ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ
«РОССИЙСКИЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ»
(ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ «АВТОДОР»)

Страстной б-р, д. 9, Москва, 127006
тел.: (495) 727-11-95, факс: (495) 249-07-72
e-mail: info@ruhw.ru
www.ruhw.ru

24.09.2021 № 26726-ЗИ

на № от

Директору по развитию
ООО «Энерготэк»

А.А. Силаеву

192007, г. Санкт-Петербург, Лиговский проспект, 140 А

Уважаемый Александр Алексеевич!

Рассмотрев материалы, представленные письмом от 07.09.2021 № 271, продлеваем согласование стандарта организации ООО «Энерготэк» СТО 34311042-0001-2019 «Трубы защитные ПРОТЕКТОРФЛЕКС из полимерной композиции повышенной термостойкости для прокладки электрических кабелей. Описание и методика расчета» (далее – СТО) для добровольного применения на объектах Государственной компании сроком на три года с даты настоящего согласования.

Ежегодно в наш адрес необходимо направлять аналитический отчет с результатами мониторинга и оценкой применения изделий в соответствии с требованиями согласованного СТО на объектах Государственной компании и прочих объектах.

Контактное лицо: заместитель директора Департамента проектирования, технической политики и инновационных технологий Ильин Сергей Владимирович, тел. (495) 727-11-95, доб. 33-07, e-mail: S.Iliyn@russianhighways.ru.

Заместитель председателя
правления по земельным и
имущественным отношениям Д.С. Иванов

Каменева Виктория Андреевна
Тел. (495) 727-1195, доб. 31-44
v.kameneva@russianhighways.ru

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ЭНЕРГОТЭК»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СТО 34311042-0001-2019

ТРУБЫ ЗАЩИТНЫЕ «ПРОТЕКТОРФЛЕКС» ИЗ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

ОПИСАНИЕ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

Издание официальное

Санкт-Петербург

2019

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ЭНЕРГОТЭК»

СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ООО «ЭнергоТэк»

_____Д.В. Кулешов

«14» ноября 2019 г.

ТРУБЫ ЗАЩИТНЫЕ «ПРОТЕКТОРФЛЕКС» ИЗ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

ОПИСАНИЕ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

СТО 34311042-0001-2019

Дата введения: 15 ноября 2019 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий стандарт разработан в соответствии с требованиями ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

1 РАЗРАБОТАН ООО «ЭНЕРГОТЭК»

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ ООО «ЭНЕРГОТЭК»

3 ВЗАМЕН СТО 34311042-0001-2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ 5

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ 6

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 7

4 КОНСТРУКЦИЯ И РАЗМЕРЫ 7

4.1 Конструкция и описание каждого типа труб 7

4.2 Классификация и основные размеры труб 19

ПРИЛОЖЕНИЕ А 28

ПРИЛОЖЕНИЕ Б 31

ПРИЛОЖЕНИЕ В 34

ПРИЛОЖЕНИЕ Г 36

ПРИЛОЖЕНИЕ Д 38

ПРИЛОЖЕНИЕ Е 41

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж 49

ПРИЛОЖЕНИЕ З 59

ПРИЛОЖЕНИЕ И 60

Библиография 72

Стандарт организации ООО «ЭнергоТэк»

ТРУБЫ ЗАЩИТНЫЕ «ПРОТЕКТОРФЛЕКС» ИЗ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

ОПИСАНИЕ И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 Настоящий стандарт организации распространяется на трубы, изготовленные из полимерной композиции повышенной термостойкости в соответствии с [1], предназначенные для прокладки и защиты силовых кабельных линий напряжением до 500 кВ, эксплуатируемых при температуре от минус 70 °С до плюс 110 °С, а также на методики теплового и механического расчетов данных труб.

1.2 Технические требования к трубам, сырью и материалам, требования к упаковке, маркировке, требования безопасности и охраны окружающей среды, правила приемки, методы контроля, требования к транспортированию и хранению, гарантии изготовителя приведены в [1].

1.3 Трубы изготавливаются 4-х типов. Описание и основные параметры каждого типа труб указаны в разделе 4 настоящего стандарта организации.

1.4 Система обозначений труб приведена в приложении А настоящего стандарта организации.

1.5 Методики расчетов труб приведены в приложениях Д, Е, Ж, З, И настоящего стандарта организации.

1.6 Прокладка труб может выполняться во всех типах грунтов, с учетом требований [1] и требований безопасности. Трубы устойчивы к воздействию воды, морской воды, кислот, масел, к загрязнениям и примесям, находящимся в структуре естественных грунтов.

1.7 Трубы исполнения ОМП обладают свойством токопоисковости, обеспечивающим возможность установить факт и определить место повреждения оболочки кабеля как в процессе приемо-сдаточных и периодических испытаний кабельной линии в рамках плановых работ, так и при проведении испытаний в рамках аварийно-восстановительных работ.

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие межгосударственные документы:

ГОСТ Р 1.4-2004 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения

ГОСТ 32415-2013 Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия

ГОСТ ИСО 161-1-2004 Трубы из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Номинальные наружные диаметры и номинальные давления. Метрическая серия

ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2009 Кабели электрические. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Уравнения для расчета номинальной токовой нагрузки (100 %-ный коэффициент нагрузки) и расчет потерь. Общие положения

СП 40-102-2000 Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования

СП 42-101-2003 Свод правил по проектированию и строительству. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб

СТО НОСТРОЙ 2.27.17-2011 Освоение подземного пространства. Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения

Примечание - При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов на территории государства по соответствующему указателю стандартов, составленному на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем стандарте организации применены термины с соответствующими определениями по ГОСТ 32415 и ГОСТ 24888.

4 КОНСТРУКЦИЯ И РАЗМЕРЫ

Конструкция и размеры труб указаны на рисунках 1 – 8 и в таблицах 1 - 4.

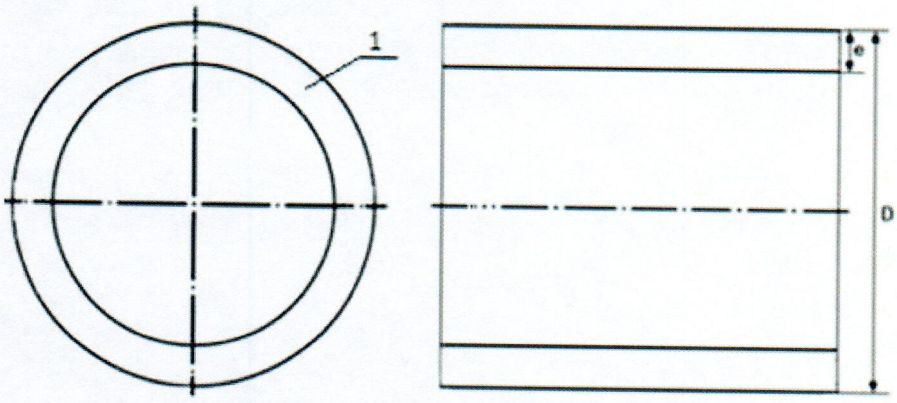
4.1 Конструкция и описание каждого типа труб

4.1.1 Труба тип 1 наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ

Область применения: Применяется при сооружении силовых кабельных линий напряжением до 500 кВ и для обеспечения их защиты. Предназначена для прокладки: в грунте закрытым способом (методом горизонтально-направленного бурения); в грунте открытым способом (в предварительно подготовленную траншею). Труба тип 1 исполнение 3 (п.4.1.1.3) обладает свойством токопоисковости, обеспечивающим возможность установить факт и определить место повреждения оболочки кабеля как в процессе приемо-сдаточных и периодических испытаний кабельной линии в рамках плановых работ, так и при проведении испытаний в рамках аварийно-восстановительных работ.

Труба тип 1 производится в трех исполнениях:

4.1.1.1 Труба тип 1 исполнение 1 (рис. 1) наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ. Однослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости. Номинальный наружный диаметр от 63 до 90 мм включительно.



1 – основной слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

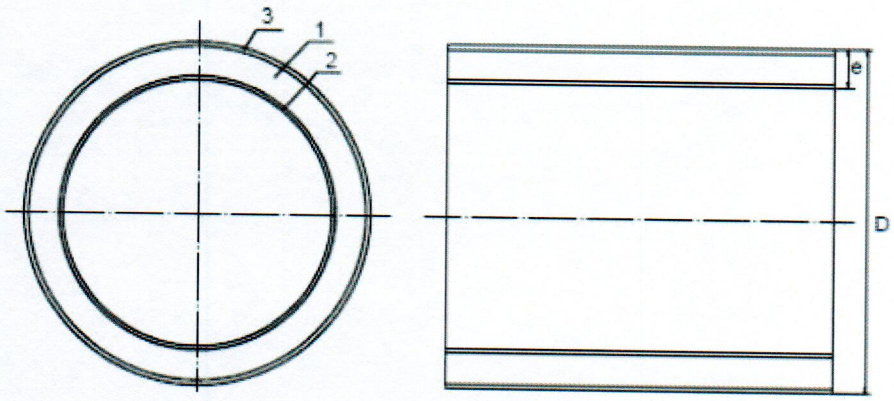
Рисунок 1 – Труба тип 1 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ). Исполнение 1

4.1.1.1.1 Основной слой (1) красного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

- механических: стойкости к растяжению при монтаже методом ГНБ; стойкости к деформации в процессе эксплуатации кабельной линии;
- повышенной термостойкости для предотвращения деформации и сохранения характеристик трубы (отсутствия термодеструкции) при температурах эксплуатации, которые могут достигать 95°С;
- повышенной теплопроводности для отвода тепла от кабельной линии в окружающий ее грунт;
- отсутствие адгезии материала оболочки кабеля к внутренней поверхности трубы при температурах эксплуатации и при перегреве кабеля в случае аварии;
- пониженного коэффициента трения внутренней поверхности трубы для облегчения процесса тяжения кабеля в трубе.

4.1.1.1.2 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.1.2 Труба тип 1 исполнение 2 (рис. 2) наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ. Многослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости с внешним сигнальным слоем. Номинальный наружный диаметр от 110 до 630 мм включительно.



1 – основной слой трубы; 2 – внутренний слой трубы; 3 – наружный слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 2 - Труба тип 1 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ). Исполнение 2

Труба тип 1 исполнение 2 состоит из 3-х слоев, показанных на рисунке 2:

4.1.1.2.1 Основной слой (1) бесцветный обеспечивает придание трубе следующих

свойств:

– механических: стойкости к растяжению при монтаже методом ГНБ; стойкости к деформации в процессе эксплуатации кабельной линии;

– повышенной термостойкости для предотвращения деформации и сохранения характеристик трубы (отсутствия термодеструкции) при температурах эксплуатации, которые могут достигать 95°С;

– повышенной теплопроводности для отвода тепла от кабельной линии в окружающий ее грунт;

4.1.1.2.2 Внутренний слой (2) черного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

– отсутствия адгезии материала оболочки кабеля к внутренней поверхности трубы при температурах эксплуатации и при перегреве кабеля в случае аварии;

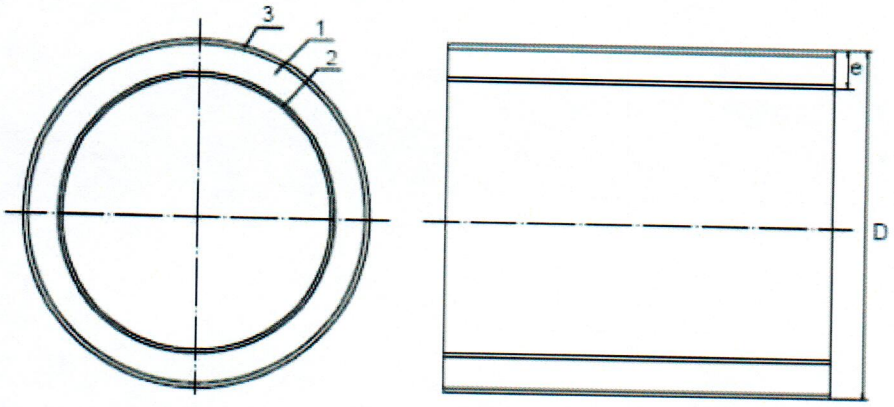
– пониженного коэффициента трения внутренней поверхности трубы для облегчения процесса тяжения кабеля внутри трубы.

– толщина слоя составляет не менее 10% от толщины стенки трубы е.

4.1.1.2.3 Наружный сигнальный слой (3) красного цвета предназначен для обозначения проложенной в грунте кабельной линии. Обладает всеми свойствами, характерными для основного слоя трубы (1). Толщина слоя составляет не менее 10% от толщины стенки трубы е.

4.1.1.2.4 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.1.3 Труба тип 1 исполнение 3 (рис. 3) наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ-ОМП. Многослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости с внешним сигнальным слоем, обладающая свойством токопоисковости. Номинальный наружный диаметр от 110 до 630 мм включительно.



1 – основной слой трубы; 2 – внутренний слой трубы; 3 – наружный слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 3 - Труба тип 1 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ-ОМП). Исполнение 3

Труба тип 1 исполнение 3 состоит из 3-х слоев, показанных на рисунке 3:

4.1.1.3.1 Основной слой (1) бесцветного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

- механических: стойкости к растяжению при монтаже методом ГНБ; стойкости к деформации в процессе эксплуатации кабельной линии;

- повышенной термостойкости для предотвращения деформации и сохранения характеристик трубы (отсутствия термодеструкции) при температурах эксплуатации, которые могут достигать 95°С;

- повышенной теплопроводности для отвода тепла от кабельной линии в окружающий ее грунт.

4.1.1.3.2 Внутренний слой (2) черного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

- отсутствия адгезии материала оболочки кабеля к внутренней поверхности трубы при температурах эксплуатации и при перегреве кабеля в случае;

- пониженного коэффициента трения внутренней поверхности трубы для облегчения процесса тяжения кабеля внутри трубы;

- толщина слоя составляет не менее 10% от толщины стенки трубы e.

4.1.1.3.3 Наружный сигнальный слой (3) красного цвета предназначен для обозначения проложенной в грунте кабельной линии. Обладает всеми свойствами, характерными для основного слоя трубы (1). Толщина слоя составляет не менее 10% от толщины стенки трубы e.

