

Пожарная опасность кабельных линий 6–500 кВ в полимерных трубах

УДК 621.31:614.84

В последних номерах журнала «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение» было опубликовано сразу несколько статей, где приводятся результаты испытаний труб для кабелей. Хотелось бы прокомментировать эти работы, а также статью «К вопросу о распространении горения электропроводок, прокладываемых в грунте в пластмассовых трубах» группы авторов из ФГБУ ВНИИПО МЧС РФ, опубликованную в этом номере журнала на стр. 116–121 (далее — статья ВНИИПО).

Дмитриев М.В.,
к.т.н., доцент Санкт-Петербургского политехнического университета

Ключевые слова:

кабельная линия, сшитый полиэтилен, полимерная труба, прокладка в трубах, метод горизонтально-направленного бурения, пожарная опасность, огнестойкость

Keywords:

cable line, cross-linked polyethylene, polymer pipe, cable laying in pipe, horizontal directional drilling method, fire-resistance

Прокладка современных кабельных линий (КЛ) 6–500 кВ в трубах удобна проектным и монтажным организациям, но при неудачном выборе труб может обернуться проблемами для служб эксплуатации. Так, на рисунке 1 дан пример, где, вследствие невнимательного отношения к качеству труб и отсутствия технического надзора при строительстве, трубы оказались «сдавлены» с проложенными в них кабелями, что привело к невозможности ремонта КЛ и повторного использования труб для размещения в них новых кабелей.

В ситуации рисунка 1, где трубная прокладка производилась на дне траншеи, хотя бы удалось раскопать трассу и сделать фотографии, которые позволили установить произошедшее. Там же, где трубы затягиваются в грунт методом горизонтального направленного бурения (ГНБ), зафиксировать деформацию трубы, произошедшую в процессе эксплу-

ВВЕДЕНИЕ

тации КЛ, не представляется возможным, ведь линия проложена на большой глубине, составляющей до 5÷20 м.

Чем плоха деформация трубы на участках ГНБ? В случае повреждения кабеля на ГНБ-участке его нельзя отремонтировать (вследствие глубокого залегания), и тогда для восстановления нормальной работы КЛ требуется замена кабеля на новый, предполагающая, что вначале из трубы будет извлечен аварийный кабель, а затем на его место затянут новый, исправный. Так вот, извлечь кабель из деформированной трубы будет невозможно (он навсегда останется в земле), а восстановление нормальной работы аварийного участка линии будет означать его новое строительство, которое едва ли будет быстрым, ведь необходимо:

- найти финансирование;
- организовать тендер на проектные работы, в ходе которых предстоит определить место для нового участка КЛ, так как оставшийся в земле старый участок КЛ уже невозможно использовать, и он блокировал собой наиболее подходящий для ГНБ коридор трассы, согласованный изначально;
- выполнить проект и пройти государственную экспертизу;
- организовать тендер на строительномонтажные работы;
- выполнить эти работы;
- принять обновленную линию в эксплуатацию.

Важно понимать, что установить и наказать виновных в потере ГНБ-участка, скорее всего, не удастся, поскольку для принятия решения суд должен иметь какие-то фото- или видеоматериалы, а их попросту не будет в силу значитель-



Рис. 1. Последствия халатного отношения к прокладке кабелей в трубах

ной глубины залегания объекта. Восстановление же нормальной работы КЛ займет до нескольких лет.

Впервые предостережение об опасности строительства КЛ в неподходящих трубах сделано в статье «Требования к трубам для прокладки силовых кабельных линий» (Дмитриев М.В., журнал «Кабель-News», № 6, 2014). Всего за последние годы автор посвятил данной теме около десяти работ, чем привлек к обсуждению трубной проблематики разных специалистов. Так или иначе, но российские кабельщики задумались о том, что в существующем виде массовое строительство КЛ 6–500 кВ в трубах, особенно методом ГНБ, — это своего рода мина замедленного действия (если не уделять пристального внимания качеству труб и не договориться о том, какими важнейшими свойствами должны обладать кабельные трубы).

