

# О полиэтиленовых трубах для прокладки кабельных линий

В последние годы силовые кабельные линии классов напряжения 6 кВ и выше часто прокладываются в земле в полиэтиленовых трубах, затянутых в грунт методом горизонтально направленного бурения (ГНБ). Такая технология позволяет свести к минимуму открытые земляные работы при прокладке кабелей, что важно в условиях плотной городской застройки. Также ГНБ незаменимо при организации пересечений рек и водоемов, железнодорожных путей и других коммуникаций.

Михаил ДМИТРИЕВ, заместитель директора по научной работе ПКБ «Росэнергомонтж», к.т.н.,  
Анастасия ОВСЯННИКОВА, главный специалист  
ООО «Рубеж-РемСтрой»

**Р**азвитие техники и технологий привело к тому, что в настоящее время в сетях уже эксплуатируются силовые кабельные линии с весьма протяжёнными трубными ГНБ-участками длиной до 500 м и даже больше.

Это сложно понять, но стоимость прокладки кабельной линии в трубах ГНБ-методом зачастую оказывается выше, чем простым «открытым» способом. Поэтому любые внештатные ситуации при ГНБ приводят к серьёзным финансовым потерям, особенно при организации протяжённых проколов длиной в сотни метров.

Энергетики полюбили прокладку кабельных линий в трубах, но, к сожалению, остаётся большое число вопросов по проектированию таких линий, которые пока ещё плохо освещены в нормативных документах сетевых организаций (ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «Россети»). Например,

мало информации о методике выбора диаметра трубы и достаточной толщине её стенки. Также пока ещё можно встретить объекты, где использованы полиэтиленовые трубы, температурные характеристики которых хуже, чем нужны для работы кабельных линий.

Учитывая высокую стоимость силовых кабелей и их монтажа с применением ГНБ-метода, сетевым организациям, на наш взгляд, целесообразно или приступить к разработке специального отдельного нормативного документа на прокладку кабелей в трубах, или же доработать уже действующий в России стандарт [1], дополнив его всеми необходимыми разделами.

В отсутствии норм появляются проекты, не имеющие должного обоснования параметров труб, в результате чего при строительстве применяются непригодные трубы,

которые при затяжке в грунт или лопаются, или получают значительные деформации, исключающие нормальную затяжку в них фаз кабельной линии. Также ошибки при выборе характеристик трубы чреваты защемлением в ней кабеля или их спланием друг с другом уже на стадии эксплуатации кабельной линии [2].

Наиболее грамотные и ответственные проектировщики, разумеется, проводят все необходимые расчёты ГНБ, но делают это в соответствии с нормами нефтяной и газовой отрасли [3], [4]. Действительно, ГНБ-технология широко используется при строительстве нефте- и газопроводов, и здесь сетевикам есть чему поучиться, но нам нужны собственные нормы, учитывающие кабельную специфику.

Пока таких норм нет, приходится обмениваться своими соображениями здесь — на страницах периодических изданий. В продолжение материала [5] рассмотрим несколько важных моментов, связанных с выбором параметров полиэтиленовых труб для прокладки кабельных линий методом ГНБ.

### ВЫБОР ДИАМЕТРА ТРУБЫ

У полиэтиленовой трубы есть две основные геометрические характеристики:

- наружный диаметр  $d_H$ ;
- величина  $SDR$  (Standart Dimension Ratio).

$SDR$  представляет собой отношение наружного диаметра трубы  $d_H$  к толщине её стенки:

$$SDR = 2d_H / (d_H - d_B),$$

где  $d_H$  и  $d_B$  — наружный и внутренний диаметры трубы (рис. 1),  $(d_H - d_B)/2$  — толщина её стенки.

Нормативными документами установлена шкала типовых значений наружных диаметров труб (например, 110, 160, 225 мм и др.) и  $SDR$  (9, 11, 13,6, 17 и др.).

Так, полиэтиленовая труба типа «225 мм,  $SDR$  11» обладает толщиной стенки  $(d_H - d_B)/2 = d_H / SDR = 20,5$  мм (чуть более двух сантиметров), а внутренний диаметр составит  $d_B = d_H - 2d_H / SDR = 225 - 2 \times 20,5 = 184$  мм.