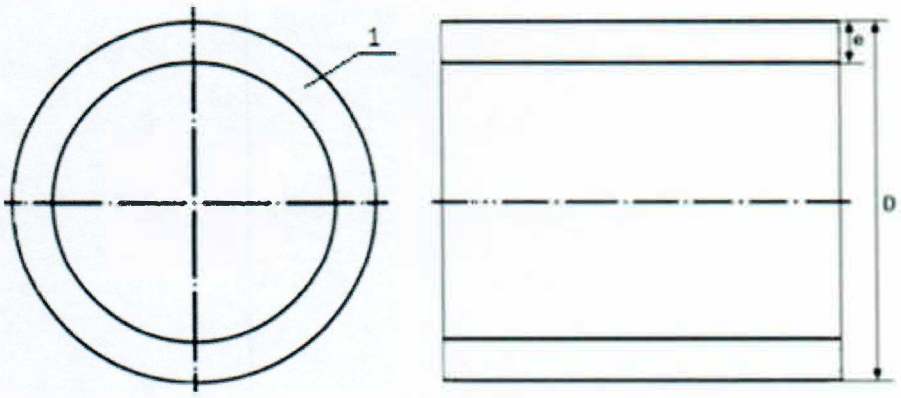
4.1.1.3.4 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.2 Труба тип 2 – труба наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК

Область применения: Применяется при сооружении силовых кабельных линий напряжением до 500 кВ и для обеспечения их защиты. Предназначена для прокладки: в грунте закрытым способом (методом горизонтально-направленного бурения); в грунте открытым способом (в предварительно подготовленную траншею). Труба тип 2 исполне-ние 3 (п. 4.1.2.3) обладает свойством токопоисковости, обеспечивающим возможность установить факт и определить место повреждения оболочки кабеля как в процессе при-емо-сдаточных и периодических испытаний кабельной линии в рамках плановых работ, так и при проведении испытаний в рамках аварийно-восстановительных работ.

Труба тип 2 производится в трёх исполнениях:

4.1.2.1 Труба тип 2 исполнение 1 (рис. 4) наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК. Однослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости, обладающая стойкостью к воздействию открытого пламени категории ПВ-0. Номинальный наружный диаметр от 63 до 90 мм включительно.



1 – основной слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 4 – Труба тип 2 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК). Исполнение 1

4.1.2.1.1 Основной слой (1) красного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

– механических: стойкости к растяжению при монтаже методом ГНБ; стойкости к деформации в процессе эксплуатации кабельной линии;

– повышенной термостойкости для предотвращения деформации и сохранения характеристик трубы (отсутствия термодеструкции) при температурах эксплуатации, которые могут достигать 95°С;

– повышенной теплопроводности для отвода тепла от кабельной линии в окружающий ее грунт.

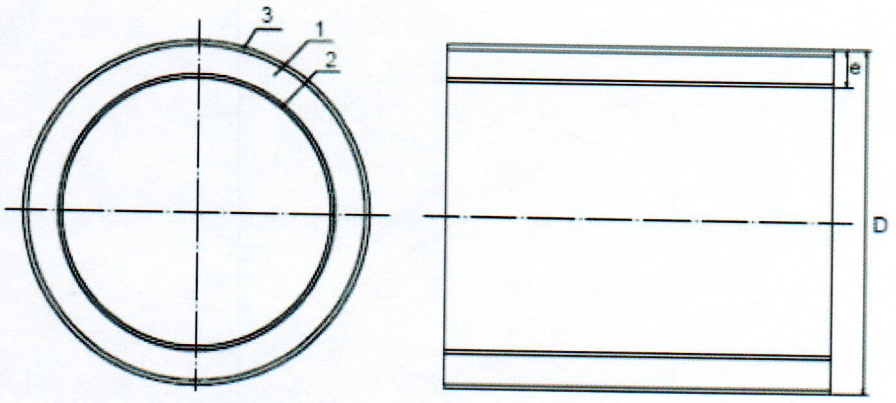
– стойкости к воздействию открытого пламени категории ПВ-0;

– пониженного коэффициента трения внутренней поверхности трубы для облегчения процесса тяжения кабеля в трубе.

– отсутствие адгезии материала оболочки кабеля к внутренней поверхности трубы при температурах эксплуатации и при перегреве кабеля в случае.

4.1.3.1.2 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.2.2 Труба тип 2 исполнение 2 (рис. 5) наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК. Многослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости, обладающая стойкостью к воздействию открытого пламени категории ПВ-0. Номинальный наружный диаметр от 110 до 630 мм включительно.



1 – основной слой трубы; 2 – внутренний слой трубы; 3 – наружный слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 5 - Труба тип 2 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК). Исполнение 2

Труба тип 2 исполнение 2 состоит из 3-х слоев, показанных на рисунке 5:

4.1.2.2.1 Основной слой трубы (1) бесцветный соответствует по своему составу и

назначению слою 1 трубы типа 1 исполнение 2 (см. п. 4.1.1.2.1).

4.1.2.2.2 Внутренний слой (2) черного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

– стойкости к воздействию открытого пламени категории ПВ-0;

– пониженного коэффициента трения внутренней поверхности трубы для облегчения процесса тяжения кабеля внутри трубы;

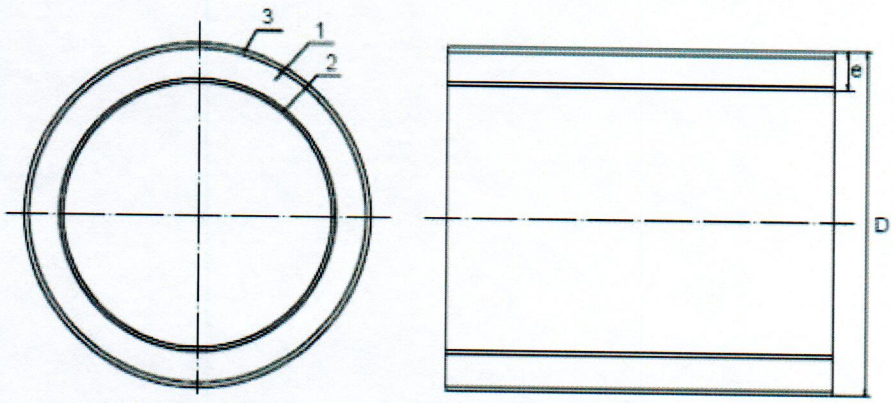
– отсутствия адгезии материала оболочки кабеля к внутренней поверхности трубы при температурах эксплуатации и при перегреве кабеля в случае;

– толщина слоя составляет не менее 10% от толщины стенки трубы e;

4.1.2.2.3 Наружный сигнальный слой (3) соответствует по своему составу и назначению слою 3 трубы типа 1 исполнение 2 (см. п. 4.1.1.2.3).

4.1.2.2.4 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.2.3 Труба тип 2 исполнение 3 (рис. 6) – наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК-ОМП. Многослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости, обладающая стойкостью к воздействию открытого пламени категории ПВ-0, а также свойством токопоисковости. Номинальный наружный диаметр от 110 до 630 мм включительно.



1 – основной слой трубы; 2 – внутренний слой трубы; 3 – наружный слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 6 - Труба тип 2 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК-ОМП). Исполнение 3

Труба тип 2 исполнение 3 состоит из 3-х слоев, показанных на рисунке 6:

4.1.2.3.1 Основной слой трубы (1) бесцветный соответствует по своему составу и

назначению слою 1 трубы типа 1 исполнение 2 (см. п. 4.1.1.2.1).

4.1.2.3.2 Внутренний слой (2) черного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

– стойкости к воздействию открытого пламени категории ПВ-0;

– пониженного коэффициента трения внутренней поверхности трубы для облегчения процесса тяжения кабеля внутри трубы;

– отсутствия адгезии материала оболочки кабеля к внутренней поверхности трубы при температурах эксплуатации и при перегреве кабеля в случае;

– толщина слоя составляет не менее 10% от толщины стенки трубы e.

Наружный сигнальный слой (3) красного цвета соответствует по своему составу и назначению слою 3 трубы типа 1 исполнение 2 (см. п. 4.1.1.2.3).

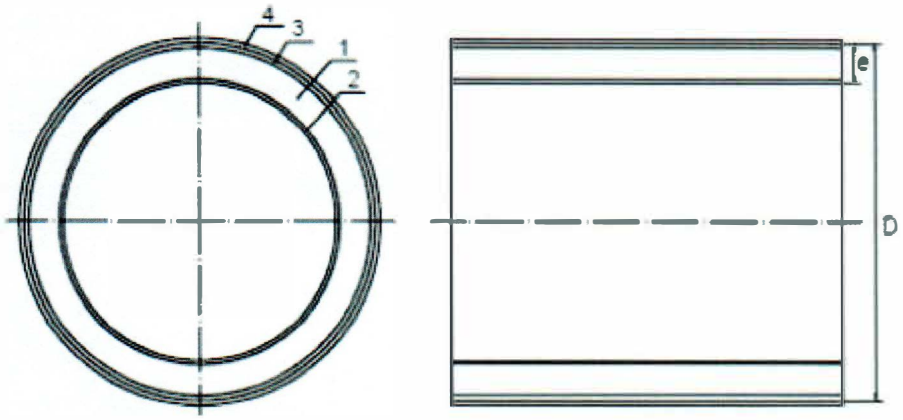
4.1.2.3.3 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.3 Труба тип 3 – наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО

Область применения: Применяется при сооружении силовых кабельных линий напряжением до 500 кВ и для обеспечения их защиты. Предназначены для прокладки по трассам сложной конфигурации и при прокладке в тяжелых условиях (скальные грунты, грунты с включениями искусственного происхождения). Также рекомендуются при строительстве протяженных ГНБ каналов (более 200 м). Труба тип 4 исполнение 2 (п. 4.1.3.2) обладает свойством токопоисковости, обеспечивающим возможность установить факт и определить место повреждения оболочки кабеля как в процессе приемо-сдаточных и периодических испытаний кабельной линии в рамках плановых работ, так и при проведении испытаний в рамках аварийно-восстановительных работ.

Труба тип 3 производится в двух исполнениях:

4.1.3.1 Труба тип 3 исполнение 1 (рис. 7) – наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО. Многослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости с внешним сигнальным слоем повышенной прочности и дополнительным маркерным слоем, обладающая стойкостью к воздействию открытого пламени категории ПВ-0. Номинальный наружный диаметр от 110 до 630 мм включительно.



1 – основной слой трубы; 2 – внутренний трубы; 3 – дополнительный слой трубы; 4 – наружный слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 7 - Труба тип 3 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО). Исполнение 1

Труба тип 3 исполнение 1 состоит из 4-х слоев, показанных на рисунке 7:

4.1.3.1.1 Основной слой (1) бесцветный обеспечивает придание трубе следующих свойств:

- механических: стойкости к растяжению при монтаже методом горизонтально-направленного бурения методом ГНБ; стойкости к деформации в процессе эксплуатации кабельной линии;
- повышенной термостойкости для предотвращения деформации и сохранения характеристик трубы (отсутствия термодеструкции) при температурах эксплуатации, которые могут достигать 110 °С;

4.1.3.1.2 повышенной теплопроводности для отвода тепла от кабельной линии в окружающий ее грунт.

4.1.3.1.3 Внутренний слой (2) черного цвета соответствует по своему составу и назначению слою 2 трубы типа 2 исполнение 2 (см. п. 4.1.2.2.2).

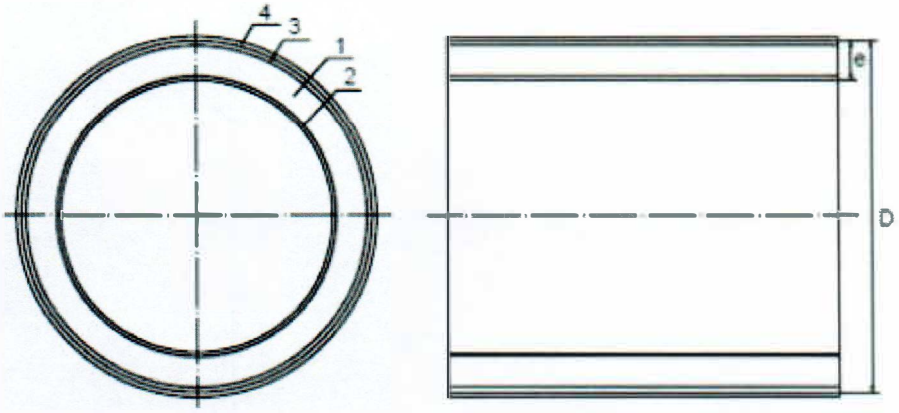
4.1.3.1.4 Маркерный слой (3) черного цвета, расположенный между основным и наружным слоями, предназначен для визуального определения степени повреждения трубы после ее прокладки. Обладает всеми свойствами, характерными для основного слоя трубы.

4.1.3.1.5 Наружный защитный сигнальный слой трубы (4) красного цвета предназначен для обозначения проложенной в грунте кабельной линии. Обладает повышенной

твердостью и предназначен для защиты основных слоев от повреждения в процессе протяжки в грунте. Толщина слоя составляет не менее 10% от толщины стенки трубы e.

4.1.3.1.6 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.3.2 Труба тип 3 исполнение 2 (рис. 8) наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО-ОМП. Многослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости с внешним сигнальным слоем повышенной прочности и дополнительным маркерным слоем, обладающая стойкостью к воздействию открытого пламени категории ПВ-0, а также свойством токопоисковости. Номинальный наружный диаметр от 110 до 630 мм включительно.



1 – основной слой трубы; 2 – внутренний трубы; 3 – дополнительный слой трубы; 4 – наружный слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 8 - Труба тип 3 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО-ОМП). Исполнение 2

Труба тип 3 исполнение 2 состоит из 4-х слоев, показанных на рисунке 8:

4.1.3.2.1 Основной слой (1) бесцветный соответствует по своему составу и назначению слою 1 трубы типа 2 исполнение 1 (см. п. 4.1.3.1.1).

4.1.3.2.2 Внутренний слой (2) черного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

- стойкости к воздействию открытого пламени категории ПВ-0;
- пониженного коэффициента трения внутренней поверхности трубы для облегчения процесса тяжения кабеля внутри трубы;
- отсутствия адгезии материала оболочки кабеля к внутренней поверхности трубы

при температурах эксплуатации и при перегреве кабеля в случае.

