерным трубам для прокладки кабельных линий методом ГНБ. Эти требования достаточно жёсткие, но цель их понятна и правильна — добиться самого высокого качества монтажных работ, применяемых материалов и технологий, ведь только в этом случае ПАО «Ленэнерго» будет получать от монтажных организаций линии, проложенные в долговечных кабельных каналах, обеспечивающих ремонт или замену кабеля при возникновении такой необходимости.

Требования [3] опубликованы и доведены до всех заинтересованных лиц, и уже были случаи, когда монтажные организации под давлением ПАО «Ленэнерго» теряли значительное время и средства на переделку выполненных работ.

Другим городом, где широко применяется ГНБ, является, конечно же, Москва. Чтобы получить представление об особенностях построения кабельных сетей, автор встречался с московскими специалистами. Оказалось, что в Москве есть система кабельных коллекторов, которую невозможно было бы создать в Санкт-Петербурге из-за высокого уровня грунтовых вод. Отчасти из-за этого в Санкт-Петербурге видимо и стали появляться кабельные линии, почти целиком проложенные в полимерных трубах методом ГНБ. Иными словами, труба — это своеобразный аналог коллектора, а значит и требования, которые предъявляются к трубам — это требования, похожие на таковые для коллекторов. Среди них:

- механическая прочность;
- герметичность, отсутствие внутри воды и грязи;
- долговечность (несколько сроков службы кабеля);
- не распространение горения.

Именно такие требования, по всей видимости, легли в основу документа [3], разработанного ПАО «Ленэнерго». Короче говоря, создаётся впечатление, что в Санкт-Петербурге задумались о постепенном создании и развитии системы подземных кабельных каналов, аналогичных московским кабельным коллекторам.

Некоторые специалисты считают избыточным требование ПАО «Ленэнерго» [3], которое касается необходимости применять для ГНБ полимерные трубы со специальным внутренним слоем, не распространяющим горение, ведь проложенные в трубах кабели не имеют оболочки с соответствующими свойствами. Однако эти возражения снимаются, если понять, что речь идёт о создании системы кабельных каналов, надёжность которых выше, чем у кабеля, а срок службы — 2—3 жизненных цикла кабеля. Да, в настоящее время в трубе зачастую размещён обычный кабель с обычной оболочкой, но неизвестно, для чего в будущем используют канал после демонтажа этого кабеля, отслужившего свой срок. Поэтому ПАО «Ленэнерго»

го» и наделяет трубу теми свойствами, которые хотя и не первостепенны сегодня, но могут оказаться востребованы в скором будущем.

ДИАМЕТР ТРУБЫ И ЕЁ SDR

Согласно [4] внутренний диаметр полимерной трубы рекомендуется брать не менее полутора диаметров прокладываемого в ней кабеля. В [1,5] предлагается более детальное правило:

- для коротких трубных переходов (до 10 м) принимать «не менее 1,5 диаметров»;
- в остальных случаях принимать «не менее 2 диаметров».

Что касается SDR трубы, характеризующего толщину стенки, то его значение можно определить по методикам, разработанным для напорных водопроводов и/или газопроводов (однако эти методики настолько сложны и запутаны, что понять их практически невозможно даже специалисту).

Если рассматривать прокладку кабелей в трубах методом ГНБ как удобный способ создания долговечной подземной системы кабельных каналов, аналогичных коллекторам, то нельзя не задаться двумя следующими вопросами:

- действительно ли надо выбирать диаметр трубы по рекомендациям [4];
- корректно ли применение методик выбора SDR трубы, которые справедливы для напорных систем с внутренним давлением в несколько атмосфер.

Полагаю, что целесообразно в принципе отказаться от выбора диаметра трубы и её SDR, а принять некие стандартные значения, заведомо достаточные для любой кабельной линии. Например, в Москве так и сделали, и большинство кабелей 110—220 кВ прокладываются в одних и тех же трубах стандартного диаметра 225 мм и SDR 17,6. Для Петербурга это тоже было бы неплохо, так как позволило бы получить систему стандартных унифицированных подземных кабельных каналов.

Каким принять стандартные значения диаметра трубы и её SDR — вопрос не самый очевидный, и опыт Москвы здесь важен скорее не конкретными значениями, а самим подходом, заслуживающим внимания — трубы должны быть однотипными по всему городу (энергосистеме).

Выскажем несколько соображений в помощь тем, кто примется за выбор труб, подходящих на роль типового решения.