При проектировании кабельных линий, проложенных в трубах, прежде всего следует определиться с внутренним диаметром трубы  $d_B$ . Чем больше диаметр  $d_B$  в сравнении с диаметром кабеля  $d$ , тем больше зазор между ними и проще затянуть кабель в трубу или же, напротив, вытащить в случае такой необходимости.

Согласно стандарту [1] «6.11.2 Внутренний диаметр трубы или канала блока для прокладки одного кабеля должен быть не менее 1,5 диаметра кабеля  $d$ . При прокладке в трубах следует располагать по одному кабелю в трубу». Графическое представление этого правила приведено на рис. 1а, где кабель диаметром  $d$  уложен на дне трубы, внутренний диаметр которой  $d_B = 1,5 d$ .

Как показала практика, если предстоит выполнить протяжённый трубный участок длиной в несколько сотен метров, то зазора, который образовался между кабелем и трубой (см. рис. 1а), может оказаться недостаточно для прокладки или извлечения жёсткого высоковольтного кабеля. Также следует учесть, что протяжка кабеля облегчается, если применяются смазочные материалы, и, напротив, затрудняется, если в трубу попадает земля или сель (особенно это касается труб малого диаметра).

На рис. 1,б показан тот же самый кабель, но уложенный в трубу, внутренний диаметр которой выбран больше — по условию  $d_B = 2d$ . Такая труба дороже первой, но и зазор между кабелем и трубой здесь уже значительный. Поэтому проблем с затяжкой кабеля в трубу (или его извлечением) быть не должно, даже если трубный участок протяжённый.

На основе рис. 1 можно дать следующие рекомендации по выбору внутреннего диаметра трубы  $d_B$  — он должен удовлетворять условию  $d_B = (1,5 \div 2,0)d$ , но из этого диапазона меньший диаметр  $d_B$  целесообразно использовать для организации коротких прямых трубных участков, а больший — для протяжённых участков.

Для определения типа трубы внутреннего диаметра трубы  $d_B$  недостаточно, и необходимо определить её  $SDR$  и наружный диаметр  $d_H$ . Отмеченная ранее связь  $SDR$  с диаметрами кабеля может быть преобразована к виду:

$$d_H = d_B \cdot [SDR / (SDR - 2)],$$

что позволит находить наружный диаметр трубы  $d_H$  по известным  $d_B$  и  $SDR$ .

Например, если были приняты  $d_B = 184$  мм и  $SDR = 11$ , то наружный диаметр трубы будет  $d_H = 184 \times 11/9 = 225$  мм.

Соображения по методологии выбора  $d_B$  уже высказаны, и теперь необходимо определиться с  $SDR$ .

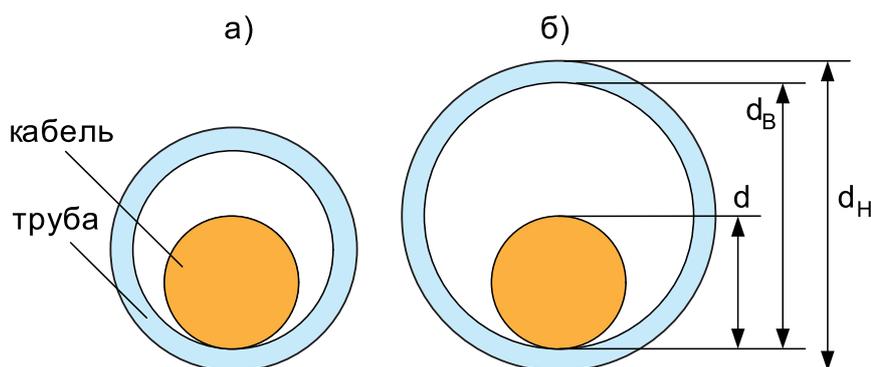
### ВЫБОР ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ТРУБЫ ИЛИ $SDR$

$SDR$  трубы — это важнейшая величина при проектировании кабельных линий, проложенных в полиэтиленовых трубах.  $SDR$  определяет толщину стенки трубы, а значит, механические свойства трубы и её стоимость:

- чем больше  $SDR$ , тем тоньше стенка и дешевле труба;
- чем меньше  $SDR$ , тем толще стенка и дороже труба.