4.1.3.2.3 Маркерный слой (3) черного цвета, расположенный между основным и наружным слоями, предназначен для визуального определения степени повреждения трубы после ее прокладки. Обладает всеми свойствами, характерными для основного слоя трубы. соответствует по своему составу и назначению слою 3 трубы тип 3 исполнение 1 (см. п. 4.1.3.1.4).

4.1.3.2.4 Наружный защитный сигнальный слой трубы (4) красного цвета соответствует по своему составу и назначению слою 4 трубы тип 3 исполнение 1 (см. п. 4.1.3.1.5).

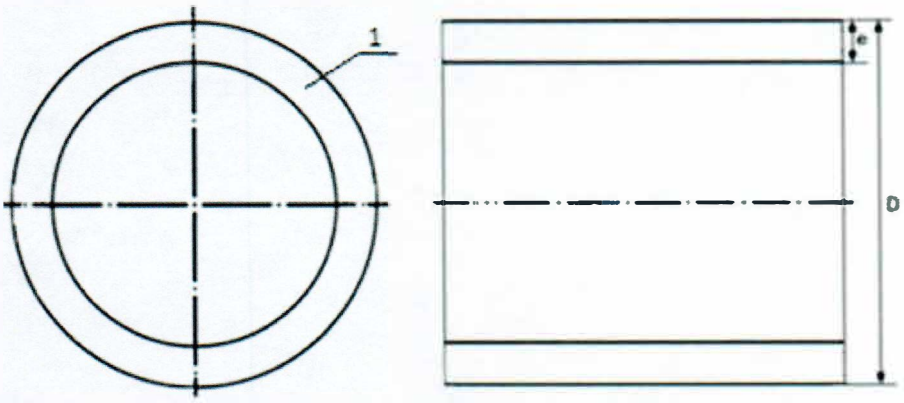
4.1.3.2.5 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.4 Труба тип 4 – труба наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС НГ

Область применения: применяется при сооружении силовых кабельных линий напряжением до 500 кВ и для обеспечения их защиты. Предназначены для прокладки открытым способом на воздухе по мостам, виадукам, путепроводам.

Труба тип 4 производится в двух исполнениях:

4.1.4.1 Труба тип 4 исполнение 1 (рис. 9) наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС НГ. Однослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости, обладающая стойкостью к воздействию открытого пламени категории ПВ-0, а также стойкостью к УФ-излучению. Номинальный наружный диаметр от 32 до 90 мм включительно.



1 – основной слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 9 – Труба тип 4 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС НГ). Исполнение 1

4.1.4.1.1 Основной слой (1) красного цвета обеспечивает придание трубе следующих свойств:

– механических: стойкости к растяжению; стойкости к деформации в процессе эксплуатации кабельной линии;

– повышенной термостойкости для предотвращения деформации и сохранения характеристик трубы (отсутствия термодеструкции) при температурах эксплуатации, которые могут достигать 95°С;

– повышенной теплопроводности для отвода тепла от кабельной линии;

– стойкости к воздействию открытого пламени категории ПВ-0;

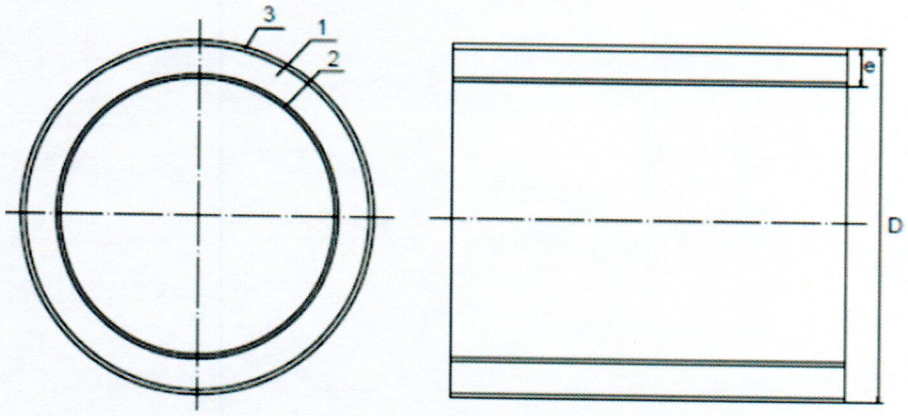
– стойкость к воздействию ультрафиолетового излучения;

– пониженного коэффициента трения внутренней поверхности трубы для облегчения процесса тяжения кабеля в трубе.

– отсутствие адгезии материала оболочки кабеля к внутренней поверхности трубы при температурах эксплуатации и при перегреве кабеля в случае аварии.

4.1.4.1.2 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.1.4.2 Труба тип 4 исполнение 2 (рис. 10) наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС НГ. Многослойная защитная из полимерной композиции повышенной термостойкости с внешним сигнальным слоем, обладающая стойкостью к воздействию открытого пламени категории ПВ-0, а также стойкостью к УФ-излучению. Номинальный наружный диаметр от 110 до 630 мм включительно.



1 – основной слой трубы; 2 – внутренний слой трубы; 3 – наружный слой трубы; e – толщина стенки трубы, мм; D – наружный диаметр трубы, мм.

Рисунок 10 – Труба тип 4 (ПРОТЕКТОРФЛЕКС НГ). Исполнение 2

Труба тип 4 исполнение 2 состоит из 3-х слоев, показанных на рисунке 10:

4.1.4.2.1 Основной слой (1) бесцветного цвета соответствует по своему составу и назначению слою 1 трубы типа 1 исполнение 2 (см. п. 4.1.1.2.1).

4.1.4.2.2 Внутренний слой трубы (2) черного цвета соответствует по своему составу и назначению слою 2 трубы типа 2 исполнение 2 (см. п. 4.1.2.2.2).

4.1.4.2.3 Наружный защитный сигнальный слой трубы (4) белого цвета, предназначен для обозначения проложенной по конструкциям кабельной линии. Обладает свойством стойкости к воздействию открытого пламени категории ПВ-0 и стойкости к воздействию ультрафиолетового излучения.

4.1.4.2.4 По согласованию с клиентом допускается производство труб иного цветового исполнения.

4.2 Классификация и основные размеры труб

Классификация труб производится по значению кольцевой жесткости SN.

Значения наружного диаметра и толщины стенки в зависимости от кольцевой жесткости труб приведены в таблице 1.

Значения овальности и предельных допустимых отклонений наружного диаметра труб приведены в таблице 2.

Предельные допустимые отклонения толщины стенки труб приведены в таблице 3.

Таблица 1 - Значения наружного диаметра и толщины стенки в зависимости от кольцевой жесткости труб

В миллиметрах

Наружный диаметр D	Кольцевая жесткость SN, кН/м²						
	4	6	8	12	16	24	32
	Номинальная толщина стенки e						
63	2,2	2,6	2,8	3,2	3,5	4,0	4,3
75	2,7	3,0	3,3	3,8	4,2	4,7	5,2
90	3,2	3,7	4,0	4,6	5,0	5,7	6,2
110	3,9	4,5	4,9	5,6	6,1	6,9	7,6
125	4,5	5,1	5,6	6,3	6,9	7,9	8,6
140	5,0	5,7	6,2	7,1	7,8	8,8	9,6
160	5,7	6,5	7,1	8,1	8,9	10,1	11,0
180	6,4	7,3	8,0	9,1	10,0	11,3	12,4
200	7,1	8,1	8,9	10,1	11,1	12,6	13,8
225	8,0	9,1	10,0	11,4	12,5	14,2	15,5
250	8,9	10,2	11,1	12,7	13,9	15,7	17,2
280	10,0	11,4	12,5	14,2	15,5	17,6	19,3
315	11,2	12,8	14,0	15,9	17,5	19,8	21,7
355	12,7	14,4	15,8	18,0	19,7	22,3	24,4
400	14,3	16,2	17,8	20,2	22,2	25,2	27,5
450	16,0	18,3	20,0	22,8	24,9	28,3	31,0
500	17,8	20,3	22,3	25,3	27,7	31,5	34,4
560	20,0	22,7	24,9	28,3	31,0	35,3	38,6
630	22,5	25,6	28,0	31,9	34,9	39,7	43,4

Окончание таблицы 1

В миллиметрах

Наружный диаметр D	Кольцевая жесткость SN, кН/м²					
	48	64	96	128	192	256
	Номинальная толщина стенки e					
32	2,5	2,7	3,1	3,4	3,8	4,1
40	3,1	3,4	3,9	4,2	4,7	5,2
50	3,9	4,3	4,8	5,3	5,9	6,4
63	4,9	5,4	6,1	6,6	7,5	8,1
75	5,9	6,4	7,2	7,9	8,9	9,7
90	7,0	7,7	8,7	9,5	10,7	11,6
110	8,6	9,4	10,6	11,6	13,0	14,2
125	9,8	10,7	12,0	13,1	14,8	16,1
140	10,9	11,9	13,5	14,7	16,6	18,0
160	12,5	13,6	15,4	16,8	19,0	20,6
180	14,0	15,3	17,3	18,9	21,3	23,2
200	15,6	17,0	19,3	21,0	23,7	25,8
225	17,6	19,2	21,7	23,6	26,6	29,0
250	19,5	21,3	24,1	26,3	29,6	32,2
280	21,8	23,9	27,0	29,4	33,2	36,1
315	24,6	26,8	30,4	33,1	37,3	40,6
355	27,7	30,3	34,2	37,3	42,0	45,7
400	31,2	34,1	38,5	42,0	47,4	51,5
450	35,1	38,3	43,4	47,3	53,3	58,0
500	39,0	42,6	48,2	52,5	59,2	64,4
560	43,7	47,7	54,0	58,8	66,3	72,1
630	49,2	53,7	60,7	66,2	74,6	81,2

Таблица 2 - Значения овальности и предельных допустимых отклонений наружного диаметра труб

В миллиметрах

Наружный диаметр *D*		Овальность
номинал	предельное отклонение	
63	+ 0,6	1,6
75	+ 0,7	1,6
90	+ 0,9	1,8
110	+ 1,0	2,2
125	+ 1,2	2,5
140	+ 1,3	2,8
160	+ 1,5	3,2
180	+ 1,7	3,6
200	+ 1,8	4,0
225	+ 2,1	4,5
250	+ 2,3	5,0
280	+ 2,5	9,8
315	+ 2,8	11,1
355	+ 3,2	12,5
400	+ 3,6	14,0
450	+ 3,8	15,6
500	+ 4,0	17,5
560	+ 4,3	19,6
630	+ 4,6	22,1

Таблица 3 - Значения предельных допустимых отклонений толщины стенки труб

В миллиметрах

Номинальная толщина стенки *e*		Предельное отклонение толщины стенки
>	≤	
2,1	3,0	+ 0,5
3,1	4,0	+ 0,6
4,1	5,0	+ 0,7
5,1	6,0	+ 0,8
6,1	7,0	+ 0,9
7,1	8,0	+ 1,0
8,1	9,0	+ 1,1
9,1	10,0	+ 1,2
10,1	11,0	+ 1,3
11,1	12,0	+ 1,4
12,1	13,0	+ 1,5
13,1	14,0	+ 1,6
14,1	15,0	+ 1,7
15,1	16,0	+ 1,8
16,1	17,0	+ 1,9
17,1	18,0	+ 2,0
18,1	19,0	+ 2,1
19,1	20,0	+ 2,2
20,1	21,0	+ 2,3
21,1	22,0	+ 2,4
22,1	23,0	+ 2,5
23,1	24,0	+ 2,6
24,1	25,0	+ 2,7

Продолжение таблицы 3

В миллиметрах

Номинальная толщина стенки *e*		Предельное отклонение толщины стенки
>	≤	
25,1	26,0	+ 2,8
26,1	27,0	+ 2,9
27,1	28,0	+ 3,0
28,1	29,0	+ 3,1
29,1	30,0	+ 3,2
30,1	31,0	+ 3,3
31,1	32,0	+ 3,4
32,1	33,0	+ 3,5
33,1	34,0	+ 3,6
34,1	35,0	+ 3,7
35,1	36,0	+ 3,8
36,1	37,0	+ 3,9
37,1	38,0	+ 4,0
38,1	39,0	+ 4,1
39,1	40,0	+ 4,2
40,1	41,0	+ 4,3
41,1	42,0	+ 4,4
42,1	43,0	+ 4,5
43,1	44,0	+ 4,6
44,1	45,0	+ 4,7
45,1	46,0	+ 4,8
46,1	47,0	+ 4,9
47,1	48,0	+ 5,0
48,1	49,0	+ 5,1
49,1	50,0	+ 5,2

Продолжение таблицы 3

В миллиметрах

Номинальная толщина стенки *e*		Предельное отклонение толщины стенки
>	≤	
50,1	51,0	+ 5,3
51,1	52,0	+ 5,4
52,1	53,0	+ 5,5
53,1	54,0	+ 5,6
54,1	55,0	+ 5,7
55,1	56,0	+ 5,8
56,1	57,0	+ 5,9
57,1	58,0	+ 6,0
58,1	59,0	+ 6,1
59,1	60,0	+ 6,2
60,1	61,0	+ 6,3
61,1	62,0	+ 6,4
62,1	63,0	+ 6,5
63,1	64,0	+ 6,6
64,1	65,0	+ 6,7
65,1	66,0	+ 6,8
66,1	67,0	+ 6,9
67,1	68,0	+ 7,0
68,1	69,0	+ 7,1
69,1	70,0	+ 7,2
70,1	71,0	+ 7,3
71,1	72	+7,4
72,1	73	+7,5
73,1	74	+7,6
74,1	75	+7,7

Окончание таблицы 3

В миллиметрах

Номинальная толщина стенки *e*		Предельное отклонение толщины стенки
>	≤	
75,1	76	+7,8
76,1	77	+7,9
77,1	78	+8,0
78,1	79	+8,1
79,1	80	+8,2
80,1	81	+8,3
81,1	82	+8,4

Значения толщины защитного слоя труб типа 4 приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Значения толщины защитного слоя труб типа 4

В миллиметрах

Номинальный наружный диаметр трубы D	Толщина защитного покрытия	
	минимум	максимум
32	0,8	1,2
40	0,8	1,2
50	0,8	1,2
63	0,8	1,4
75	0,8	1,4
90	0,9	1,5
110	0,9	1,5
125	1,0	1,6
140	1,1	1,7
160	1,1	1,7
180	1,2	1,8
200	1,2	1,8
225	1,3	1,9

Окончание таблицы 4

В миллиметрах

Номинальный наружный диаметр трубы D	Толщина защитного покрытия	
	минимум	максимум
250	1,4	2
280	1,5	2,1
315	1,5	2,3
355	1,6	2,4
400	1,8	2,6
450	1,9	2,8
500	2,0	3,0
560	2,2	3,2
630	2,5	3,5

Длина труб приведена в таблице 5.