Выбор диаметра трубы

По моему мнению, если позволяет возможность ГНБ-машины и имеющийся бюджет, то всегда лучше склоняться к применению труб повышенного диаметра, и этому есть две причины:

- проще затянуть кабель и извлечь его в случае необходимости;
- больше пропускная способность кабельной линии.

Первое соображение очевидно, а вот для доказательства второго обратимся к табл. 1, где представлены расчёты длительно допустимого тока кабельной линии 110 кВ с медной жилой 1000 мм² и экраном 240 мм², имеющей транспозицию экранов (нет потерь в экранах) и проложенную пофазно в полимерных трубах. При этом варьировались наружный диаметр трубы D_T и удельное тепловое сопротивление грунта ρ_r . Были приняты: температура грунта 20°C, глубина заложения кабеля 1 м (на самом деле КЛ 110 кВ прокладывают глубже), SDR трубы равно 11.

Из табл. 1 видно, что по мере роста диаметра трубы D_T (роста отношения $D_{ТВ}/D_K$ внутреннего диаметра трубы к диаметру кабеля), длительно допустимый ток увеличивается. Особенно это заметно при повышенных удельных сопротивлениях грунта, когда пропускная способность линии в трубах оказывается даже выше, чем при её традиционном размещении в открытом грунте сомкнутым треугольником (последняя строка).

Выводы из табл. 1 имеют своё объяснение, ведь по мере роста диаметра трубы:

- возрастает зазор между трубой и кабелем, а значит, увеличивается объём воздуха и роль конвективной теплопередачи от кабеля к трубе;
- возрастает площадь соприкосновения грунта с трубами, а значит, облегчается их охлаждение грунтом.

Из табл. 1 следует, что использование труб повышенного диаметра $D_{ТВ}/D_K \approx 3$ даёт увеличение пропускной способности кабельной линии на 5—10% в сравнении с трубами $D_{ТВ}/D_K \approx 1,5$, рекомендуемыми нормами [4].

Выбор SDR трубы

Если проводить расчёты по обоснованию SDR трубы, который будет принят в качестве типового, то методики напорных систем, о которых говорится в [1], дадут излишне толстую стенку трубы (маленький SDR, такой как 11 или 13,6). Поскольку кабельные

Табл.1. Длительно допустимый ток трёхфазной группы однофазных кабелей 110 кВ 1000/240 мм², проложенных в трубах диаметром D_T

D_T , мм	$D_{ТВ}/D_K$, о.е.	Удельное тепловое сопротивление грунта ρ_r , К·м/Вт					
		1	1,2	1,5	2	2,5	3
160	1,64	982	930	864	780	716	665
225	2,30	1000	950	887	805	742	691
315	3,22	1027	978	917	837	774	723
в грунте треугольником		1057	980	890	782	706	648

линии являются безнапорными системами, то при выборе SDR трубы для кабеля корректнее было бы воспользоваться опытом городских канализационных систем, которые также выполняются полимерными трубами.

В системах канализации, вместо понятия SDR, используют дуальное понятие SN, характеризующее кольцевую жёсткость труб. Так вот, городские коллекторы, являющиеся стратегически важными объектами, по имеющейся предварительной информации, выполняются с такой кольцевой жёсткостью SN, которая соответствует SDR 21. Следовательно, помимо московского положительного опыта использования труб SDR 17,6 для нужд прокладки кабелей, можно опираться на положительный опыт использования SDR 21 в городских канализационных коллекторах. Учитывая изложенное, можно предположить, что типовыми SDR труб в нашей стране скорее станут SDR 17,6 и 21, нежели толстостенные и дорогие SDR 9, 11 и 13,6.

ТРУБЫ, КОТОРЫЕ ЕСТЬ НА РЫНКЕ

За последнее время в нашу страну пришло понимание того, что трубы для прокладки кабельных линий должны быть долговечными, способными выдержать длительное воздействие повышенной температуры и давления грунта не только в течение срока службы кабеля, но даже за его пределами. Таким образом, стало ясно, что кабельные трубы — это какие-то специальные трубы, отличающиеся от труб из полиэтилена низкого давления (ПНД), которые применялись до недавнего времени и согласно [6] рассчитаны на работу при температурах не более 40°C, существенно меньших, чем у кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена (90—110°C).

Разумеется, промышленность оперативно отреагировала и выдала на рынок «специальные кабельные трубы», окрашенные для убедительности в красный цвет и снабжённые приставкой «электро». Такие трубы в настоящее время можно найти как в гладкостенном, так и гофрированном исполнении [7], но, к сожалению, такие трубы чаще всего выполнены из того же самого ПНД, о недопустимости которого говорилось уже не один раз (в частности в требованиях Ленэнерго [3]). Поэтому при выборе трубы не следует обращать внимание на её цвет и название, а внимательным образом надо изучить перечень материалов, применяемых при её изготовлении.