За последние годы, к сожалению, в России появились заводы, которые предлагают якобы «трубы для кабелей». Так, в статье [1] специалистов из «Ленэнерго» отмечается, что весомая часть подобной продукции — это простые водопроводные трубы, сделанные из полиэтилена марок ПЭ 63, ПЭ 80, ПЭ 100, PE-RT, но окрашенные в яркие цвета (красный, синий, зеленый и т.п.) для обозначения их особенно назначения. К сожалению, в действительности подобные трубы не отвечают потребностям кабельных сетей, а существование их на рынке объясняется следующими обстоятельствами:

- большинство протоколов испытаний и сертификатов выданы лабораториями и центрами, которые никогда не относились ни к области электроэнергетики, ни к трубной отрасли (занимаются, например, продуктами питания, мебелью и т.п.); или же, если у них и была необходимая аккредитация, то уже отозвана;
- кабельщики не имеют простых методик, позволяющих понять, что привезенные на объект трубы, несмотря на яркие цвета и специфические названия, являются обычными водопроводными полиэтиленовыми трубами, и что лучше их не использовать.

Учитывая изложенное, можно посоветовать не стесняться проверять подлинность протоколов и сертификатов. Обычно, многое становится ясно, если попытаться найти в сети интернет хотя бы минимальную информацию об испытательной лаборатории или центре сертификации, указанных в документах на трубы. Известны и случаи, когда обман установить сложнее — если сертификацию проходят на «специально подготовленных» образцах, а на объекты привозят похожую продукцию, но уже иного качества и свойств. Фирмы, которые попадают на предъявлении подложных протоколов и сертификатов, должны быть исключены из реестра поставщиков продукции.

Важно отметить и то, что полезным будет подробное изучение технических условий (ТУ) на «кабельные» трубы, поскольку многое из этих ТУ становится ясно и без изучения подлинности и сути предоставляемых протоколов и сертификатов. Зачастую такие ТУ не содержат разделов, где были бы приведены

конкретные требования к трубам, изучая которые стало бы ясно, что трубы относятся именно к кабельным сетям, а не к водопроводу, газу, канализации, дренажу и т.п. Нередко подобные ТУ не содержат даже методик испытаний труб на их соответствие таким важным для кабельщиков требованиям как длительная термостойкость, кольцевая жесткость SN, прочность сварных швов на разрыв и т.п.

ТРЕБОВАНИЯ К ТРУБАМ ДЛЯ КЛ 6–500 КВ

Специальные полимерные трубы для прокладки КЛ 6–500 кВ, как показано, например в [2], должны обладать, по меньшей мере, следующими свойствами:

- термостойкость при температуре не менее 90°C (способность 40–50 лет сохранять все свои характеристики в условиях действия на них температуры 90°C кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена СПЭ);
- стойкость к горению (для внутреннего слоя, контактирующего с кабелем);
- достаточная кольцевая жесткость SN (кН/м²);
- возможность соединения труб друг с другом при помощи стыковой сварки;
- гибкость, достаточная для прокладки методом ГНБ;
- герметизация торцов, исключающая заиливание труб;
- наличие концевых воронок, снижающее риск деформации КЛ краями труб.

Термостойкость труб, изготовленных на основе полиэтилена марок ПЭ 63, 80, 100, длительно сохраняется лишь при температуре 40°C (см. ГОСТ 18599-2001), и по этой причине данные трубы не годятся для прокладки СПЭ-кабелей с рабочей температурой жилы 90°C.

Кольцевая жесткость SN труб, изготовленных на основе полиэтилена марки PE-RT, при температуре 90°C оказывается даже хуже, чем у обычного полиэтилена PE (ПЭ 63, 80, 100). Дело в том, что PE-RT создавался только лишь как материал для водопроводных труб горячего водоснабжения, где требовалось достичь растяжения стенки трубы под действием внутреннего давления воды высокой температуры.

Несмотря на перечисленные известные факты про трубы из полиэтилена марок ПЭ 63, 80, 100, PE-RT, ситуация такова, что многим трубным заводам удается вводить энергетиков в заблуждение и поставлять свою продукцию для нужд прокладки ответственных и дорогостоящих КЛ 6–500 кВ, не говоря уже про КЛ до 1 кВ.

Ситуация усугубляется тем, что в нашей стране нет методик проверки труб, например, на термостойкость, и поэтому различные лаборатории по-разному подходят к проведению испытаний. Так, исследования [3] труб из полиэтилена на термостойкость проводились в лаборатории в течение всего нескольких часов, тогда как понятие «термостойкость при 90°C» означает, что труба при 90°C должна сохранять свои свойства отнюдь не несколько часов, а по меньшей мере 40–50 лет. На это обратили внимание и в «Ленэнерго» [1], а специалисты в статье ВНИИПО, в свою очередь, отметили необходимость проведения дополнительных

экспериментов с привлечением различных научных центров страны.