Таблица 5 - Длина труб

Условия поставки	Длина трубы	Предельное отклонение
В бухтах и на катушках	По договоренности	+ 3 % - для труб длиной до 500 м + 1,5 % -для труб длиной более 500 м
В прямых отрезках	До 13 м кратностью 0,25 м	+ 1,0 %

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ТРУБ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

А.1 Трубы применяются для прокладки и защиты силовых кабельных линий напряжением до 500 кВ. Трубы исполнения ОМП применяются для обслуживания кабельных линий и за счет свойств токопоисковости способствуют определению пробоя оболочки кабеля и его локализации в процессе приемо-сдаточных и периодических испытаний кабельной линии.

А.2 Длительно допустимая рабочая температура для труб тип 1 и тип 4 составляет от минус 70°С до плюс 110°С, для труб тип 2, тип 3 и тип 5 - от минус 70°С до плюс 95°С. Допускается кратковременное превышение длительно допустимых рабочих температур, вызванное протеканием токов короткого замыкания силового кабеля.

А.3 Предельно допустимая температура эксплуатации составляет не более 120°С в течение 8 часов в день и не более 1000 часов за весь срок эксплуатации.

А.4 Внутренний диаметр трубы принимают не менее чем в 1,5 раза больше наружного диаметра $D_к$ размещаемого в трубе кабеля.

А.5 Кольцевая жесткость трубы SN является ее важнейшей характеристикой и должна выбираться во всех случаях использования трубы.

А.6 Предельное усилие тяжения F_{max} выбирается только в тех случаях, когда труба прокладывается методом горизонтально-направленного бурения. Усилия тяжения F, возникающие при затяжке трубы в подготовленный в земле буровой канал, должны удовлетворять условию (В.2):

$$F \leq 0{,}5 \cdot N \cdot F_{max} \qquad (В.2)$$

где F – усилие тяжения, кН;

F_{max} – предельное усилие тяжения каждой трубы, кН

N – число труб в плети.

А.7 Рекомендуется применять трубы «ПРОТЕКТОРФЛЕКС®» совместно с уплотнителями «ПРОТЕКТОРФЛЕКС® УВК» для герметизации трубного участка и предотвращения заиливания трубы с проложенным внутри кабелем.

А.8 Рекомендуется применять трубы «ПРОТЕКТОРФЛЕКС®» совместно с воронками «ПРОТЕКТОРФЛЕКС® ВЗК» для предотвращения повреждения оболочки кабеля при его затяжке в трубу, а также снижения механического воздействия кромки трубы на оболочку кабеля в процессе эксплуатации кабельной линии.

А.9 Рекомендуется применять трубы «ПРОТЕКТОРФЛЕКС®» совместно с заглушками «ПРОТЕКТОРФЛЕКС® ЗУП» для герметизации торцов рабочих и резервных труб без проложенного в них кабеля.

А.10 Условное обозначение трубы состоит из слова «труба», торгового наименования, «ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ», «ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ-ОМП» «ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК», «ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК-ОМП», «ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО», «ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО-ОМП» или «ПРОТЕКТОРФЛЕКС НГ», через тире - номинального наружного диаметра и номинальной толщины стенки трубы в миллиметрах, значения кольцевой жесткости SN в кН/м², значения предельного усилия тяжения F в кН, ограничения по максимальной рабочей температуре эксплуатации Т, номера технических условий [1].

Примеры условного обозначения трубы:

Труба ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО-ОМП – 110/9,4 SN64 F62 T110°C ТУ 2248-003-34311042-2015

(труба наименования ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО-ОМП, номинальным наружным диаметром 160 мм, номинальной толщиной стенки 9,4 мм, кольцевой жесткостью 64 кН/м², предельным усилием тяжения 62 кН, длительно допустимой рабочей температурой 110°С).

Примеры условного обозначения труб всех изготавливаемых типов:

Труба ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ – 160/12,5 SN48 F120 T95°C ТУ 2248-003-34311042-2015

Труба ПРОТЕКТОРФЛЕКС СТ-ОМП – 160/12,5 SN48 F120 T95°C ТУ 2248-003-34311042-2015

Труба ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК – 160/12,5 SN48 F120 T95°C ТУ 2248-003-34311042-2015

Труба ПРОТЕКТОРФЛЕКС БК-ОМП – 160/12,5 SN48 F120 T95°C ТУ 2248-003-34311042-

2015

Труба ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО – 160/12,5 SN48 F120 T110°C ТУ 2248-003-34311042-2015

Труба ПРОТЕКТОРФЛЕКС ПРО-ОМП – 160/12,5 SN48 F120 T110°C ТУ 2248-003-34311042-2015

Труба ПРОТЕКТОРФЛЕКС НГ – 160/12,5 SN48 F120 T95°C ТУ 2248-003-34311042-2015

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

РАСЧЕТНАЯ МАССА 1 М ТРУБ И ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

Таблица Б.1 - Расчетная масса 1 м труб

Наружный диаметр D, мм	Кольцевая жесткость SN, кН/м²						
	4	6	8	12	16	24	32
	Расчетная масса 1 м труб, кг						
32	0,120	0,137	0,146	0,163	0,180	0,197	0,217
40	0,184	0,206	0,228	0,250	0,276	0,307	0,338
50	0,288	0,315	0,350	0,390	0,430	0,475	0,514
63	0,445	0,514	0,548	0,625	0,675	0,757	0,814
75	0,637	0,699	0,771	0,872	0,961	1,060	1,166
90	0,908	1,032	1,106	1,263	1,359	1,536	1,663
110	1,332	1,529	1,649	1,871	2,032	2,263	2,475
125	1,748	1,971	2,142	2,394	2,594	2,938	3,180
140	2,160	2,450	2,659	3,018	3,279	3,664	3,971
160	2,815	3,190	3,474	3,927	4,267	4,813	5,184
180	3,557	4,028	4,372	4,955	5,386	6,047	6,582
200	4,384	4,963	5,400	6,101	6,660	7,473	8,118
225	5,519	6,263	6,816	7,726	8,415	9,477	10,262
250	6,817	7,781	8,429	9,542	10,374	11,620	12,653
280	8,562	9,720	10,598	11,957	12,963	14,580	15,882
315	10,815	12,247	13,322	15,022	16,448	18,432	20,059
355	13,775	15,536	16,941	19,144	20,846	23,409	25,426
400	17,483	19,688	21,490	24,242	26,480	29,786	32,266
450	21,941	24,980	27,129	30,710	33,347	37,599	40,854
500	27,112	30,764	33,628	37,875	41,203	46,451	50,389
560	34,072	38,470	41,984	47,421	51,597	58,282	63,269
630	43,135	48,776	53,072	60,037	65,320	73,666	80,008

Окончание таблицы Б.1

Наружный диаметр D, мм	Кольцевая жесткость SN, кН/м²					
	48	64	96	128	192	256
	Расчетная масса 1 м труб, кг					
32	0,241	0,257	0,292	0,314	0,343	0,368
40	0,373	0,403	0,451	0,484	0,530	0,578
50	0,577	0,633	0,693	0,758	0,826	0,887
63	0,910	0,995	1,109	1,184	1,320	1,411
75	1,298	1,400	1,555	1,678	1,859	2,000
90	1,845	2,013	2,242	2,422	2,679	2,869
110	2,768	2,999	3,332	3,605	3,970	4,287
125	3,576	3,870	4,279	4,634	5,136	5,524
140	4,450	4,815	5,392	5,806	6,448	6,898
160	5,833	6,290	7,027	7,575	8,419	9,023
180	7,335	7,961	8,878	9,580	10,633	11,432
200	9,081	9,801	10,990	11,817	13,124	14,101
225	11,516	12,465	13,884	14,948	16,576	17,825
250	14,174	15,354	17,143	18,502	20,481	22,008
280	17,727	19,257	21,465	23,153	25,723	27,618
315	22,495	24,295	27,199	29,321	32,501	34,914
355	28,532	30,957	34,489	37,217	41,210	44,287
400	36,222	39,253	43,719	47,173	52,407	56,228
450	45,816	49,561	55,403	59,764	66,269	71,165
500	56,473	61,192	68,348	73,667	81,756	87,806
560	70,861	76,702	85,667	92,351	102,503	110,086
630	89,744	97,094	108,324	116,959	129,676	139,392

Примечание - Масса 1 м труб рассчитана при средней плотности материала 950 кг/м³ с учетом половины основных допусков на толщину стенки и средний наружный диаметр. В том случае, если плотность материала труб ρ отличается от 950 кг/м³, данные таблицы Б.1 умножают на коэффициент К = ρ/950.

Таблица Б.2 - Расчетная масса 1 м защитного покрытия труб

Номинальный наружный диаметр трубы D, мм	Расчетная масса 1 м защитного покрытия, кг	
	минимум	максимум
32	0,075	0,113
40	0,093	0,140
50	0,115	0,175
63	0,145	0,256
75	0,172	0,304
90	0,232	0,390
110	0,283	0,475
125	0,358	0,575
140	0,441	0,684
160	0,503	0,781
180	0,618	0,930
200	0,686	1,032
225	0,836	1,225
250	1,000	1,432
280	1,199	1,682
315	1,348	2,073
355	1,620	2,436
400	2,054	2,973
450	2,438	3,600
500	2,850	4,284
560	3,510	5,115
630	4,487	6,292

Примечание - Масса 1 м защитного покрытия рассчитана при средней плотности материала покрытия 900 кг/м^3 с учетом половины основных допусков на средний наружный диаметр. В случае, если плотность материала защитного покрытия ρ отличается от 900 кг/м^3, данные таблицы Б.2 умножают на коэффициент К = ρ/900.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

КОНТРОЛЬ НАЛИЧИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОМП

В.1. Если проектом предусмотрено использование «токопоисковых» труб (труб с технологией ОМП), то в случае необходимости можно убедиться в том, что данные трубы действительно обладают заявленными свойствами. Для проверки потребуется омметр, внесенный в государственный реестр средств измерений.

В.2. Напряжение на выводах омметра не должно превышать 100 В, что позволит исследовать свойства непосредственно самой трубы, исключив возможное влияние на результаты измерений таких эффектов, как пробои вдоль увлажненной загрязненной поверхности трубы под действием приложенного к ней высокого напряжения.

В.3. Первый этап проверки трубы заключается в следующем:

- выбрать из партии сразу несколько труб (максимальной длины), подготовить омметр, а также средства фото- и видеофиксации эксперимента;
- подключить к омметру два соединительных провода со щупами на концах;
- накоротко соединить друг с другом два щупа и убедиться в том, что омметр показывает нулевое сопротивление, свидетельствующие о его исправности;
- дотрагиваться двумя щупами одновременно до двух произвольных точек, расположенных на внутренней поверхности трубы на расстоянии не менее 100 мм друг от друга, и фиксировать показания омметра;
- повторить данные измерения для нескольких труб, отобранных из партии.

В.4. Второй этап проверки трубы заключается в следующем:

- выбрать трубу из партии и отрезать от нее образец длиной 1 метр, после чего с наружной боковой поверхности плотно обмотать образец медной луженой сеткой с перекрытием слоев не менее 30 %;
- дотрагиваться двумя щупами одновременно до двух произвольных точек, одна из которых расположена на внутренней поверхности трубы, а другая на внешней поверхности трубы, и фиксировать показания омметра.

В.5. Характерными признаками «токопоисковой» трубы (трубы ОМП) является то, что при всех измерениях, выполненных на первом и втором этапах, сопротивление составляет не более 100 кОм. Если сопротивление превосходит 100 кОм, то труба не может

считаться «токопоисковой» (не может считаться трубой ОМП), и от ее приемки следует отказаться.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

ПРЕДЕЛЬНОЕ УСИЛИЕ ТЯЖЕНИЯ ТРУБЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ ДИАМЕТРА И КОЛЬЦЕВОЙ ЖЕСТКОСТИ

Таблица Г.1 - Предельное усилие тяжения труб в зависимости от диаметра и кольцевой жесткости

Наружный диаметр D, мм	Кольцевая жесткость SN, кН/м²						
	4	6	8	12	16	24	32
	Предельное усилие тяжения F, кН						
32	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	4,0	4,3
40	3,6	4,1	4,5	5,1	5,5	6,2	6,8
50	5,7	6,4	7,0	7,9	8,6	9,7	11
63	9	10	11	13	14	15	17
75	13	14	16	18	19	22	24
90	18	21	23	26	28	32	34
110	27	31	34	38	42	47	51
125	35	40	45	50	55	60	65
140	45	50	55	62	68	75	83
160	60	65	70	80	90	100	110
180	75	85	95	105	115	125	135
200	90	100	115	125	140	155	170
225	115	130	140	160	175	195	215
250	140	160	175	200	215	245	265
280	180	200	220	250	270	305	330
315	225	255	280	315	345	385	420
355	285	325	355	400	435	490	535
400	365	410	450	510	550	625	675
450	460	520	570	640	700	790	855
500	570	640	700	790	865	975	1060
560	710	805	880	990	1080	1220	1330
630	900	1020	1110	1260	1370	1550	1680

Примечание – При затяжке полимерной трубы в грунт усилия тяжения следует ограничивать безопасным уровнем $0,5F_{max}$

Окончание таблицы Г.1

Наружный диаметр D, мм	Кольцевая жесткость SN, кН/м²					
	48	64	96	128	192	256
	Предельное усилие тяжения F, кН					
32	4,9	5,3	5,9	6,4	7,1	7,6
40	7,6	8,2	9,2	10	11	12
50	12	13	14	16	17	19
63	19	20	23	25	27	29
75	27	29	32	35	39	42
90	38	42	47	50	56	60
110	57	62	70	75	83	90
125	75	80	90	95	105	115
140	93	100	115	125	135	145
160	120	130	145	160	175	190
180	155	170	185	200	225	240
200	190	205	230	250	275	295
225	240	260	290	315	350	375
250	300	320	360	390	430	465
280	370	400	450	485	540	580
315	470	510	570	615	685	735
355	600	650	725	780	870	935
400	760	820	920	990	1100	1180
450	960	1040	1160	1260	1400	1500
500	1190	1290	1440	1550	1720	1850
560	1490	1610	1800	1950	2160	2320
630	1880	2040	2280	2460	2730	2940
Примечание – При затяжке полимерной трубы в грунт усилия тяжения следует ограничивать безопасным уровнем $0,5F_{max}$						

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(справочное)

ВЫБОР ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБ ПРОТЕКТОРФЛЕКС

Полимерная труба имеет две основные размерные характеристики, которые необходимо определить при проектировании кабельной линии:

- наружный диаметр D;
- кольцевая жесткость SN.