Типовым рядом  $SDR$ -труб, применяемых при строительстве

Рис. 1. Кабель, проложенный в трубе



кабельных линий, является ряд 7,4, 9, 11, 13,6, 17, 17,6, 21, 26. Самые толстые стенки будут у трубы  $SDR 7,4$ , а самые тонкие — у трубы  $SDR 26$ .

Трубы с малым  $SDR 7,4, 9, 11$  имеют серьёзную прочность, но дорогие. Трубы же с большим  $SDR 21, 26$  уже не имеют подобной прочности, но зато они и заметно дешевле, ведь в производстве требуют меньшего объёма материала.

Труба должна иметь такой  $SDR$  и толщину стенки, чтобы при её затягивании в прокол она не только не порвалась, но даже и не растянулась. Также важно, чтобы уже после прокладки трубы в грунте и размещения в ней силового кабеля труба в процессе эксплуатации не деформировалась в течение десятков лет — это позволит гарантированно извлечь кабель из трубы, если возникнет такая необходимость.

Для длинных не прямых трубных участков при выборе  $SDR$  определяющим является требование к трубе выдержать усилия тяжения при её затягивании в грунт. Для коротких прямых участков усилия тяжения отходят на второй план, и важнее становится проверка отсутствия деформации трубы от давления грунта или, скажем, автомобильного транспорта.

Методики расчётов механических воздействий на трубу достаточно сложны. Одна из таких методик имеется в нефтегазовом стандарте [4], но освоили её лишь немногие из электроэнергетических организаций. Упрощение и адаптация нефтегазовых методик механического расчёта труб для их обязательного использования при проектировании кабельных линий является важной задачей, решение которой было бы верно оформить в виде отдельного «сетевое» стандарта.

Полученные в результате расчётов механические воздействия на трубу надо сравнить с допустимыми значениями. Если речь идёт о затягивании полиэтиленовых труб в проколы грунта, выполненные ГНБ-методом, то здесь нельзя, чтобы усилие приводило к растяжению трубы.

При тяжении трубы она получает упругую деформацию, т.е. её относительное удлинение пропорционально приложенной силе: больше сила — больше удлинение. Однако при определённых силах упругая деформация прекращается, и далее труба растягивается уже непропорционально больше, чем рост приложенной силы — такая деформация называется неупругой, а сила (в расчёте на поперечное сечение трубы), при которой она возникает, отвечает «пределу текучести материала»  $\sigma_T$  (Н/мм<sup>2</sup>).

В [3,4] при организации проколов на нефте- и газопроводах считается, что предельное допустимое усилие тяжения полиэтиленовой трубы при её затягивании в прокол грунта должно вычисляться не на основе предела текучести, а на основе  $0,5 \sigma_T$ , т.е. с 50% запасом от того усилия, при котором труба теряет свойство упруго деформироваться. Таким образом, допустимое тяжение трубы (в Ньютонах) по [3,4]:

$$P_{\text{доп}} = 0,5 \cdot \sigma_T \cdot S_T$$

где  $\sigma_T$  — предел текучести (Н/мм<sup>2</sup> или МПа),  $S_T = \pi \cdot (d_H^2 - d_B^2) / 4$  — площадь поперечного сечения стенки трубы (в мм<sup>2</sup>).

Для обычных полиэтиленовых труб из полиэтиле-

на низкого давления (ПНД)  $\sigma_T = 21$  Н/мм<sup>2</sup> (по ГОСТ 18599), а для термостойких труб ProtectorFlex  $\sigma_T$  больше и может достигать  $\sigma_T = 22$  Н/мм<sup>2</sup>. Эти цифры известны и не требуют комментариев, чего нельзя сказать о коэффициенте запаса 0,5.