Ещё одна группа труб, которые сейчас встречаются на рынке, это трубы, изготовленные из так называемого полиэтилена повышенной термостойкости PE-RT. Как может показаться, эти трубы уж точно подходят для прокладки кабельных линий, ведь в их основе лежит не обычный полиэтилен (PE, ПНД), а повышенной термостойкости. Однако и здесь не обходится без подводных камней, поскольку PE-RT — это огромная группа полиэтиленов с длительно допустимой температурой в широком диапазоне от 60 до 95°C. Разумеется, для прокладки кабельных линий, более-менее подходит лишь PE-RT с рабочей температурой 95°C. Поэтому применять PE-RT не рекомендуется, если нет достоверной инфор-

мации по его характеристикам (рабочим температурам).

Третья группа труб — это термостойкие трубы ProtectorFlex (ПротекторФлекс), которые изготовлены из специальной полимерной композиции. Такие трубы имеют рабочую температуру 110°C, что соответствует и нормальному режиму кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена (90°C), и режиму перегрузок (105—110°C согласно [4]).

К сожалению, на трубном рынке есть ещё одна категория труб — это трубы из вторсырья. Их механические и температурные характеристики уступают даже ПНД самой недорогой марки PE 80 (не говоря уже о качественном ПНД марки PE 100 и других более дорогих материалах). Увы, известны случаи, когда именно «вторичка» использовалась при строительстве кабельных линий.

Иногда можно услышать, что качество применяемых труб не имеет значения, ведь кабельные линии с изоляцией из сшитого полиэтилена выбираются с большим запасом, и их загрузка в нормальном режиме не превосходит 50% от допустимой, а температура их изоляции и внешней оболочки, соответственно, не более 40°C. В таких случаях очень хочется спросить: зачем по всей стране строят кабельные линии именно с дорогостоящей изоляцией из сшитого полиэтилена, рассчитанные на 90—110°C, а не применяют менее дорогие виды изоляции? Также в качестве аргумента можно порекомендовать ознакомиться, например, со статьей [2], где описывается важнейшая роль понятия «кабельная система». Его суть в том, что надёжность и ремонтпригодность кабельной линии определяется не только непосредственно кабелем, а всеми элементами линии, среди которых и муфты, и средства заземления экранов, и инженерные сооружения, по которым проложен кабель.

ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ И ТЕРМОСТОЙКОСТЬ. В ЧЁМ РАЗНИЦА?

Когда инженеру любого уровня показывают термостойкую трубу, то он сразу достаёт зажигалку и говорит: «Сейчас мы проверим, какая она термостойкая...». На бытовом уровне его действия понятны, но с точки зрения материаловедения всё гораздо сложнее. Дело в том, что для полимерных труб есть не только понятие температуры плавления, но другие понятия, такие как температура размягчения (по Вика), термостойкость, термическая стабильность. На первый взгляд, названные термины очень близки друг другу, но на самом деле это не так. Не разобравшись с ними, нельзя понять ценность термостойких труб для прокладки кабельных линий 6—500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Температура плавления (температура размягчения)

Температура размягчения (по Вика) характеризует момент начала размягчения материала. Этот показатель несколько меньше температуры плавления, ведь размягчение, по сути, является началом плавления.

У труб ПНД (из полиэтилена марки РЕ100) температура размягчения составляет около 124°C, у так называемого сшитого полиэтилена (РЕХ, СПЭ) эта температура 126°C, т.е. всего на два градуса выше.

Судя по температуре размягчения, два названных материала практически одинаковы, и опыт с зажигалкой подтвердил бы это. Вместе с тем, очевидно, что ПНД и СПЭ — два совершенно разных материала, и лучшим подтверждением тому является высочайшая цена СПЭ в сравнении с простым ПНД. Приведём два примера для дополнительной иллюстрации кардинальных отличий ПНД и СПЭ.

Пример 1. В настоящее время во всём мире сшитый полиэтилен используется в качестве основной изоляции кабельной линии, и хотя его температура размягчения составляет всего 126°C, но для жилы и экрана кабеля на время короткого замыкания нормативными документами разрешён разогрев до 250 и 350°C соответственно [4]! Здесь нет ошибки, ведь режим нагрева и затем охлаждения кабеля являются лишь кратковременными, и поэтому поведение полиэтилена здесь никак не может характеризоваться температурой размягчения 126°C, получаемой при условии постоянного длительного подвода тепла.