Д.1 Определение диаметра трубы D

Внутренний диаметр трубы принимают не менее чем в 1,5 раза больше наружного диаметра $D_к$ размещаемого в трубе кабеля (Д.1):

$$D - 2e > 1{,}5D_к, \quad (Д.1)$$

откуда

$$D > 1{,}5D_к + 2e, \quad (Д.2)$$

Предварительно наружный диаметр трубы можно выбирать исходя из условия:

$$D \approx 2D_к, \quad (Д.3)$$

принимая ближайшее большее значение диаметра трубы из ряда типовых значений по каталогу (110, 125, 140, 160 и т.п.).

Далее следует переходить к расчету толщины стенки e. После определения необходимо еще раз убедиться в том, что при выбранных значениях D и e будет выполняться условие (Д.1). Если оно не выполняется, то рекомендуется скорректировать в большую сторону диаметр D и заново пересчитать e.

Д.2 Определение кольцевой жесткости SN

Кольцевая жесткость трубы является ее важнейшей характеристикой и должна выбираться во всех случаях использования трубы. В случае прокладки в грунте методика определения достаточной кольцевой жесткости трубы различается в зависимости от того способа, которым труба помещена в грунт:

- траншейным способом (открытые земляные работы), Приложение Е;
- бестраншейным способом (метод ГНБ), Приложение Ж.

Зависимость минимально достаточной кольцевой жесткости SN от глубины H заложения труб в грунте принципиально отличается для двух указанных случаев.

При траншейном способе: чем больше H, тем больше давление грунта и тем больше требуется SN. Конкретное значение SN определяется расчетом.

При ГНБ давление грунта на трубу почти не возникает, тогда как давление от транспорта по мере роста H снижается. Поэтому здесь чем больше H, тем меньше требуется SN. Но при использовании ГНБ применять трубы малого SN нельзя, поскольку такие трубы обладают тонкой стенкой и их прочность в продольном направлении недостаточна для затягивания в грунт. Следовательно, при прокладке труб методом ГНБ следует определить с помощью расчетов:

- минимально достаточное значение кольцевой жесткости SN труб по условиям давления грунта и транспорта;
- усилия затягивания трубы в грунт методом ГНБ и сравнить их с теми предельными усилиями, которые способна выдержать выбранная труба; в случае несоответствия надо увеличить площадь поперечного сечения трубы или за счет перехода к трубе более высокого класса жесткости SN, или за счет увеличения диаметра трубы D.

Д.3 Алгоритм выбора трубы ПРОТЕКТОРФЛЕКС

Д.3.1 Прокладка траншейным способом

Д.3.1.1 Зная диаметр кабеля, предварительно выбрать диаметр трубы D (мм) в соответствии с п. Д.1.

Д.3.1.2 Зная глубину прокладки H, рассчитать достаточную кольцевую жесткость SN ($кН/м^2$) в соответствии с приложением Е.

Д.3.1.3 Зная D и SN, по таблице 1 определить соответствующую толщину стенки e (мм).

Д.3.1.4 Убедиться, что кабель с запасом проходит в трубу с выбранными параметрами D и e.

Д.3.1.5 Зная D, SN, e в соответствии с приложением Г определить соответствующее им предельное усилие тяжения в продольном направлении F_{max} (кН). Значение F_{max} не участвует в расчетах при прокладке траншейным способом, но необходимо для заказа трубы.

Д.3.1.6 Записать условное обозначение трубы в соответствии с п. А.3 (приложение А).

Д.3.2 Прокладка бестраншейным способом (методом ГНБ)

Д.3.2.1 Зная диаметр кабеля, предварительно выбрать диаметр трубы D (мм) в соответствии с п. Д.1.

Д.3.2.2 Зная глубину прокладки H (м), рассчитать предварительно кольцевую жесткость SN (кН/м^2) в соответствии с приложением Ж.

Д.3.2.3 Зная D и SN, по таблице 1 определить соответствующую толщину стенки e (мм).

Д.3.2.4 Убедиться, что кабель с запасом проходит в трубу с параметрами D и e.

Д.3.2.5 Зная D, SN, e в соответствии с приложением Г определить соответствующее им предельное усилие тяжения трубы в продольном направлении F_{max} (кН).

Д.3.2.6 Зная глубину и длину бурового канала, рассчитать реальные усилия F в соответствии с приложением Ж, которые возникают при затягивании трубы в канал. Проверить условие (Д.4)

$$F \le 0{,}5F_{\max}. \qquad (Д.4)$$

Если это условие не выполняется, то в соответствии с приложением Ж следует выбрать трубу диаметра D с более высоким значением F_{max} – таким, при котором условие выполнится.

Д.3.2.7 Зная D и новое значение F_{max}, по таблице 1 и приложению Ж определить новые значения кольцевой жесткости SN и толщины стенки e.

Д.3.2.8 Убедиться, что кабель с запасом проходит в трубу с диаметром D и новым значением толщины стенки e.

Д.3.2.9 Записать условное обозначение трубы в соответствии с п. А.3 (приложение А).

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(справочное)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЖЕСТКОСТИ SN В СЛУЧАЕ ТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ТРУБ

Грунт, в котором находится полимерная труба, является не только нагрузкой и основанием для трубы, но и средой, оказывающей сопротивление (или «отпор») перемещениям стенок трубы, а значит, является фактором, повышающим несущую способность трубы.

Е.1 Относительный прогиб трубы f/D_m может быть определен по формуле (Е.1):

$$f/D_m = \frac{C_1 \cdot q}{C_2 \cdot SN + C_3 \cdot SS}, \quad (Е.1)$$

где f – прогиб трубы в именованных единицах;

f/D_m – прогиб трубы в относительных единицах;

q – интенсивность вертикальной нагрузки грунта с учетом транспорта, МПа;

SN – кольцевая жесткость, МПа;

SS – фактор жесткости грунта, МПа.

Фактор жесткости грунта SS обычно базируется на секущем модуле грунта E_S', МПа. Согласно СП 40-102 рекомендуется использовать выражение (Е.2):

$$f/D_m = \frac{0{,}11 \cdot q}{0{,}15 \cdot G_0 + 0{,}06 \cdot E_S'}, \quad (Е.2)$$

где $G_0 = 53{,}7SN$.

Таким образом, окончательный вид выражения (Е.1) будет следующим (Е.3):

$$f/D_m = \frac{0{,}11 \cdot q}{8 \cdot SN + 0{,}06 \cdot E_S'}. \quad (Е.3)$$

Как правило, при выборе параметров полимерных труб относительный прогиб ограничивают уровнем f/D_m = 0,03 (т.е. 3 %).

Секущий модуль грунта E_S' зависит от типа грунта и степени его уплотнения. Обобщенный опыт европейских стран представлен в таблице Е.1.

Таблица Е.1 - Значение секущего модуля грунта в зависимости от типа грунта и степени его уплотнения

Группа грунтов	Характеристика грунтов	E_S', МПа	
		неуплотненный	уплотненный под контролем
1	Песок крупный и средней крупности	0,7	2,0 - 5,0
2	Мелкий песок	0,8	1,2 - 3,0
3	Супеси и суглинки	0,5	1,0 - 2,5
4	Плывун, глина	< 0,3	0,6

Для глинистых почв (группа 4 и частично группа 3) рекомендуется принимать $E_S' = 0$, т.е. пренебрегать отпором грунта. При этом условия работы полимерной трубы оказываются самыми тяжелыми.

Рекомендации по выбору секущего модуля E_S' в зависимости от глубины засыпки и степени уплотнения для песчаных грунтов (группы 1 и 2) приведены в таблице Е.2.

Таблица Е.2 - Рекомендации по выбору секущего модуля в зависимости от глубины засыпки и степени уплотнения для песчаных грунтов

Глубина засыпки, м	E_S', МПа		
	неуплотненный	уплотненный вручную	уплотненный механически
1	0,5	1,2	1,5
2	0,5	1,3	1,8
3	0,6	1,5	2,1
4	0,7	1,7	2,4
5	0,8	1,9	2,7
6	1,0	2,1	3,0

Принимая значение относительного прогиба трубы $f/D_m = 0,03$ (т.е. 3 %), из формулы (Е.3) находим связь между достаточной кольцевой жесткостью трубы SN и факторами, определяющими кольцевую жесткость:

$$SN = 0,458 \cdot q - 0,0075 \cdot E_S' . \qquad (Е.4)$$

В выражении (Е.4) все величины измеряются в МПа. Например, стандартные значения SN составляют 0,002 МПа, 0,004 МПа и т.д. Однако удобнее, когда кольцевая жесткость определяется целыми числами, такими как 2 кН/м^2, 4 кН/м^2, 6 кН/м^2, 8 кН/м^2 и т.д.

Кроме того, вертикальная нагрузка q часто выражается не в МПа, а в кН/м^2.

Переведем SN и q из МПа в кН/м^2 и получим:

$$SN = 0{,}458 \cdot q - 7{,}5 \cdot E'_S . \quad \text{(Е.5)}$$

где SN и q измеряются в кН/м^2, а модуль E_S' – в МПа.

Е.2 Вертикальная нагрузка на трубу складывается из двух составляющих:

$$q = q_Г + q_Т , \quad \text{(Е.6)}$$

где $q_Г$ – нагрузка от веса грунта, кН/м^2;

$q_Т$ – нагрузка от транспорта, кН/м^2.

Нагрузка от грунта на метр длины трубы $Q_Г$, Н/м, может быть определена по методам «в насыпи» или «в траншее» (на 20 % меньше из-за арочного эффекта).

Рассмотрим наиболее неблагоприятный случай, когда арочный эффект отсутствует, т.е. применим метод «в насыпи»:

$$Q_Г = \gamma_Г \cdot H \cdot D , \quad \text{(Е.7)}$$

где H – глубина расположения трубы под землей, м;

D – наружный диаметр трубы, м

$\gamma_Г$ – плотность грунта, т/м^3.

$$q_Г = Q_Г / D = \gamma_Г \cdot H . \quad \text{(Е.8)}$$

Плотность грунта $\gamma_Г$ может быть вычислена по формуле (Е.9):

$$\gamma_Г = \rho_Г \cdot g , \quad \text{(Е.9)}$$

где $\rho_Г$ – удельный вес грунта, т/м^3;

g = 9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения.

Удельный вес грунта $\rho_Г$ почти всегда менее 2 т/м^3.

Следовательно, в подавляющем большинстве случаев

$$\gamma_Г \le 2 \cdot 9{,}81 \approx 20 кН/м^3 \quad \text{(Е.10)}$$

Поправка на воду требуется в тех случаях, когда труба укладывается в грунт глубже уровня грунтовых вод $H_В$. За счет выталкивающего действия воды вес грунта снижается и составляет:

$$\gamma_{ГВ} = \frac{\gamma_Г - \gamma_В}{1 + \varepsilon} , \quad \text{(Е.11)}$$

где ε – коэффициент пористости грунта (меняется в пределах от 0 до 1).

$$\gamma_{ГВ} = \frac{\rho_Г \cdot g - \rho_В \cdot g}{1 + \varepsilon}. \quad (Е.12)$$

Принимая с запасом $\rho_Г \leq 2$ т/м^3, $\rho_В = 1$ т/м^3, $\varepsilon = 0$, найдем $\gamma_{ГВ} \leq 10$ кН/м^3.

Итоговые выражения для определения нагрузки от грунта будут следующими:

если $0 \leq H \leq H_В$ (т.е. уровень трубы Н выше уровня грунтовых вод $H_В$), тогда

$$q_Г = \gamma_Г \cdot H, \quad (Е.13)$$

где $\gamma_Г = 20$ кН/м^3;

если $H > H_В$ (т.е. уровень трубы Н ниже уровня грунтовых вод $H_В$), тогда

$$q_Г = \gamma_Г \cdot H_В + \gamma_В \cdot (H - H_В), \quad (Е.14)$$

где $\gamma_Г = 20$ кН/м^3;

$\gamma_{ГВ} = 10$ кН/м^3.

Нагрузка от транспорта $q_Т$, кН/м^2, согласно СП 42-101-2003 составляет:

для автомобильных дорог:

$$q_Т = \frac{186}{2{,}7 + H}; \quad (Е.15)$$

для железных дорог:

$$q_Т = \frac{275}{2{,}7 + H}. \quad (Е.16)$$

Е.3 Примеры расчета

Положим наиболее сложные условия прокладки труб ПРОТЕКТОРФЛЕКС:

- вес грунта $\gamma_Г = 20$ кН/м^3 (тяжелый грунт);
- на глубине трубы грунтовые воды отсутствуют, т.е. $0 \leq H \leq H_В$;
- арочный эффект грунта отсутствует, т.е. $q_Г = \gamma_Г \cdot H$.

Результаты расчета рекомендуемой кольцевой жесткости полимерных труб марки ПРОТЕКТОРФЛЕКС в случае их прокладки открытым способом в траншее приведены в таблицах Е.3 – Е.5. Варьируется глубина заложения труб, место заложения (газон, автодорога, железная дорога), секущий модуль грунта.

Выбрав SN по таблицам Е.3 – Е.5, следует округлить его до ближайшего большего из числа типовых значений по каталогу (4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 256).

