

О способах повышения пропускной способности кабелей в трубах

В последние годы в России растет число кабельных линий классов 6–500 кВ, имеющих участки трассы, проложенные в полимерных трубах. Также постепенно увеличивается и протяженность таких участков, достигая 300–500 м, и теперь уже можно встретить линии, где в общей сложности более половины трассы размещено в трубах. Следовательно, особую актуальность приобретают вопросы выбора труб, их влияния на надежность и эффективность кабельных линий.

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

ВВЕДЕНИЕ

Возможности метода горизонтально-направленного бурения (ГНБ) постоянно возрастают и уже позволяют обустроить в грунте трубные участки длиной не только десятки, как это требовалось изначально, а даже сотни метров. Для крупных городов развитие ГНБ и возросшая сложность прокладки кабелей традиционным способом (в траншеях) привели к ожидаемому результату: теперь размещение кабелей в трубах стало использоваться не только локально в местах пересечений с дорогами и коммуникациями, но и как полноправный способ строительства линий.

Рост длин участков трассы, проложенных в трубах, как оказалось, происходит не только в сегменте ГНБ, но и в сегменте обычной траншейной прокладки. Дело в том, что трубы стали восприниматься как недорогая альтернатива железобетонным лоткам на

всем протяжении трассы линии, а также как возможность строительства в несколько этапов, выполняемых с интервалом в несколько месяцев или даже лет.

Например, сложно и дорого подготовить траншею и поддерживать ее длительное время в надлежащем состоянии, ожидая покупки и поставки кабеля на объект. В ситуациях ограниченного финансирования или других причин, не позволяющих сразу после подготовки траншеи оперативно приступить к прокладке кабеля, применение труб позволит выйти из положения. На 1-м этапе в грунте готовится траншея, и на ее дно укладываются трубы с установленными заглушками, траншея засыпается. На 2-м этапе, после оплаты 1-го, приобретения и поставки кабеля на объект, откапываются только лишь торцы труб, снимаются заглушки, протягивается кабель, монтируются муфты, линия сдается в эксплуатацию.

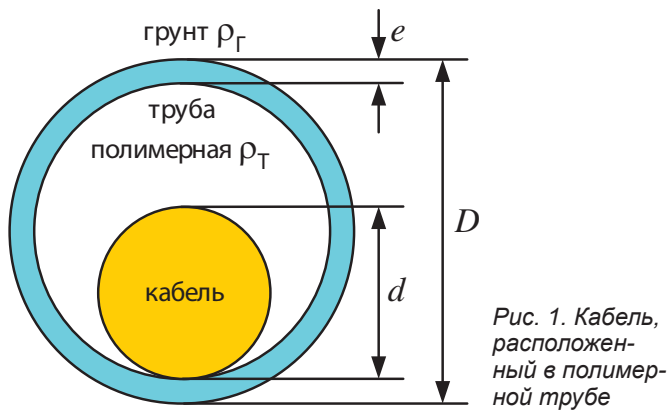


Рис. 1. Кабель, расположенный в полимерной трубе

Возросшая роль труб ставит перед энергетиками целый комплекс задач, среди которых разработка требований к полимерным трубам для прокладки кабельных линий и методам их механического расчета [1, 2 и др.]. Немаловажными также являются вопросы теплового расчета кабельных линий в трубах:

- влияние теплопроводности стенки трубы на допустимый ток жилы кабеля;
- поправочный коэффициент на прокладку в трубах.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ КАБЕЛЯ В ТРУБЕ

На рисунке 1 схематично показан кабель внешнего диаметра d , проложенный в грунте в полимерной трубе, имеющей внешний диаметр D и толщину стенки e . Это может быть как трехфазный кабель, так и однофазный кабель (тогда трехфазная линия имеет сразу три таких трубы с однофазным кабелем в каждой из них).

Например, если речь идет об однофазных кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена, то главными источниками тепловыделения в кабеле являются потери мощности в жиле $P_{ж}$ и экране $P_{э}$. Указанное тепло отводится от кабеля в грунт, для чего оно должно преодолеть цепочку из тепловых сопротивлений R (рисунок 2). Видно, что на пути тепла встают изоляция кабеля (И), оболочка кабеля (О), воздух в трубе (В), полимерная труба (Т), грунт (Г).

Задав температуру грунта равной, скажем, $T_{г} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, с помощью тепловой схемы рис. 2 можно определить потери в жиле $P_{ж}$ и потери в экране $P_{э}$, при которых температура жилы кабеля выйдет на уровень $T_{ж} = 90 \text{ }^{\circ}\text{C}$, считающийся предельно допустимым в нормальном режиме работы для изоляции из сшитого полиэтилена. Далее определяется значение тока жилы кабеля $I_{доп}$, отвечающее потерям $P_{ж}$ и $P_{э}$, и это значение называется длительно допустимым током жилы. Указанная методика расчета отражена в ГОСТ Р МЭК [3].