Помимо термостойкости еще одной важной характеристикой труб является их стойкость к горению — статья ВНИИПО как раз и посвящена изучению этого вопроса. К сожалению, объектом исследования в статье ВНИИПО выбраны обычные трубы из полиэтилена, а вовсе не специальные полимерные трубы для КЛ 6–500 кВ. Разумеется, ВНИИПО вправе осуществлять исследования труб из полиэтилена для заказчиков на коммерческой основе по любой программе испытаний, однако важно отметить, что эти исследования имеют лишь отдаленное отношение к теме прокладки высоковольтных КЛ 6–500 кВ, и могут быть приняты к сведению только для КЛ до 1 кВ, поскольку только в сетях до 1 кВ нормативными документами разрешается при изготовлении труб применять полиэтилен.

ТРУБЫ ПО ГОСТ Р МЭК 61386-2014, ПРЕНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ КЛ ДО 1 КВ

Разрешение применять полиэтилен в трубах для КЛ до 1 кВ связано с тем, что:

- ответственность КЛ до 1 кВ существенно меньше, чем у КЛ 6–500 кВ;
- стоимость КЛ до 1 кВ существенно меньше, чем у КЛ 6–500 кВ;
- рабочая температура КЛ до 1 кВ меньше, чем у КЛ 6–500 кВ;
- для КЛ до 1 кВ не встретить дорогих и сложных ГНБ длиной в сотни метров.

Нормативным документом, разрешающим применять трубы из полиэтилена при прокладке КЛ до 1 кВ, является ГОСТ Р МЭК 61386-2014 «Трубные системы для прокладки кабелей». Стандарт ГОСТ Р МЭК 61386-2014 содержит несколько связанных друг с другом частей (1, 2, 3, ... 24), образующих единый документ. В первой части (61386.1) «Общие требования» в разделе «Область применения» четко написано, что ГОСТ Р МЭК 61386-2014 имеет отношение только к низковольтным сетям напряжением до 1 кВ переменного тока и до 1,5 кВ постоянного тока. Это указано не только в российском ГОСТ Р МЭК, но и в его международном прообразе IEC 61386.

На то, что ГОСТ Р МЭК 61386-2014 не имеет отношения к КЛ 6–500 кВ, обратили внимание и в статье [1] «Ленэнерго». Также, к сожалению, не корректно относить к КЛ 6–500 кВ и испытания из статьи ВНИИПО, которые были проведены всего лишь на КЛ до 1 кВ, проложенных в обычных трубах из полиэтилена (гофрированных и гладких).

Отрадно, что в нашей стране сохранились и действуют испытательные центры, подобные ВНИИПО. Надеюсь, в обозримом будущем на их базе удастся организовать испытания на распространение горения вовсе не труб из полиэтилена для низковольтных кабелей классов до 1 кВ, отвечающих ГОСТ Р МЭК 61386-2014, а крупные испытания специальных полимерных труб для КЛ 6–500 кВ, обладающих названными характеристиками, такими как длительная (40–50 лет) термостойкость при 90°С и более, стойкость к распространению горения, герметичность торцов и т.п. Полагаю, что инициатором и заказчиком подобных испытаний могло бы стать ПАО «Россети»,

ведь именно его дочерним обществам приходится эксплуатировать сотни и тысячи КЛ 6–500 кВ, проложенных в трубах.

Нельзя не отметить, что испытания специальных полимерных кабельных труб было бы целесообразно проводить в присутствии энергетиков-кабельщиков, ведь это позволило бы максимально корректно учесть специфику работы КЛ 6–500 кВ, а также верно интерпретировать результаты экспериментов.

Завершив рассуждения про низковольтные (до 1 кВ) и высоковольтные КЛ 6–500 кВ, обратим внимание на серьезную проблему, с которой столкнулся ВНИИПО при проведении испытаний на распространение горения — это отсутствие методики испытаний.