Пример 2. Сшитый полиэтилен не подвергается контактной сварке, а трубы ПНД, напротив, прекрасно свариваются (спаиваются) встык, причём достаточно быстро и надёжно.

Два приведённых примера убедительно показывают, что два материала с очень близкими температурами размягчения (и последующего плавления) на самом деле могут иметь различные физико-химические свойства и разные потребительские качества. Иными словами, эксперименты с зажигалкой никак не могут выявить всю специфику материала. Например, у выпускаемых в России термостойких труб марки ПротекторФлекс температура размягчения по Вика составляет 131°C и по этому показателю принципиального отличия от ПНД (124°C) и от сшитого полиэтилена (126°C) нет, но материал ПротекторФлекс, тем не менее, имеет особые свойства.

Изложенное показывает, что такие понятия как «температура размягчения» и «температура плавления» не являются информативными и не могут по-настоящему рассказать о материале, особенно если он эксплуатируется при температурах до 90—110°C [4], что меньше температуры плавления 124—131°C.

Чтобы характеризовать материал, в таких случаях надо оперировать понятием термостойкости — это свойство материала к длительной температурной стойкости (стабильности) с обязательным сохранением всех физико-механических свойств, т.е. отсутствием термической деструкции. Именно по термостойкости, а вовсе не по температуре плавления принято различать полимерные материалы.

Термостойкость (термическая стабильность)

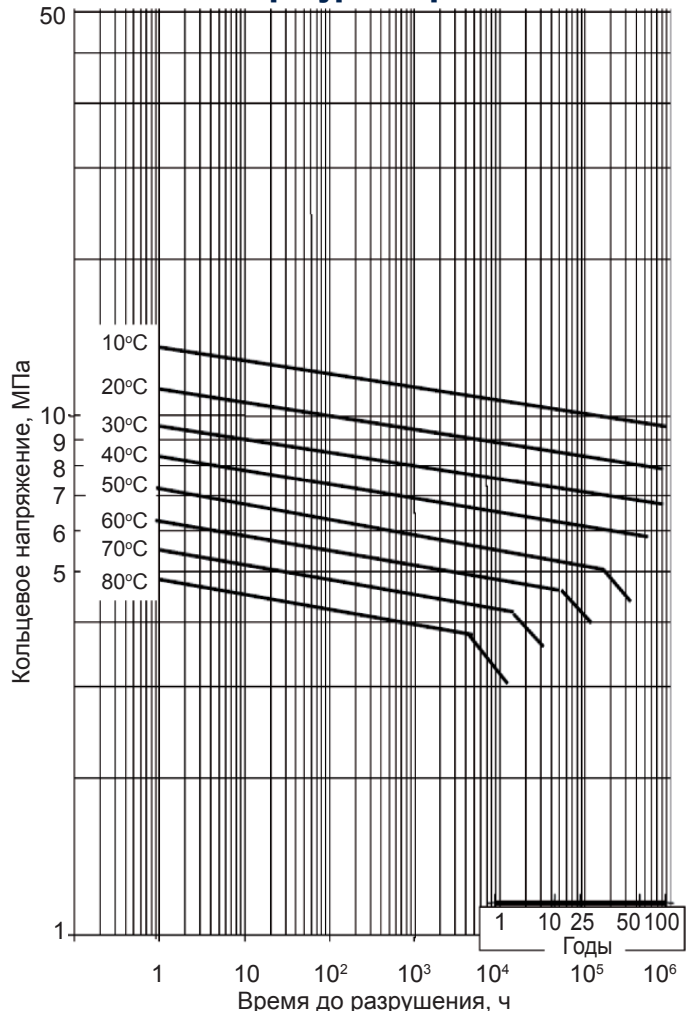
Сложность создания термостойких труб для нужд кабельной отрасли состоит в том, что необхо-

димо найти состав полимеров, который обеспечил бы сочетание в одном и том же материале замечательных свойств, присущих и дорогому сшитому полиэтилену, и простому ПНД. Термостойкие трубы должны иметь необходимую кратковременную стойкость к перегреву (как сшитый полиэтилен), но в то же время должны без проблем подвергаться стыковой сварке (как ПНД).

ПНД (РЕ) не является термостойким полимером, а сшитый полиэтилен СПЭ (РЕХ) и ряд других материалов напротив являются термостойкими.