Коэффициент 0,5 относится к нефте- и газопроводам, эксплуатируемым хотя и при значительном внутреннем давлении, но при невысокой температуре. Кабельные же линии, напротив, таковы, что внутри полиэтиленовой трубы высокого давления нет, но зато есть повышенная температура (вплоть до 80—90°C, если это кабельная линия с изоляцией из сшитого полиэтилена). Если учесть изложенное, то нет ясности, насколько корректен «нефтегазовый» коэффициент 0,5 для тех условий, в которые попадают трубы с проложенными кабелями — может, надо брать не 0,5, а больше или меньше? Ответ на этот вопрос должны дать разработчики «сетевого» стандарта, о важности которого уже говорилось в этой статье. Дополнительно отметим лишь то, что если коэффициент будет не 0,5, а скажем, больше, то тех же самых требуемых для безопасного затягивания трубы в грунт допустимых усилий тяжения  $P_{\text{доп}}$  можно достичь, применяя трубы меньшего сечения  $S_T$ , т.е. с большим  $SDR$ , а они дешевле.

Вне зависимости от того, будет скорректирован или нет коэффициент 0,5, ясно, что для протяжённых проколов потребуются трубы с толстой стенкой (малым  $SDR$ ), а значит, при выполнении теплового расчёта кабельной линии и определении её пропускной способности по току следует верно учесть тепловое сопротивление стенки трубы: у обычных полиэтиленовых труб оно равно  $3,5 \text{ К м/Вт}$ , а у труб типа ProtectorFlex несколько меньше — всего  $2 \text{ К м/Вт}$ .

Выбор  $SDR$ -трубы — это сложная инженерная задача, в решении которой, увы, у всех разные интересы. Проектировщик, если он понимает ответственность  $SDR$ , склонен заложить в проект более дорогие толстостенные трубы с малыми  $SDR$ , так как это гарантирует надёжность. В этом также заинтересованы и заказчик работы, и организация, которой предстоит эксплуатация прокладываемой кабельной линии, ведь это снижает риск деформации трубы и защемления в ней кабеля, а значит, даёт надежду на успешный монтаж линии и на извлечение кабеля из трубы в случае такой необходимости. Что касается монтажной организации, то её интересы иные, ведь она зарабатывает на разнице стоимости всего проекта и купленных материалов и поэтому зачастую пытается согласовать у проектировщика и у заказчика замену уже утверждённых труб на те, что подешевле.

Итак, выбор  $SDR$  — это важная задача, решать которую необходимо на основе расчётов совокупности механических воздействий на трубу в процессе её затяжки в грунт и последующей эксплуатации и их сравнения с допустимыми воздействиями  $P_{\text{доп}}$ , которые зависят от сечения стенки  $S_T$ , а значит, и от  $SDR$ -трубы.

Расчёты и обоснование  $SDR$  требуют времени и соответствующей высокой квалификации. В сложившихся условиях было бы полезно дать некие обобщённые рекомендации по  $SDR$ , которые могли бы

быть использованы в качестве ориентира как для тех, кто выполняет механический расчёт, так и для тех, кто будет принимать результаты проектирования.

Рекомендации по *SDR*, которые, по всей видимости, обобщают определённый опыт расчётов и монтажа, приведены в нефтегазовом стандарте [3]: «7.5.3.4. Для прокладки методом ГНБ напорных трубопроводов, транспортирующих воду, в т.ч. для хозяйственно-питьевого водоснабжения, при температуре от 0° до 40°С, а также другие жидкие и газообразные вещества, к которым полиэтилен химически стоек, применяются трубы, соответствующие ГОСТ 18599 из ПЭ 80 при *SDR* 9;11 и 13,6, а также ПЭ 100 при *SDR* 11; 13,6 и 17».

Из п.7.5.3.4 следует, что для наиболее часто применяемых в настоящее время труб из полиэтилена марки ПЭ 100 предпочтение надо отдавать *SDR* 11, 13,6 и 17. В полной мере это же относится и к трубам из полиэтилена низкого давления (ПНД), ведь хотя они и не годятся для прокладки кабельных линий [2], но производятся из ПЭ 100. Что же касается термостойких труб ProtectorFlex, которые в отличие от ПНД специально разработаны для кабельных линий, то они по свойствам лучше ПЭ 100, и рекомендации [3] по *SDR* применимы к ним в полной мере.