Таблица Е.3 - Значения достаточной кольцевой жесткости труб в зависимости от глубины прокладки и секущего модуля грунта при прокладке труб открытым способом без нагрузки от транспорта (под газонами, скверами)

Глубина прокладки Н, м	Секущий модуль грунта E_s', МПа						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Достаточная кольцевая жесткость SN, кН/м^2						
0,7	6	3					
1	9	5	2				
1,5	14	10	6	2			
2	18	15	11	7	3		
2,5	23	19	15	12	8	4	
3	27	24	20	16	12	9	5
3,5	32	28	25	21	17	13	10
4	37	33	29	25	22	18	14
4,5	41	37	34	30	26	22	19
5	46	42	38	35	31	27	23

Таблица Е.4 - Значения достаточной кольцевой жесткости труб в зависимости от глубины прокладки и секущего модуля грунта при прокладке труб открытым способом под автомобильными дорогами

Глубина прокладки Н, м	Секущий модуль грунта E_s', МПа						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Достаточная кольцевая жесткость SN, кПа						
0,7	31	28	24	20	16	13	9
1	32	28	25	21	17	13	10
1,5	34	30	27	23	19	15	12
2	36	33	29	25	21	18	14
2,5	39	36	32	28	24	21	17
3	42	39	35	31	27	24	20
3,5	46	42	38	35	31	27	23
4	49	46	42	38	34	31	27
4,5	53	49	46	42	38	34	31
5	57	53	49	46	42	38	34

Таблица Е.5 - Значения достаточной кольцевой жесткости труб в зависимости от глубины прокладки и секущего модуля грунта при прокладке труб открытым способом под железными дорогами

Глубина прокладки Н, м	Секущий модуль грунт E_S', МПа						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Достаточная кольцевая жесткость SN, кПа						
0,7	43	40	36	32	28	25	21
1	43	39	36	32	28	24	21
1,5	44	40	36	32	29	25	21
2	45	41	38	34	30	26	23
2,5	47	43	40	36	32	28	25
3	50	46	42	38	35	31	27
3,5	52	49	45	41	37	34	30
4	55	52	48	44	40	37	33
4,5	59	55	51	47	44	40	36
5	62	58	55	51	47	43	40

Исходя из формул (Е.5), (Е.15) и (Е.16) определяется предельное значение глубины укладки труб Н в зависимости от значения кольцевой жесткости трубы SN. Ниже этого значения Н трубу с данной кольцевой жесткостью укладывать недопустимо.

Результаты расчетов предельной глубины заложения труб, основанные на наиболее сложных условиях прокладки, приведены в таблицах Е.6 – Е.8.

Условия прокладки труб, принятые для расчета:

- вес грунта $\gamma_Г = 20$ кН/м^3 (тяжелый грунт);
- на глубине трубы грунтовые воды отсутствуют, т.е. $0 \le H \le H_В$;
- арочный эффект грунта отсутствует, т.е. $q_Г = \gamma_Г \cdot H$.

В таблицах Е.6 – Е.8 представлен широкий диапазон значений глубины, тогда как для открытой прокладки характерны небольшие значения 0,7 м ≤ Н ≤ 5 м. Для подобных глубин, как видно из таблиц Е.6 – Е.8, наиболее оптимально применение труб с кольцевой жесткостью SN из диапазона от 16 до 64.

Таблица Е.6 - Значения предельной глубины заложения труб в зависимости от кольцевой жесткости и секущего модуля грунта при прокладке труб без нагрузки от транспорта (под газонами, скверами)

Кольцевая жесткость SN, кПа	Секущий модуль грунта E_S', МПа						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Предельная глубина заложения труб Н, м						
4	0,4	0,8	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9
6	0,7	1,1	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1
8	0,9	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3
12	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,4	3,8
16	1,7	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2
24	2,6	3,0	3,4	3,8	4,3	4,7	5,1
32	3,5	3,9	4,3	4,7	5,1	5,5	5,9
48	5,2	5,6	6,1	6,5	6,9	7,3	7,7
64	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,4
96	10,5	10,9	11,3	11,7	12,1	12,5	12,9
128	14,0	14,4	14,8	15,2	15,6	16,0	16,4
192	21,0	21,4	21,8	22,2	22,6	23,0	23,4
256	27,9	28,4	28,8	29,2	29,6	30,0	30,4

Таблица Е.7 - Значения предельной глубины заложения труб в зависимости от кольцевой жесткости и секущего модуля грунта при прокладке труб под автомобильными дорогами

Кольцевая жесткость SN, кПа	Секущий модуль грунта E_S', МПа						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Предельная глубина заложения труб Н, м						
4	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	1,6
16	-	-	-	-	-	1,7	2,4
24	-	-	0,7	1,8	2,5	3,0	3,6

Окончание таблицы Е.7

Кольцевая жесткость SN, кПа	Секущий модуль грунта E_S', МПа						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Предельная глубина заложения труб Н, м						
32	0,9	1,9	2,5	3,1	3,7	4,2	4,7
48	3,8	4,3	4,8	5,3	5,8	6,2	6,7
64	5,9	6,4	6,8	7,3	7,7	8,2	8,6
96	9,7	10,2	10,6	11,0	11,5	11,9	12,3
128	13,4	13,8	14,2	14,7	15,1	15,5	15,9
192	20,6	21,0	21,4	21,8	22,2	22,6	23,1
256	27,6	28,1	28,5	28,9	29,3	29,7	30,1

Таблица Е.8 - Значения предельной глубины заложения труб в зависимости от кольцевой жесткости и секущего модуля грунта при прокладке труб под железными дорогами

Кольцевая жесткость SN, кПа	Секущий модуль грунта E_S', МПа						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Предельная глубина заложения труб Н, м						
4	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	2,4
32	-	-	-	1,2	2,5	3,2	3,9
48	2,7	3,4	4,0	4,6	5,1	5,6	6,1
64	5,3	5,8	6,3	6,8	7,2	7,7	8,2
96	9,3	9,8	10,2	10,7	11,1	11,6	12,0
128	13,1	13,5	14,0	14,4	14,8	15,3	15,7
192	20,4	20,8	21,2	21,6	22,0	22,5	22,9
256	27,5	27,9	28,3	28,7	29,2	29,6	30,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(справочное)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЖЕСТКОСТИ SN И ПРЕДЕЛЬНОГО УСИЛИЯ F_{max} В СЛУЧАЕ ПРОКЛАДКИ МЕТОДОМ ГНБ

Ж.1 Минимально достаточная кольцевая жесткость SN может быть найдена по (Е.5) (приложение Е). Единицы измерения кольцевой жесткости SN и вертикальной нагрузки на трубу q – кН/м², модуля E_S' – МПа.

Ж.2 Вертикальная нагрузка на трубу определяется по (Е.6) (приложение Е).

Ж.3 Нагрузка от транспорта $q_т$, являющаяся одной из двух составляющих вертикальной нагрузки на трубу, вычисляется так же, как и для случая траншейной прокладки по (Е.15) и (Е.16) (приложение Е).

Ж.4 Расчет нагрузки от грунта $q_г$ производится способом, отличающимся от приведенного в приложении Е, поскольку в случае прокладки методом ГНБ на трубу оказывает давление не весь грунт, а только небольшая его часть, связанная с осыпанием свода пробуренной под трубу скважины.

Давление грунта на трубу $q_Г$ (кН/м²) определяется в соответствии с СП 42-101 с использованием понятия «свод обрушения» по формуле (Ж.1):

$$q_Г = \frac{\gamma_Г \cdot D_{РШ}}{2 \cdot f'}, \qquad (Ж.1)$$

где $\gamma_Г$ – плотность грунта, кН/м³ (не более 20 кН/м³);

$D_{РШ}$ – диаметр расширителя бурового канала, м;

f' – коэффициент крепости грунта по М. М. Протодьяконову (находится в диапазоне от 0,1 для плывунов до 1,5 для твердой глины).

В соответствии с СП 42-101 диаметр расширителя определяется через диаметр трубы (или эквивалентный диаметр $D_{экв}$ плети из нескольких труб), как указано в таблице Ж.1.

Таблица Ж.1 - Значения диаметра расширителя в зависимости от длины труб, уложенных методом ГНБ

Длина труб, уложенных методом ГНБ	Диаметр расширителя $D_{РШ}$
Менее 50 м	$D_{РШ} \geq 1,2D_{ЭКВ}$
От 50 до 100 м	$D_{РШ} \geq 1,3D_{ЭКВ}$
От 100 до 300 м	$D_{РШ} \geq 1,4D_{ЭКВ}$
Более 300 м	$D_{РШ} \geq 1,5D_{ЭКВ}$

В электрических сетях, как правило, в грунте прокладывается или одна труба, или плеть из четырех труб – три рабочих и одна резервная. Эквивалентный диаметр плети из четырех труб может быть определен по рисунку Ж.1.

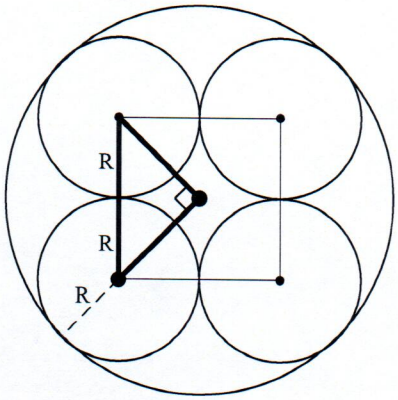


Рисунок Ж.1 - Определение эквивалентного диаметра плети из четырех труб

Радиус одной трубы диаметром *D* составляет величину *R = 0,5D*, гипотенуза выделенного прямоугольного треугольника имеет длину *2R*, катеты имеют длину $2R \cdot (\sqrt{2}/2)$, т.е. $R\sqrt{2}$. Тогда эквивалентный радиус $R_{ЭКВ}$ плети из 4-х труб составит величину $R + R\sqrt{2}$ или $R_{ЭКВ} = 2,41R$. Следовательно, эквивалентный диаметр плети из четырех труб можно определить как $D_{ЭКВ} = 2,41 \cdot D$.

Таблица Ж.2 - Значения эквивалентного диаметра плети из четырех труб

Внешний диаметр трубы D, мм	Эквивалентный диаметр плети $D_{ЭКВ}$, мм	
	одиночная труба	плеть их 4-х труб
32	32	77
40	40	96
50	50	121

Окончание таблицы Ж.2

Внешний диаметр трубы D, мм	Эквивалентный диаметр плети $D_{экв}$, мм	
	одиночная труба	плеть их 4-х труб
63	63	152
75	75	181
90	90	217
110	110	265
125	125	301
140	140	337
160	160	386
180	180	434
200	200	482
225	225	542
250	250	603
280	280	675
315	315	плетью, как правило, не прокладываются
355	355	
400	400	
450	450	
500	500	
560	560	
630	630	

Из таблицы Ж.2 видно, что эквивалентный диаметр $D_{экв}$ одиночной полимерной трубы не превосходит 630 мм, а для плети из четырех труб – 675 мм. Следовательно, как правило, даже для весьма протяженных участков ГНБ длиной более 300 м достаточно применять расширители диаметром не более $D_{РШ} = 1{,}5D_{экв} \approx 1000$ мм. Это значение используем для определения требований к кольцевой жесткости SN труб, проложенных методом ГНБ.

Положим наиболее тяжелые условия прокладки труб ПРОТЕКТОРФЛЕКС:

- вес грунта $\gamma_Г = 20$ кН/м^3 (тяжелый грунт);
- на глубине трубы грунтовые воды отсутствуют, $0 \le H \le H_В$;
- арочный эффект грунта отсутствует, $q_Г = \gamma_Г \cdot H$;
- грунт средней крепости, т.е. $f' = 0{,}5$;
- секущий модуль грунта $E_S' = 0$ (в зоне обвала грунта он не утрамбован);
- диаметр расширителя $D_{РШ} = 1$ м.

В таблице Ж.3 даны результаты расчета минимально рекомендуемой кольцевой жесткости SN полимерных труб марки ПРОТЕКТОРФЛЕКС в случае их прокладки методом ГНБ. Варьируется глубина заложения труб H, место заложения (газон, дорога). Цифры, приведенные в таблице, определены по условиям давления грунта и должны быть скорректированы по условиям затягивания труб в буровой канал.

Таблица Ж.3 - Минимально достаточная кольцевая жесткость SN труб при прокладке их методом ГНБ

Глубина прокладки Н, м	Достаточная жесткость SN в зависимости от места прокладки		
	газон, сквер	автодорога	железная дорога
0,7	9	34	46
1	9	32	43
1,5	9	29	39
2	9	27	36
2,5	9	26	33
3	9	24	31
4	9	22	28
5	9	20	26
6	9	19	24
7	9	18	22
8	9	17	21
9	9	16	20
10	9	16	19
15	9	14	16
20	9	13	15

В отличие от траншейного метода по мере увеличения глубины требования к кольцевой жесткости трубы снижаются. Однако применять трубы малых SN нельзя по двум следующим причинам:

- во-первых, вне зависимости от максимальной глубины заложения труб, всегда есть концевые участки, которые приближаются к поверхности грунта, где уже не выполняется условие $H >> D_{экв}$ и поэтому не работает понятие «свод обрушения», с помощью которого рассчитана таблица Ж.3. При малых H, составляющих не более нескольких метров, кольцевая жесткость SN может быть взята из таблиц для случая траншейной прокладки, где при указанных значениях H рекомендуется использование труб кольцевой жесткости не менее SN 16.

- во-вторых, трубы с малым SN имеют тонкую стенку и небольшое поперечное сечение, а значит, они обладают недостаточным предельным тяжением F_{max} (кН) в продольном направлении и не могут быть затянуты в буровой канал.

Ж.5 Определение предельного усилия F_{max}

Расчет усилий, которые возникают при затягивании трубы в буровой канал, можно выполнить по методике СТО НОСТРОЙ 2.27.17.

Предельное усилие тяжения, выраженное в кН, для трубы марки ПРОТЕКТОРФЛЕКС приведено в ее обозначении. Оно может быть рассчитано по (Ж.2):

$$F_{1max} = \frac{\pi \cdot \left\{D^2 - (D - 2 \cdot e)^2\right\}}{4000} \cdot \sigma, \qquad (Ж.2)$$

где D – наружный диаметр трубы, мм;

e – толщина стенки трубы, мм;

σ – предел текучести трубы, МПа (для труб ПРОТЕКТОРФЛЕКС σ = 21 МПа).