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА НА ГОРЕНИЕ

ГОСТ Р 53313-2009 «Изделия погонажные электро-монтажные. Требования пожарной безопасности» описывает следующую методику проверки КЛ в трубах на распространение горения: «Образец для испытаний должен представлять собой отрезок или отрезки электро-монтажных погонажных изделий суммарной длиной (3500±50) мм, с уложенными внутри их проводами или кабелями и закрепленные на металлической лестнице».

Как видно, указанная в ГОСТ Р методика описывает только те КЛ, которые расположены в трубах на воздухе. Такой способ размещения кабелей характерен при выполнении низковольтных электропроводок (для КЛ до 1 кВ), но практически не встречается для высоковольтных КЛ 6–500 кВ, которые если и прокладываются в трубах, то в земле: на дне траншеи (рисунок 2а) или методом ГНБ (рисунок 2б).

Единственный случай, когда КЛ 6–500 кВ все же прокладываются в трубах на воздухе — это выход кабеля из под земли к концевым муфтам (рисунок 2в),

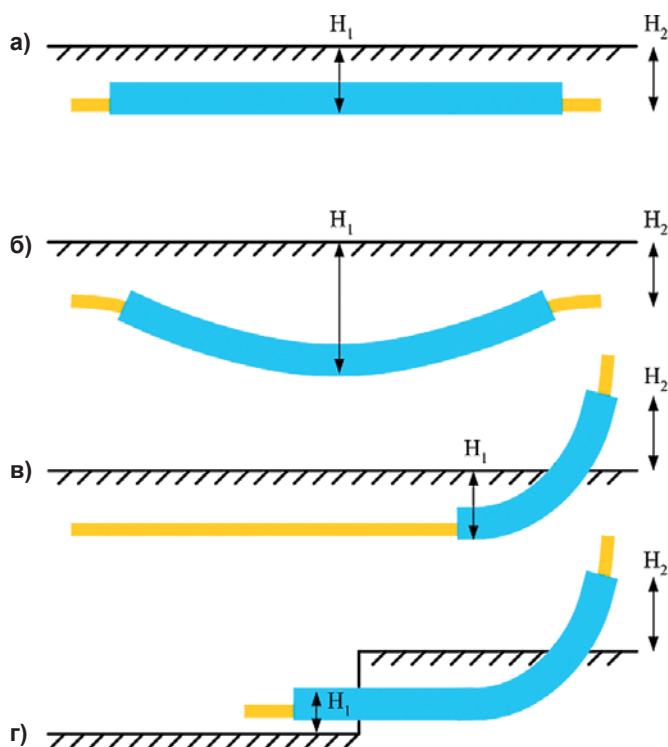


Рис. 2. Кабель в трубе в грунте:

а) укладка на дно траншеи, б) укладка методом ГНБ, в) выход из грунта к муфте, г) эксперимент ВНИИПО

причем здесь требуется повышенная гибкость, и приходится применять не гладкостенные трубы (как на рисунках 2а и 2б), а гофрированные трубы.

Отсутствие в ГОСТ Р 53313-2009 корректной схемы эксперимента для случая прокладки КЛ под землей привело к необходимости ее разработки, и специалисты в статье ВНИИПО дали свой вариант — он представлен на рисунке 2г. Видно, что схема напоминает случай выхода КЛ в трубе из земли на воздух (рисунок 2в), но далека от вариантов рисунков 2а и 2б.

Приняв суммарную протяженность труб, в которых проложены КЛ 6–500 кВ нашей страны за 100% (все варианты рисунков 2а, 2б и 2в вместе взяты), можно утверждать, что протяженность трубных выходов из-под земли на воздух (рисунок 2в) составит едва ли 1%. Следовательно, эксперименты, проведенные ВНИИПО по схеме рисунка 2г, в некоторой степени могли бы закрыть только 1% тех условий, в которых реально работают КЛ 6–500 кВ нашей страны. Остальные же 99% КЛ 6–500 кВ пока остаются неисследованными.

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ТОРЦОВ ТРУБ

Отличия экспериментов ВНИИПО от реальных случаев прокладки КЛ 6–500 кВ дополнительно отражены в таблице 1. В экспериментах ВНИИПО оба торца трубы были размещены на воздухе, причем на существенно разной высоте, что создавало эффект проточной аэродинамической трубы, раздувающей пламя и без того очень горячей (группа Г4) обычной низковольтной трубы из полиэтилена, которая только лишь на 10–15% заполнена кабелями с горючими оболочками (эксперимент № 1). Но даже при так поставленном эксперименте, где, казалось бы, все сделано для горения, авторы дают заключение: «При испытании образцов с уплотненными торцами труб образцы испытания выдержали». Интересно, что эксперименты проведены для утроенного объема керосина в сравнении с тем, который применяется обычно.