В схеме рис. 2 величины тепловых сопротивлений зависят от геометрических характеристик рассматриваемой системы, т. е. от внешних и внутренних диаметров изоляции, оболочки, трубы. Также тепловые сопротивления R зависят и от свойств материалов — их удельных тепловых сопротивлений ρ . Значения ρ для

элементов кабеля и для воздуха являются известными параметрами, тогда как значения ρ для трубы и грунта в каждом конкретном случае должны уточняться.

На рисунке 3 в качестве примера представлены расчеты длительного допустимого тока трехфазной кабельной линии 110 кВ, выполненной однофазными кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена, имеющими распространенные в России сечения 1000 мм² медной жилы и 240 мм² медного экрана. Полагаем, что потерь в экранах нет, то есть $P_{э} = 0$ (сделана транспозиция экранов или их одностороннее заземление), а фазы кабеля проложены сомкнутым треугольником.

Считаем, что каждая из трех фаз кабеля 110 кВ проложена в своей трубе с типовыми параметрами: внешний диаметр $D = 225 \text{ мм}$, кольцевая жесткость SN 64 кН/м². При модуле упругости 950 МПа согласно таблице 1 из [2] имеем отношение $D/e = 11,7$ и толщину стенки такой трубы $e = 225/11,7 = 19,2 \text{ мм}$.

В расчетах рисунка 3 варьируется:

- удельное тепловое сопротивление грунта $\rho_{г}$ в диапазоне 1–3 (м·К)/Вт;
- удельное тепловое сопротивление трубы $\rho_{т}$ в диапазоне 0,1–100 (м·К)/Вт.

Согласно графику на рисунке 3, например, в случае прокладки в грунте $\rho_{г} = 1 \text{ (м·К)/Вт}$ полимерных труб, обладающих $\rho_{т} = 3 \text{ (м·К)/Вт}$, допустимый ток кабеля составляет $I_{доп} = 1000 \text{ А}$.

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ СТЕНКИ ТРУБЫ

Зависимости, изображенные на рисунке 3, наглядно показывают, что для увеличения допустимого тока $I_{доп}$ кабельной линии следует стараться обеспечить $\rho_{г} \rightarrow 0$ и/или $\rho_{т} \rightarrow 0$. Так, в частности, переход от асбестовых труб $\rho_{т} = 10$ к полимерным трубам, сделанным из полиэтилена низкого давления (ПНД) и имеющим

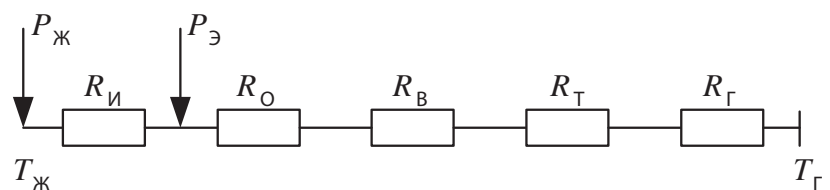


Рис. 2. Тепловая схема замещения кабельной линии в трубе

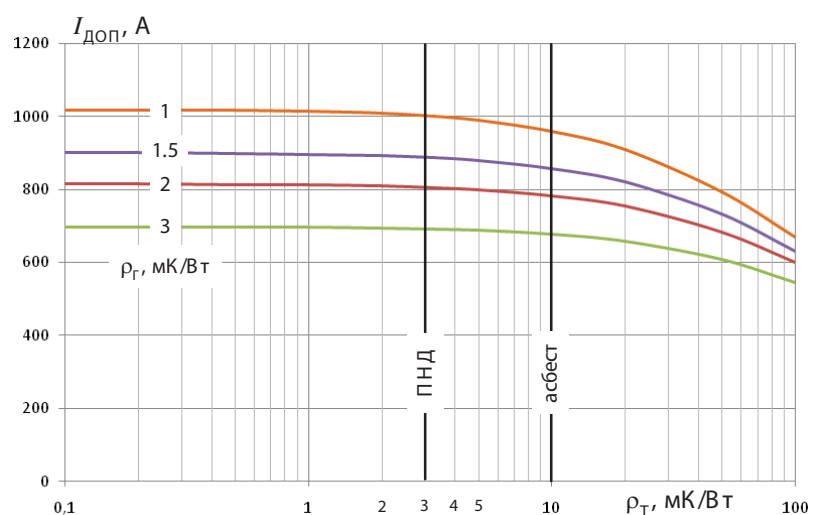


Рис. 3. Допустимый ток кабельной линии 110 кВ в зависимости от удельного теплового сопротивления трубы (Т) и грунта (Г)

меньшее удельное тепловое сопротивление стенки $\rho_T = 3$, привел к росту допустимого тока кабелей на 2–4%.

В настоящее время пришло понимание, что ПНД нельзя использовать при строительстве кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтилена, и на место ПНД пришли специальные термостойкие негорючие кабельные полимерные трубы [1]. Производители таких труб в качестве одного из дополнительных аргументов в пользу своей продукции сообщают, что их трубы обладают удельным тепловым сопротивлением стенки $\rho_T \leq 3$, т.е. дают повышение допустимого тока кабелей в сравнении со случаями ПНД и асбеста.