Для плети из N труб (обычно 1 или 4) имеем:

$$F_{max} = N \cdot F_{1max}, \qquad (Ж.3)$$

При известном диаметре трубы D кольцевую жесткость SN надо выбирать такой, для которой выполняется условие (Ж.4):

$$F \le 0{,}5 \cdot F_{max}, \qquad (Ж.4)$$

где 0,5 – коэффициент запаса.

При затягивании одиночной трубы или плети труб в буровой канал возникает большое число сил, которые необходимо учитывать при определении усилия F:

- силы трения трубы о грунт, зависящие от веса трубы;
- силы, приводящие к снижению веса трубы за счет наличия грунтовых вод;
- силы трения труб на спусках и подъемах бурового канала, в местах его поворота;
- силы трения от обрушившегося на трубу грунта;
- прочие силы.

Согласно анализу большого числа расчетов, выполненных по методике СТО НОСТРОЙ 2.27.17, главное препятствие протаскиванию трубы по буровому каналу создают дополнительные силы трения, которые возникают из-за утяжеления трубы, вызванного обвалом грунта вследствие плохого закрепления стенок бурового канала бентонитовой смесью или невозможностью этого закрепления (плывуны).

Проведем оценку усилий тяжения F, предполагая, что одновременно по всей длине бурового канала произошел обвал грунта.

Давление обвалившегося грунта на трубу можно оценить с использованием понятия «свод обрушения» по формуле СП 42-101:

$$q_Г = \frac{\gamma_Г \cdot D_{РШ}}{2 \cdot f'}, \qquad (Ж.5)$$

где $q_Г$ – давление, кН/м^2;

$\gamma_Г$ – плотность грунта, кН/м^3 (не более 20 кН/м^3);

$D_{РШ}$ – диаметр расширителя бурового канала, м;

f' – коэффициент крепости грунта по М. М. Протодьяконову (см. таблицу Ж.4).

Таблица Ж.4 - Определение коэффициента крепости грунта

f'	Сценарий	Характеристика сценария
0,1	Тяжелый	Бентонит не может сформировать стенки канала
0,5	Средний	Стенки канала сформированы
0,8	Легкий	Стенки канала хорошо сформированы

Давление грунта воздействует на каждый погонный метр трубы (или плети труб) диаметром $D_{ЭКВ}$. Тогда вес грунта $Q_Г$, кН/м, действующий на участок трубы длиной 1 м, можно оценить по (Ж.6):

$$Q_Г = q_Г \cdot D_{ЭКВ}. \qquad (Ж.6)$$

Усилие тяжения F, кН, которое требуется развить установке, чтобы преодолеть силу

трения заваленной грунтом трубы, может быть оценено по формуле (Ж.7):

$$F = \mu \cdot Q_{\Gamma} \cdot L, \qquad (Ж.7)$$

где μ – коэффициент трения полимерной трубы о грунт (обычно равен 0,2).

После преобразований получим усилие тяжения F, кН (Ж.8):

$$F = \mu \cdot \left(\frac{\gamma_{\Gamma} \cdot D_{РШ}}{2 \cdot f'} \cdot D_{ЭКВ} \right) \cdot L, \qquad (Ж.8)$$

которое следует сравнивать с предельно допустимым $0{,}5F_{max}$.

Предельная длина трубы (плети труб), которая еще может быть затянута в буровой канал, может быть найдена из условия $F = 0{,}5F_{max}$ (Ж.9):

$$L = \frac{N \cdot F_{\max}/2}{\mu \cdot \left(\frac{\gamma_{\Gamma} \cdot D_{РШ}}{2 \cdot f'} \cdot D_{ЭКВ} \right)}. \qquad (Ж.9)$$

Положим наиболее тяжелые условия прокладки труб ПРОТЕКТОРФЛЕКС:

- вес грунта $\gamma_{\Gamma} = 20$ кН/м^3 (тяжелый грунт);
- на глубине трубы грунтовые воды отсутствуют, $0 \le H \le H_{В}$;
- диаметр расширителя $D_{РШ} = 1{,}5D_{ЭКВ}$, м;
- коэффициент трения μ = 0,2.

Подставляя указанные значения в формулу (Ж.9), получим:

$$L = \frac{N \cdot F_{\max}/2}{0{,}2 \cdot \left(\frac{20 \cdot 1{,}5}{2} \cdot \frac{D_{ЭКВ}^2}{f'} \right)} = 0{,}33 \cdot F_{1\max} \cdot \frac{N \cdot f'}{2 \cdot D_{ЭКВ}^2}. \qquad (Ж.10)$$

Итоговые выражения определения предельной длины сведены в таблицу Ж.5.

Таблица Ж.5 - Итоговые формулы для определения предельной длины труб (плети труб)

Число труб в плети N	Диаметр $D_{ЭКВ}$	Выражение
1	$D_{ЭКВ} = D$	$L = 0{,}33 \cdot \frac{F_{1\max} \cdot f'}{2 \cdot D^2}$
4	$D_{ЭКВ} = 2{,}41 \cdot D$	$L = 0{,}23 \cdot \frac{F_{1\max} \cdot f'}{2 \cdot D^2}$

Рассмотрим сомножитель $F_{1\max}/D^2$, входящий в правую часть выражений. Его можно записать с помощью формулы (Ж.11):

$$F_{1\max} = \frac{\pi\left\{D^2 - (D - 2\cdot e)^2\right\}}{4} \cdot \frac{\sigma}{1000}, \qquad (Ж.11)$$

откуда выразить искомое отношение как (Ж.12):

$$\frac{F_{1\max}}{D^2} = \frac{\pi\left\{1 - \left(1 - \frac{2}{SDR}\right)^2\right\}}{4} \cdot \frac{\sigma}{1000}. \qquad (Ж.12)$$

Из выражения (Ж.12) и таблицы Ж.5 следует, что предельная длина L:

- неразрывно связана с SDR трубы, а значит с ее SN;
- не зависит от диаметра трубы D;
- не зависит от глубины H прохождения бурового канала в земле;
- для одиночных труб примерно в 1,5 раза выше, чем для плети из четырех труб;
- пропорциональна коэффициенту крепости грунта по М. М. Протодьяконову.

В таблицах Ж.6 – Ж.7 даны результаты оценок предельной длины бурового канала L, который выполнен методом ГНБ, в зависимости от кольцевой жесткости труб SN, а также в зависимости от сценария процесса бурения и числа затягиваемых в грунт труб.

Указанные результаты являются ориентировочными и в каждом конкретном проекте должны уточняться с учетом всех влияющих факторов.

Таблица Ж.6 - Предельная длина L бурового канала в случае затяжки одной трубы (N = 1)

В метрах

Кольцевая жесткость труб SN (кН/м²)	Сценарий, по которому проходит бурение канала для труб		
	тяжелый	средний	легкий
4	38	190	303
6	43	214	342
8	47	235	375
12	53	264	423
16	58	289	462
24	65	324	518
32	70	352	564

Окончание таблицы Ж.6

В метрах

Кольцевая жесткость труб SN (кН/м²)	Сценарий, по которому проходит бурение канала для труб		
	тяжелый	средний	легкий
48	79	396	633
64	86	428	685
96	96	479	766
128	103	517	828
192	115	574	918
256	123	617	987

Примечания

1 Указанные результаты являются ориентировочными и в каждом конкретном проекте должны уточняться с учетом всех влияющих факторов;

2 Как было показано ранее, применять при ГНБ полимерные трубы кольцевой жесткости SN менее 16 не рекомендуется из-за возможных деформаций по условиям давления грунта.

Таблица Ж.7 - Предельная длина L бурового канала в случае затяжки 4-х труб (N = 4)

В метрах

Кольцевая жесткость труб SN (кН/м²)	Сценарий, по которому проходит бурение канала для труб		
	тяжелый	средний	легкий
4	26	131	209
6	29	147	236
8	32	162	258
12	36	182	291
16	40	199	318
24	45	223	357
32	49	243	388
48	55	273	436
64	59	295	472
96	66	330	528

Окончание таблицы Ж.7

В метрах

Кольцевая жесткость труб SN ($кН/м^2$)	Сценарий, по которому проходит бурение канала для труб		
	тяжелый	средний	легкий
128	71	356	570
192	79	395	632
256	85	425	680

Примечания

1 Указанные результаты являются ориентировочными и в каждом конкретном проекте должны уточняться с учетом всех влияющих факторов;

2 Как было показано ранее, применять при ГНБ полимерные трубы кольцевой жесткости SN менее 16 не рекомендуется из-за возможных деформаций по условиям давления грунта.

ПРИЛОЖЕНИЕ З

(обязательное)

МИНИМАЛЬНЫЙ РАДИУС ИЗГИБА ТРУБ

Согласно СП 40-102 минимальный радиус изгиба трубы r_{min} можно оценить по формуле:

$$r_{\min} = \frac{ED}{2\sigma}, \qquad (3.1)$$

где E – модуль упругости при растяжении, МПа;

б – предел текучести при растяжении, МПа;

D – наружный диаметр трубы, мм.

Например, при E = 850 МПа и б = 21 МПа минимальный радиус изгиба будет составлять величину r = 20D.

Согласно опыту прокладки, минимальный радиус изгиба трубы зависит, в том числе, и от температуры среды на момент прокладки трубы, а также от класса кольцевой жесткости трубы SN. Итоговые рекомендации представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Минимально допустимый радиус изгиба труб в зависимости от кольцевой жесткости и температуры среды при укладке

Кольцевая жесткость SN, кН/м²	Минимально допустимый радиус изгиба в зависимости от температуры при укладке		
	0 °С	10 °С	20 °С
менее 2	125D	85D	50D
от 4 до 8	75D	50D	30D
более 16	50D	35D	20D

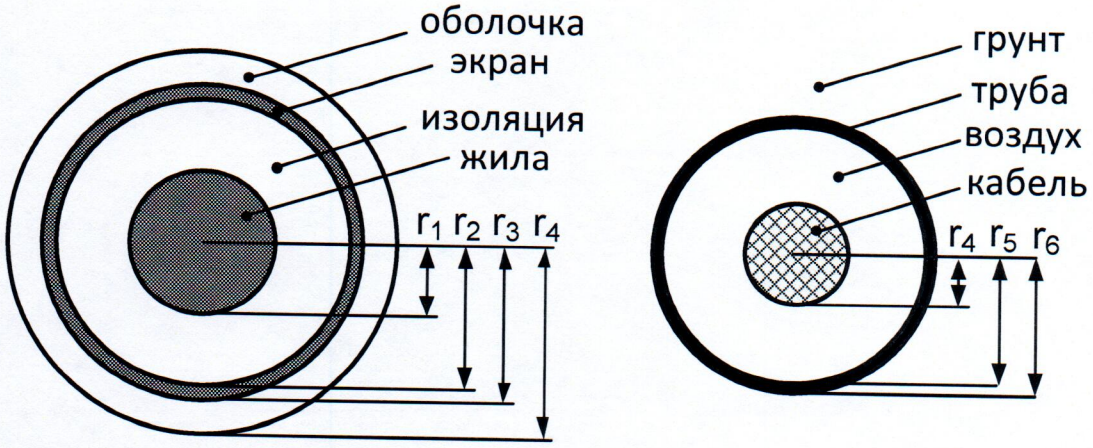
ПРИЛОЖЕНИЕ И

(справочное)

МЕТОДИКА ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА КАБЕЛЯ

Методика теплового расчета описана в ГОСТ Р МЭК 60287-1-1. Она является очень детальной, что затрудняет проведение быстрых расчетов. Поэтому в дополнение к указанной методике ниже дан упрощенный подход к определению токов промышленной частоты, допустимых для кабелей классов номинального напряжения от 6 до 500 кВ в самых распространенных случаях – прокладке трехфазной группы однофазных кабелей в открытом грунте или в полимерных трубах.

На рис. И.1 схематично показана конструкция силового однофазного кабеля и один из способов его прокладки – в полимерной трубе, размещенной в грунте. При проведении оценочных расчетов допустимо считать, что кабель расположен в средней части трубы (на самом деле кабель всегда располагается на дне трубы).



r_1 – радиус жилы; r_2 – внутренний радиус экрана; r_3 – внешний радиус экрана; r_4 – внешний радиус кабеля; r_5 – внутренний радиус трубы; r_6 – внешний радиус трубы.

Рисунок И.1 - Однофазный кабель, проложенный в трубе в грунте

Тепловой расчет кабеля основан на решении уравнения теплового баланса – выделяющаяся в кабеле активная мощность переходит в тепло, которое нагревает кабель и окружающий его грунт.

При рассмотрении этого уравнения и его составляющих будем полагать, что тепло отводится от кабеля только в радиальном направлении, а отвода тепла вдоль оси кабеля и трубы, в которой он проложен, не происходит (такой отвод был бы возможен только для очень короткой трубы). Следовательно, уравнение и все его составляющие не зависят от длины кабельной линии и могут быть даны в расчете на 1 метр его длины.

И.1 Тепло, выделяющееся в кабеле

Основными источниками тепловыделения в кабеле являются потери в жиле $P_ж$ и потери в экране $P_э$

$$P_{Ж} = I_{Ж}^2 R_{Ж}, \quad (И.1)$$

$$P_{Э} = I_{Э}^2 R_{Э}, \quad (И.2)$$

где $I_ж$ и $I_э$ – токи в жиле и экране кабеля соответственно, А;

$R_ж$ и $R_э$ – активные сопротивления жилы и экрана соответственно, которые зависят от температуры и могут быть найдены как

$$R_{Ж} = \frac{\rho_{Ж}}{F_{Ж}}\left(1 + \alpha_{Ж}\left(T_{Ж} - T_{20}\right)\right), \quad (И.3)$$

$$R_{Э} = \frac{\rho_{Э}}{F_{Э}}\left(1 + \alpha_{Э}\left(T_{Э} - T_{20}\right)\right) \quad (И.4)$$

где $\rho_ж$ и $\rho_э$– удельные активные сопротивления материала жилы и экрана соответственно при температуре T_{20} = 20 °С, Ом·м (для меди это $1{,}72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м);

$\alpha_ж$ и $\alpha_э$– температурные коэффициенты сопротивления материала жилы и экрана соответственно, $К^{-1}$ (для меди это 0,0039 $К^{-1}$);

$T_Ж$ и $T_Э$ – температура жилы и экрана соответственно, К.