Если в экспериментах ВНИИПО пришли к выводу, что уплотнение торцов серьезно влияет на горение трубы, то нельзя не обратить внимание на следующее — на практике в 99% случаев оба торца труб КЛ 6–500 кВ находятся под землей (рисунки 2а и 2б)

Табл. 1. Сравнение способов размещения трубы с кабелем в грунте

Способ прокладки	Схема	H_1 , м	H_2 , м
Укладка на дно траншеи	Рисунок 2а	–1,5	–1,5
Укладка методом ГНБ	Рисунок 2б	–(5÷20)	–1,5
Выход из грунта к муфте	Рисунок 2в	–1,5	+3,0
Эксперимент ВНИИПО	Рисунок 2г	+0,2	+3,0

и так или иначе заделаны. Встречаются следующие варианты заделок:

- специальными уплотнителями (рисунок 3);
- монтажной пеной (рисунок 4, запрещено к использованию из-за недолговечности);
- грунтом (запрещено в силу заиливания трубы и проблем с извлечением кабеля).

Даже если специальные уплотнители или запрессованная пена отсутствуют, то в любом случае у торцов трубы остается влажный грунт.

Итак, подавляющее число реальных КЛ 6–500 кВ, показанных на рисунках 3 и 4, имеют мало общего с экспериментами ВНИИПО, которые предполагают выход КЛ на воздух (рисунок 5) и практически ничем не ограниченное его поступление к торцам труб. Однако, тем не менее, исследования ВНИИПО важны, поскольку они продемонстрировали принципиальную роль таких факторов, как герметизация торцов труб и степень заполнения труб проложенными в них кабелями.

Привычная роль герметизации торцов труб с КЛ заключается в защите труб от заиливания кабеля [1, 2], но теперь сюда следует добавить еще одно назначение — это ограничение доступа воздуха в трубу с целью минимизации последствий горения.

Что касается степени заполнения труб кабелями, то факторы выбора данного параметра противоречивы. С одной стороны, для ограничения горения хороши те решения, где трубы плотно заполнены кабелями, оставляя воздуху минимум места. С другой же стороны, такое плотное заполнение трубы не годится ни по условиям протяжки кабеля (особенно если речь идет о длинном трубном участке), ни по условиям охлаждения, поскольку, как было показано в [4], только трубы большого диаметра способны



Рис. 3. Специальная полимерная труба для кабелей. Оснащена внутренним НГ-слоем и герметизирована уплотнителями. Решение предназначено для КЛ 6–500 кВ



Рис. 4. Неокрашенная труба из обычного полиэтилена. Не имеет внутреннего НГ-слоя и уплотнителей (вместо них пена). Решение предназначено для КЛ до 1 кВ



Рис. 5. Окрашенная в синий цвет гофрированная труба из обычного полиэтилена. Не имеет внутреннего НГ-слоя и уплотнителей. Решение предназначено для КЛ до 1 кВ

обеспечить высокую пропускную способность кабеля по току за счет эффективного охлаждения кабеля:

- действием конвекции большого объема воздуха в трубе;
- увеличением площади контакта трубной системы с грунтом.

Учитывая проблемы герметизации труб и их заполнения кабелями, становятся ясны причины появления специальных кабельных полимерных труб с внутренним НГ-слоем (рисунок 3), на наличие которого в последнее время стало обращать внимание ПАО «Россети» и филиалы.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРНАЯ НГ-ТРУБА ДЛЯ КЛ 6–500 КВ

Сделать полимерную трубу для КЛ 6–500 кВ целиком негорючей не только дорого, но и в какой-то степени бессмысленно. Дело в том, что горение трубы с ее наружной стороны исключено, ведь там, как справедливо отметили в статье ВНИИПО, обычно к трубе примыкает грунт. Поэтому не стоит удивляться, что разработанные для КЛ 6–500 кВ «негорючие» полимерные трубы в качестве НГ-слоя имеют только тонкий внутренний слой.