В соответствии с ГОСТ [6], трубы из ПНД (полиэтилена низкого давления марки РЕ100) допускаются применять только при температуре до 40°C. Это связано исключительно со свойствами полиэтилена низкого давления, который не является термостойким (термостабильным) и поэтому не может обеспечить сохранность всех физико-механических свойств при температуре более 40°C. В соответствии с ГОСТ [8]), приложение В, длительная прочность материала ПНД (РЕ100) ограничена 40°C, а скажем при 80°C (такова температура оболочки кабеля, жила которого разогрета до 90°C) длительная прочность ПНД труб сохраняется всего лишь на протяжении 10—11 месяцев, и затем наступает краткосрочная деструкция материала и быстрое снижение механической прочности (рис. 1).

Рис. 1. Снижение механической прочности ПНД-труб в зависимости от температуры и времени



Анализ рис. 1 показывает, что при температурах, характерных для кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена, термическая стабильность ПНД-труб сохранится лишь в краткосрочном периоде, и через определённое время труба уже не сможет обеспечить возможность ремонта или замены кабеля, необходимые для эксплуатирующей организации. Именно этим объясняется отказ при строительстве кабелей от использования ПНД и переход на различные специальные термостойкие трубы.

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ТОРЦОВ ТРУБ

Материал трубы, применяемой для прокладки кабеля, не имеет значения, если при строительстве линии не были надёжно герметизированы торцы труб. Иными словами, о каком ремонте или замене кабельной линии можно говорить, если труба заилена? Герметизация торцов труб не менее важна, нежели материал труб!

К сожалению, в настоящее время в России зазор между кабелем и трубой чаще всего заделывают при помощи бытовой монтажной пены типа Масроflex (например, см. рис. 5 в статье [5]). Известно, что такая пена разрушается уже через несколько лет эксплуатации линии, и тогда в трубу начинают поступать грунт и вода. Поэтому применение монтажной пены надо запретить, и в технических требованиях ПАО «Ленэнерго» [3] это сделано.

Действительно, надёжная долговечная герметизация торцов труб может быть достигнута лишь за счёт использования специальных кольцевых уплотнителей вида, показанного на рис. 2. По мере затягивания болтов, материал уплотнителя сжимается, и его распирает так, что обеспечивается заполнение зазора между кабелем и трубой. Заводам рекомендуется освоить выпуск таких уплотнителей или как можно скорее предложить на рынок аналогичные технические решения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Реалии современных городов таковы, что с годами число кабельных линий 6—500 кВ, проложенных в полимерных трубах методом ГНБ, по всей видимости, будет только возрастать.

2. Полимерная труба — это важный элемент кабельной системы, от которого напрямую зависит возможность будущего ремонта или замены кабеля.

3. При строительстве кабельных линий особое внимание рекомендуется уделять материалу применяемых труб и качеству герметизации торцов так, как это делает на своих объектах ПАО «Ленэнерго».


Выражаю благодарность тем электроэнергетикам, которые нашли время для обсуждения тематики труб, высказывались и спорили по этим актуальным вопросам: С.Н. Тодирке, В.А. Востросаблиной, А.Ф. Кудрявцеву, С.В. Шувалову, А.С. Пыльцову, В.Р. Халитову, А.Ю. Овсянниковой, И. Пуфалю. 

Рис. 2. Однофазный кабель с одетым на него кольцевым уплотнителем



ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев М.В. Овсянникова А.Ю. О полиэтиленовых трубах для прокладки кабельных линий // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение. № 2, 2015. С. 60—63.
2. Афанасьев А.И. Кабельная линия как система. Вопросы проектирования и эксплуатации // КАБЕЛЬ-news. № 4, 2014. С. 48—54.
3. Технические требования к трубам для прокладки силовых кабелей 6—110 кВ методом горизонтально-направленного бурения // ПАО «Ленэнерго», приложение к протоколу НТС № ЛЭ/02-011/1585 от 03.08.2015. Санкт-Петербург. 2015.
4. СТО 56947007-29.060.20.071-2011. Силовые кабельные линии напряжением 110—500 кВ. Условия создания. Нормы и требования // Стандарт ПАО «ФСК ЕЭС». Москва. 2011.
5. Невар Г. Технология прокладки кабеля. Так ли важно её соблюдать? // КАБЕЛЬ-news. № 2, 2014. С. 32—37.
6. ГОСТ 18599-2001 «Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия».
7. Дмитриев М.В. Требования к трубам для прокладки силовых кабельных линий // КАБЕЛЬ-news. № 6, 2014. С. 22—26.
8. ГОСТ 32415-2013 «Трубы напорные из термопластов для систем водоснабжения и отопления».