Приведённые выдержки из [3] никак не могут заменить соответствующих глав проектной документации, т.е. *SDR* должен определяться не «на глаз», а на основе расчётов механических воздействий на трубу. Однако данные [3] по *SDR* полезны собственникам сетей, поскольку они могут стать формальным поводом отклонить те горе-проекты, где проектировщики (проведя расчёты, но почему-то их не приложив) советуют покупать тонкостенные трубы с *SDR* 26 даже для протяжённых участков кабельной трассы длиной в несколько сотен метров.

Хочется отметить, что известны случаи, когда производитель ПНД нарушает технологию и, указывая в документах сырьё ПЭ 100, на самом деле экономит и выпускает некачественную трубу с недопустимо высоким содержанием вторичного сырья. В подобных ситуациях нельзя предположить, какой *SDR* нужен, чтобы труба выдержала весь комплекс механических воздействий, не лопнула и не деформировалась, т.е. рекомендации [3] или расчёты теряют всякий смысл.

### ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИК ПО ТЕМПЕРАТУРЕ

В материале [2] отмечалось, что использованные на многих кабельных линиях ПНД-трубы являются трубами холодного водоснабжения, рассчитанными на работу при температурах до 40°С, что не отвечает температурным режимам, характерным для кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена. Например, нормальный режим работы сопровождается нагревом кабеля до 80—90°С, при перегрузках нагрев может достигать 105°С, а при коротких замыканиях — до 150°С.

Очевидно, что трубы, применяемые для прокладки силовых кабельных линий, должны быть не

простыми, а в достаточной степени термостойкими, т.е. длительно допустимая температура для трубы должна быть не 40°С, а более 90°С. Иначе существует риск деформации трубы и/или её слипания с кабелем, что не позволит извлечь его из трубы при такой необходимости. В настоящее время термостойкие кабельные трубы выпускаются как отечественной промышленностью (ProtectorFlex), так и за рубежом (китайские Cable Protection Pipe, американские Electrical conduit, немецкие LHT).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стоимость силовых кабельных линий 6—500 кВ достигает десятков миллионов рублей за каждый километр трассы. Поэтому проектирование и строительство таких ответственных объектов энергетики требуют особого внимания.

Полиэтиленовые трубы, в которых прокладываются кабели, хотя и могут на первый взгляд показаться второстепенным малозначимым элементом, на самом деле таковым вовсе не являются.

Возможность затягивания трубы в грунт, размещения в ней силового кабеля и возможность извлечения кабеля из трубы в случае такой необходимости — вот те основные требования, которым должна удовлетворять труба. Выполнить их нельзя, если при проектировании приняты неверные решения по следующим параметрам:

- диаметр трубы;
- толщина стенки трубы или её *SDR*;
- термостойкость трубы.

В отсутствие специальных нормативных документов на прокладку силовых кабельных линий в полиэтиленовых трубах, к сожалению, в эксплуатацию вводятся линии, параметры труб в которых или не обоснованы, или обоснованы с помощью методик из нефтегазовых стандартов, не имеющих отношения к электроэнергетике.

Считаем, что возможно быстрее следует инициировать разработку стандарта на прокладку кабелей в полиэтиленовых трубах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. СТО 56947007-29.060.20.071-2011. Силовые кабельные линии напряжением 110—500 кВ. Условия создания. Нормы и требования // Стандарт ОАО «ФСК ЕЭС», Москва, 2011.
2. Дмитриев М.В. Требования к трубам для прокладки силовых кабельных линий // «КАБЕЛЬ-news», № 6, 2014, с. 22—26.
3. СТО НОСТРОЙ-15-2011. «Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения» // Стандарт национального объединения строителей, Москва, 2011.
4. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб // Свод правил по проектированию и строительству, Москва, 2003.
5. Пуфаль И. Расчёт усилий тяжения кабеля // Журнал «КАБЕЛЬ-news», № 6, 2014, с. 36—38.