Появление специальных полимерных труб с внутренним НГ-слоем позволило снять ограничения на выбор диаметра трубы и принимать его повышенным (для удобства протяжки кабеля и для увеличения допустимого тока), не беспокоясь при этом за большой объем воздуха в трубе, неблагоприятный в вопросах горения. Строго говоря, есть еще несколько аргументов в пользу использования полимерных труб с внутренним НГ-слоем.

Во-первых, во всех экспериментах, так или иначе описанных в ГОСТ Р 53313-2009 или в статье ВНИИПО, приемлемым считается, когда образцы повредились на участке длиной до 2,5 м. Энергетиков же в кабельных сетях 6–500 кВ такая постановка вопроса едва ли устраивает. Дело в том, что аварийный кабель, даже если повреждено лишь 0,1 м, все равно нельзя отремонтировать, и его надо извлекать из трубы для замены. Но вот если на таком же участке поврежден не только кабель, но и труба, то она может утратить кольцевую жесткость SN и деформироваться столь сильно, что не позволит извлечь кабель и заменить его на новый. Участок трассы КЛ потребует дорогостоящего и долговременного нового строительства.

Во-вторых, наличие у трубы внутреннего НГ-слоя минимизирует повреждение трубы дугой тока КЗ, если оно произошло в КЛ на трубном участке. Строго говоря, здесь НГ-слой выполняет уже не противопожарную роль, а скорее роль защиты тела трубы от высокой температуры раскаленных проводов КЛ и дуги тока КЗ.

В-третьих, существует ряд случаев, когда КЛ в трубах все же имеет контакт с большим объемом воздуха. Сюда можно отнести:

- выход кабелей из земли к муфтам (рисунок 2в или рисунок 6);
- блочную канализацию (рисунок 7, она подробно рассмотрена в статье [5]);



Рис. 6. Выход КЛ 330 кВ, выполненный специальной термостойкой гофрированной трубой, оснащенной уплотнителями, стойкой к ультрафиолету, имеющей внутренний НГ-слой

- заходы кабелей в кабельные помещения, подвалы.

Может возникнуть вопрос: если применять трубы с внутренним НГ-слоем, то и КЛ, наверное, тоже надо применять с внешним НГ-слоем? Ответом на вопрос являются исследования в статье ВНИИПО, где показано, что горение кабелей и трубы в большей степени зависит от герметизации торцов трубы и объема воздуха в ней, нежели от материала оболочки кабеля. Также отсутствие необходимости класть в НГ-трубы кабели с НГ-оболочкой объясняется и тем, что из пары «труба-кабель» именно труба должна быть долговечнее и надежнее, поскольку она должна в течение десятков лет обеспечивать возможность перекладки кабеля без замены трубы на новую.

ДИАМЕТР ТРУБЫ И КОЭФФИЦИЕНТ ЕЕ ЗАПОЛНЕНИЯ

Было показано, что герметизация торцов полимерных труб с КЛ 6–500 кВ позволяет выбирать диаметр трубы, не ориентируясь на вопросы горения. Строго говоря, кабельщики так всегда и поступали — внутренний диаметр $D_b = D - 2e$ принимался по меньшей мере в 1,5 раза больше, чем диаметр



Рис. 7. Колодец в месте поворота трассы блочной канализации КЛ 10 кВ

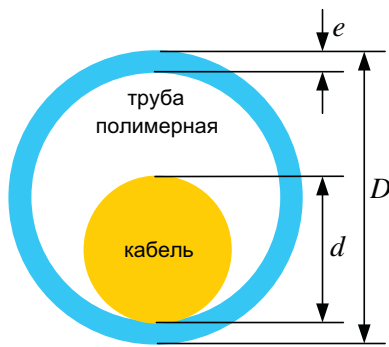


Рис. 8. Геометрические характеристики кабеля и трубы

Табл. 2. Заполнение трубы кабельной продукцией

D_B/d , о.е.	S_K/S_T , о.е.	Заполнение
1,5	0,44	44%
1,7	0,35	35%
2,0	0,25	25%
2,5	0,16	16%
3,0	0,11	11%

водопроводных марок ПЭ 63, ПЭ 80, ПЭ 100, РЕ-RT. Применение названных марок полиэтилена возможно, но только при прокладке низковольтных КЛ до 1 кВ.