На самом деле, как следует из теплового расчета рисунка 3, в диапазоне $\rho_T \leq 3$ удельное тепловое сопротивление уже практически никак не влияет на допустимый ток линии $I_{\text{доп}}$. Это происходит потому, что в тепловой схеме на рисунке 2 при $\rho_T \leq 3$ значение теплового сопротивления стенки трубы R_T оказывается ничтожно малым на фоне других тепловых сопротивлений, остающихся неизменными.

Хочется обратить внимание, что согласно ГОСТ [4] и другим документам, при определении удельного теплового сопротивления следует указывать температуру, при которой проводятся замеры. Так, для силовых кабелей 6–500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена удельное сопротивление труб ρ_T интересно лишь при рабочих температурах 60–90 °С. Исследования показывают, что при таких температурах для полимерных труб сложно достичь уровня $\rho_T \leq 2 \div 3$, и по этой причине некоторые производители начинают хитрить, декларируя, например, нетиповое значение $\rho_T = 1$, но скрывая значение отвечающей ему температуры, нигде его не указывая.

Несмотря на отсутствие какой-либо необходимости в борьбе за $\rho_T \rightarrow 0$ и достаточность $\rho_T = 2 \div 3$, есть производители, которые продолжают эту бесполезную гонку, отвлекая внимание энергетиков от настоящего проблемных вопросов прокладки кабелей в трубах, среди которых, например:

- недопустимость использования труб, имеющих в своем составе ПНД;
- необходимость создания методики, позволяющей в полевых условиях на объекте определить, не поставлены ли обычные ПНД трубы, окрашенные в красный цвет;
- недопустимость прокладки высоковольтных силовых кабелей 6–500 кВ в трубах, соответствующих ГОСТ Р МЭК 61386-2014 «Трубные системы для прокладки кабелей» (этот ГОСТ имеет область действия, распространяющуюся исключительно на низковольтные сети до 1 кВ).

ПОПРАВочный КОЭФФИЦИЕНТ НА ПРОКЛАДКУ В ТРУБАХ


Согласно каталогам кабельных заводов при прокладке кабеля 6–500 кВ в трубе допустимый ток линии снижается на 10% относительно случая прокладки прямо в грунте. Таким образом, при проектировании кабелей в трубах проектировщикам рекомендуется использовать поправочный коэффициент

0,9. К сожалению, расчеты показывают, что данная цифра является настолько усредненной, что ее применение никак не может быть рекомендовано.

В статье [5] после выполнения серии расчетов на примере кабеля 110 кВ 1000/240 мм² было выявлено, что замена традиционной прокладки в открытом грунте на трубную при определенных условиях не только не снижает пропускную способность линии, а даже наоборот способна вызвать ее повышение вплоть до 5–15%. Эффект роста допустимого тока связан с тем, что при больших диаметрах труб они получают значительную площадь контакта с грунтом и хорошо охлаждаются. Иными словами, в тепловой схеме на рисунке 2 появление труб приводит к необходимости учета сопротивлений R_B и R_T , но иногда в гораздо большей мере оно способствует снижению R_r , что в итоге и вызывает снижение общего суммарного теплового сопротивления схемы, улучшение охлаждения жил кабеля, рост допустимого тока.

Особенно заметным рост допустимого тока кабеля оказывается тогда, когда при выборе внешнего диаметра труб отходят от описанного в [2] традиционного правила $D/d \geq 1,5$ (рисунок 1), используя вместо него правило $D/d \geq 2 \div 3$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Прокладка кабельных линий в полимерных трубах может не только снижать, но и повышать допустимый ток для жилы кабеля. В общем случае использование поправочного коэффициента 0,9 на прокладку в трубах является неверным.
2. Использование полимерных труб с удельным тепловым сопротивлением менее 2–3 (м·К)/Вт не изменяет допустимого тока жилы кабельной линии.
3. Появление в кабельных сетях труб с тепловыми сопротивлениями 0,1–1 (м·К)/Вт или, соответственно, с теплопроводностью 1–10 Вт/(м·К) не имеет ничего общего с потребностями энергетики.
4. Для повышения допустимого тока жилы кабеля, проложенного в полимерной трубе, в настоящее время есть лишь два основных способа: это или применять трубы увеличенного диаметра, или предусматривать контролируемое заполнение труб водой (без частиц грунта, так как они могут вызвать заиливание кабеля). 

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев М.В. Полимерная труба как важнейший элемент кабельной системы 6–500 кВ // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ: Передача и распределение, 2015, № 6(33). С. 78–83.
2. Дмитриев М.В. Механический расчет полимерных труб // ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение, 2016, № 3(36). С. 70–75.
3. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009. Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки.
4. ГОСТ 23630.2-79. Пластмассы. Метод определения теплопроводности.
5. Дмитриев М.В. Кабельные линии, проложенные в полимерных трубах 6–500 кВ. Тепловой расчет // Новости электротехники, 2015, № 5(95). С. 32–34.