3. Требования к трубам для низковольтных КЛ приведены в ГОСТ Р МЭК 61386-2014, область действия которого относится исключительно к сетям до 1 кВ, о чем указано в русской, английской, французской версиях документа. Эти требо-

кабеля d , и правило это объяснялось необходимостью обеспечить беспрепятственную протяжку кабелей в трубах большой протяженности с учетом жесткости кабеля и изгибов трассы (рис. 8).

Соотношение сечения кабеля S_K и всего внутреннего сечения трубы S_T может быть определено по простой формуле:

$$S_K/S_T = (d/D_B)^2,$$

где $S_K = \pi d^2/4$, $S_T = \pi D_B^2/4$.

Результаты расчетов представлены в таблице 2, откуда видно, что для предельно допустимого отношения диаметров $D_B/d = 1,5$, привычного энергетикам по условиям беспрепятственной затяжки КЛ в трубу, кабельная продукция занимает 44% объема трубы. На практике диаметр трубы выбирают с некоторым запасом, и чаще встречается отношение $D_B/d = 1,7$ — оно в точности отвечает заполнению 35%, которое, по мнению ВНИИПО, является критическим с точки зрения вопросов распространения горения по трубам, не имеющим концевых уплотнителей, и меньше которого значение уже не рекомендуется.


Можно предположить, что если труба оснащена уплотнителями, а также еще и наделена внутренним НГ-слоем, то ограничений на заполнение трубы возникать уже не будет. В таком случае окажутся допустимы разнообразные варианты заполнения трубы кабелями — например, лишь на 10–15%, что отвечает $D_B/d = 2,5 \div 3,0$. Кстати, эксперимент № 1 из статьи ВНИИПО был проведен как раз при заполнении трубы всего на 10–15% (он-то и установил принципиальную роль герметизации торцов).

Увеличение диаметра труб с привычных $D_B/d = 1,5 \div 1,7$ до $D_B/d = 2,5 \div 3,0$ даст улучшенные условия охлаждения КЛ за счет появления конвекции (перемешивания) воздуха в трубе и большой площади контакта труб с грунтом [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При прокладке КЛ 6–500 кВ в трубах следует уделять особое внимание материалу стенки трубы, наличию у трубы герметизации торцов и внутреннего НГ-слоя.
2. Трубы для прокладки высоковольтных КЛ — это специальные полимерные трубы, при изготовлении которых не следует использовать полиэтилен

влияния имеют мало общего с тем, что нужно для высоковольтных КЛ 6–500 кВ.

4. Герметизация торцов труб с КЛ 6–500 кВ важна не только лишь для исключения попадания в них грунта, посторонних предметов, животных, но также с целью ограничения притока воздуха, влияющего на вопросы горения кабелей в трубах (из-за перегрузки КЛ или короткого замыкания). Герметизация труб должна быть выполнена специальными уплотнителями, но никак не монтажной пеной.
5. В случае качественной герметизации торцов трубы, в частности:
 - снимается необходимость укладывать в трубы кабели с НГ-оболочкой;
 - ослабляются ограничения на степень заполнения кабелями объема трубы.
6. Применение внутреннего НГ-слоя у специальных полимерных труб рекомендуется:
 - на ГНБ-участках, где всегда важно сохранение трубой своей целостности, формы и основных свойств;
 - в блочной канализации;
 - в местах выхода к концевым муфтам (обычно это гофрированные трубы с уплотнителями торцов, с внутренним НГ-слоем, стойкие к ультрафиолету);
 - в случаях, когда кабели заполняют менее 35% пространства внутри трубы (иначе говоря, когда соотношение внутреннего диаметра трубы и диаметра кабеля $D_B/d > 1,7$). 

ЛИТЕРАТУРА

1. Пуфаль И.В. Полимерные трубы для кабельных линий // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2018, № 1(46). С. 102–105.
2. Дмитриев М.В. Полимерная труба как важнейший элемент кабельной системы 6–500 кВ // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2015, № 6(33). С. 78–83.
3. Мамонов И.Н., Гусев Д.А., Калугина Е.В. Полимерные трубы как важная составляющая кабельной системы // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2017, № 5(44). С. 92–97.
4. Дмитриев М.В. О способах повышения пропускной способности кабелей в трубах // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2016, № 6(39). С. 76–81.
5. Халитов В.Р. Кабели со СПЭ-изоляция. Расчет блочной канализации // Новости Электротехники, 2017, № 5(107)–6(108).