$F_Ж$ и $F_Э$ – площадь сечения жилы и экрана соответственно, $мм^2$.

Токи в экранах кабеля $I_э$ зависят от схемы соединения экранов, основные из которых представлены на рис. И.2.

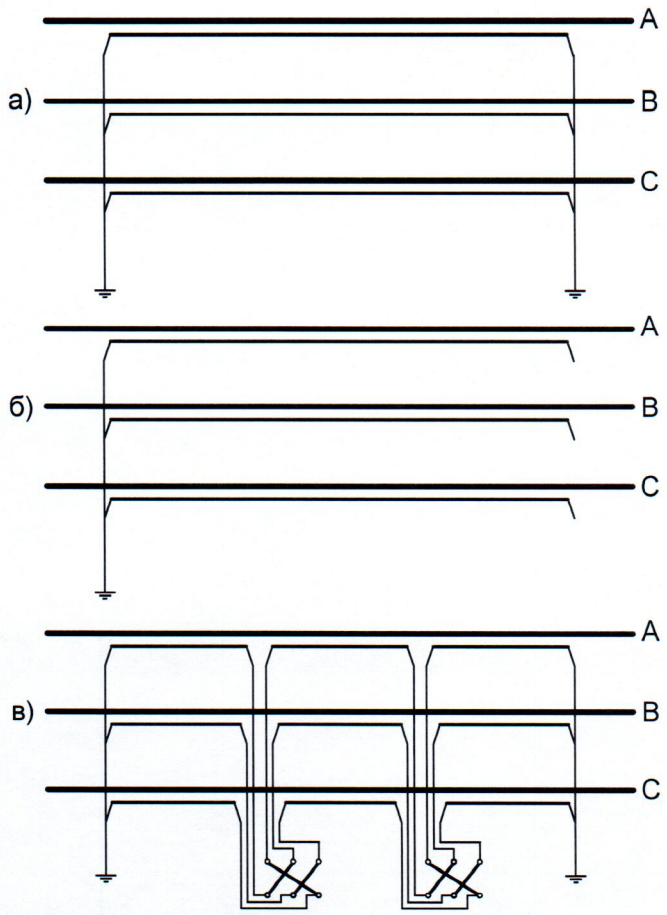


Рисунок И.2 - Основные схемы заземления экранов кабельных линий с однофазными кабелями 6-500 кВ: а) – заземление с двух сторон; б) – заземление с одной стороны; в) – транспозиция экранов

В схемах рис. И.2б и рис. И.2в имеет место $I_э = 0$, тогда как в схеме рис. И.2а токи в экранах $I_э$ пропорциональны токам в жиле $I_ж$ и могут быть определены с помощью обобщающих зависимостей (рис. И.3):

$$S = \sqrt[3]{S_{AB} S_{BC} S_{CA}}, \quad (И.5)$$

$$d_э = 2 \cdot r_э, \quad (И.6)$$

где S - среднегеометрическое расстояние между осями соседних фаз кабеля, м;

$d_э$ – диаметр экрана кабеля, м.

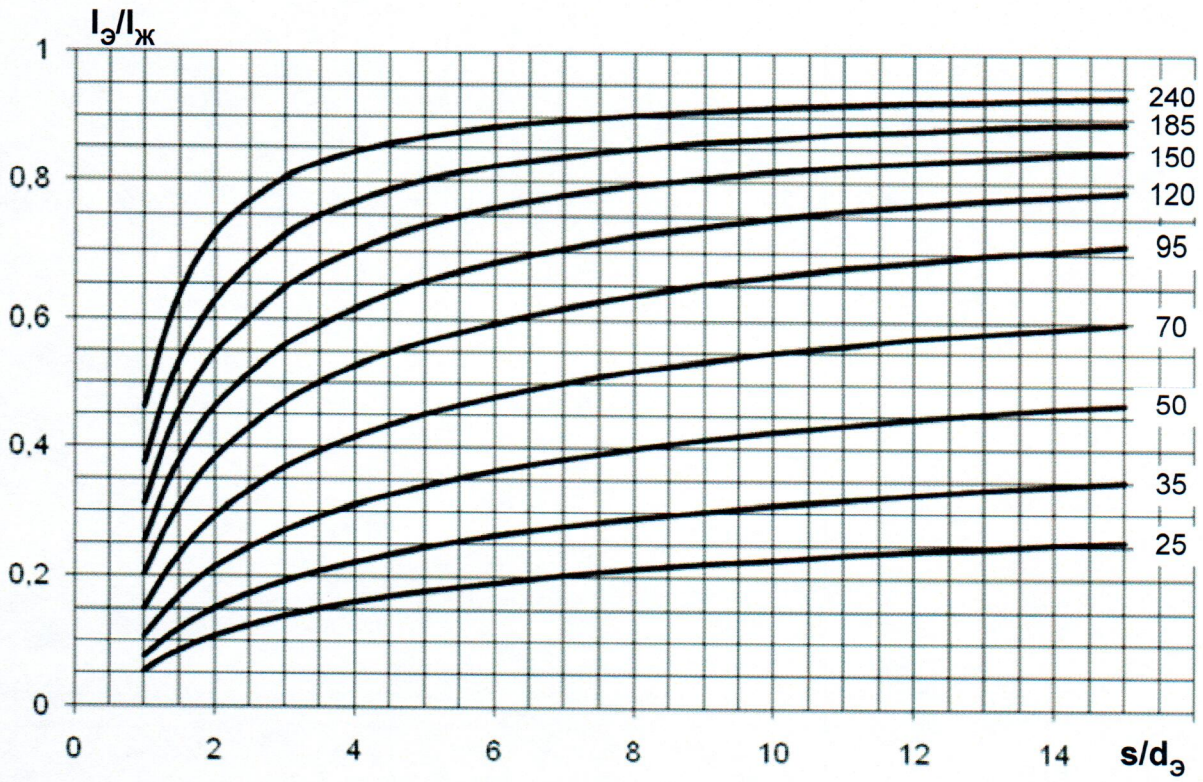


Рисунок И.3 - Токи в заземленных по концам экранах трехфазной группы однофазных кабелей в зависимости от сечения экрана $F_э$ (мм^2) и взаимного расположения фаз $s/d_э$

В расчетах тепловыделения в кабельных линиях с однофазными кабелями важную роль играют относительные потери $P_э/P_ж$, которые характеризуют роль «паразитных» потерь в экранах на фоне «неизбежных» потерь в жилах. В частности, $P_э/P_ж > 0$ при простом заземлении экранов с двух сторон кабеля (рис. И.2а) и $P_э/P_ж = 0$ при заземлении экранов с одной стороны (рис. И.2б) или их транспозиции (рис. И.2в).

Дополнительным источником тепловыделения в кабеле являются потери в диэлектрике $P_И$, однако обычно ими можно пренебречь вследствие малости $tg\,\delta_и$:

$$P_И = \left(\frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \omega \cdot C_И \cdot tg\,\delta_И, \qquad (И.7)$$

$$C_И = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0}{\ln(r_2/r_1)}, \qquad (И.8)$$

где $C_и$ – емкость между жилой и экраном кабеля;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети;

$tg\,\delta_и$ – тангенс угла диэлектрических потерь (для сшитого полиэтилена это 0,001);

ε – диэлектрическая постоянная изоляции кабеля (для сшитого полиэтилена это 2,4);

$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – диэлектрическая постоянная вакуума;

$\omega = 314$ рад/с – круговая частота.

И.2 Тепло, отведенное от кабеля за счет теплопроводности

Выделяющееся тепло через изоляцию (И) кабеля, оболочку (О), воздух (В) в трубе и саму трубу (Т) уходит в окружающий грунт (Г), встречая на своем пути тепловое сопротивление этих слоев:

$$R_И = \frac{\rho_И}{2\pi} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right), \quad (И.9)$$

$$R_О = \frac{\rho_О}{2\pi} \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right), \quad (И.10)$$

$$R_В = \frac{\rho_В}{2\pi} \ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right), \quad (И.11)$$

$$R_Т = \frac{\rho_Т}{2\pi} \ln\left(\frac{r_6}{r_{51}}\right), \quad (И.12)$$

$$R_Г = \frac{\rho_Г}{2\pi} \ln\left(\frac{2h}{r_6}\right), \quad (И.13)$$

где $R_И$, $R_О$, $R_В$, $R_Т$, $R_Г$ – тепловые сопротивления изоляции, оболочки, воздуха, трубы и грунта соответственно;

$\rho_и$, $\rho_о$, $\rho_в$, $\rho_т$, $\rho_г$ - удельные тепловые сопротивления изоляции, оболочки, воздуха, трубы и грунта соответственно;

h – глубина, на которой проложен кабель.

В трехфазных сетях прокладывают трехфазные группы однофазных кабелей, что для каждой из фаз ухудшает условия отвода тепла в грунт. Это можно учесть, считая для каждой из фаз тепловое сопротивление грунта в три раза большим, чем оно было бы при наличии только одной фазы кабеля – см. рис. И.4.

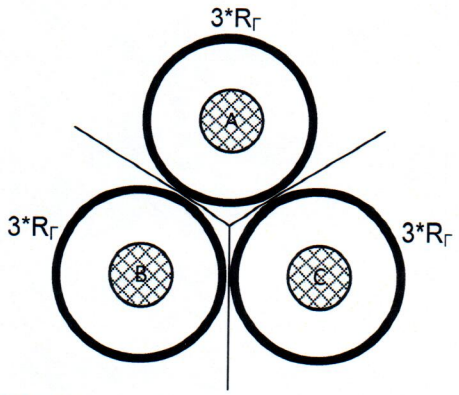
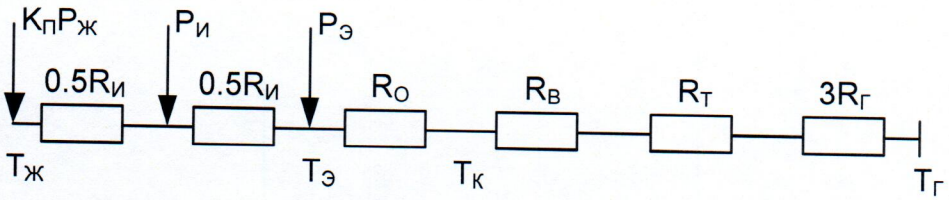


Рисунок И.4 - К вопросу определения теплового сопротивления грунта

Итоговая тепловая схема для расчета температуры одной фазы трехфазной кабельной линии приведена на рис. И.5. Влияние двух других фаз учтено заменой $R_г$ на $3R_г$.



$T_к$ – температура поверхности однофазного кабеля, $T_г$ – температура грунта (обычно принимается равной 20°С), $К_п$ – коэффициент, учитывающий рост потерь в жиле кабеля за счет поверхностного эффекта (для медной жилы см. табл. А.1).

Рисунок И.5 - Расчетная схема теплового баланса кабельной линии

Таблица И.1 - Коэффициент поверхностного эффекта $К_п$ для медной жилы

$F_ж$, мм^2	150	200	250	300	400	600	750	1000	1250	1500
$К_п$, о.е.	1,006	1,012	1,018	1,026	1,040	1,068	1,145	1,239	1,335	1,439

С помощью рис. И.5 несложно записать различные уравнения теплового баланса (по аналогии с законом Ома для электрической цепи):

- выражение с температурой жилы

$$T_Ж - T_Г = K_П P_Ж \left(R_И + R_O + R_B + R_T + 3R_Г\right) + P_И \left(0.5R_И + R_O + R_B + R_T + 3R_Г\right) + \\ + P_Э \left(R_O + R_B + R_T + 3R_Г\right) \qquad (И.14)$$

- выражение с температурой поверхности кабеля

$$T_К - T_Г = K_П P_Ж \left(R_B + R_T + 3R_Г\right) + P_И \left(R_B + R_T + 3R_Г\right) + P_Э \left(R_B + R_T + 3R_Г\right) \qquad (И.15)$$

И.3 Учет конвекции имеющегося в трубе воздуха

Мощность, отведенная от кабеля к трубе за счет теплопроводности воздуха, заполняющего трубу, составляет (в расчете на 1 м длины):

$$\Delta P_B = \frac{\Delta T}{R_B} = \alpha_B \cdot \frac{2\pi}{\ln(r_5/r_4)} \cdot \Delta T \qquad (И.16)$$

где ΔТ – разность температур поверхности кабеля и трубы, К;

$\alpha_в$ – удельная теплопроводность воздуха, Вт/(м·К), определяемая по формуле (И.17).

$$\alpha_B = 1/\rho_B \qquad (И.17)$$

Мощность, отведенная от кабеля к трубе за счет конвекции воздуха, может быть оценена (в расчете на 1 м длины):

$$\Delta P_{BK} = \alpha_{BK} \cdot S \cdot \Delta T = \alpha_{BK} \cdot (2\pi \cdot r_4) \cdot \Delta T\,, \qquad (И.18)$$

где $\alpha_{вк}$ – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м^2·К);

ΔТ – разность температур поверхности кабеля и трубы, К;

S – площадь боковой поверхности участка кабеля длиной 1 м, м^2, определяемая по формуле (И.19).

$$S = (2\pi \cdot r_4) \cdot 1\,. \qquad (И.19)$$

Относительная роль конвекции воздуха в деле охлаждения кабеля составляет

$$\frac{\Delta P_{BK}}{\Delta P_B} = \frac{\alpha_{BK}}{\alpha_B} \cdot \left[r_4 \cdot \ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right) \right] \qquad (И.20)$$

Выполним оценку роли конвекции. Как правило, труба для прокладки кабеля имеет диаметр, который в 1,5 - 2,0 раза больше диаметра кабеля, т.е. r_5/r_4 = 1,5 ÷ 2,0, и тогда $\ln(r_5/r_4)$ = 0,4 ÷ 0,7. Диаметр кабеля может составлять до 5 - 10 см, а его радиус – до 0,02 - 0,05 м. Теплопроводность воздуха зависит от его температуры и при температуре поверхности кабеля от 70 до 90 °С может быть принята $\alpha_в$ = 0,030 Вт/(м·К).

Коэффициент теплопередачи конвекцией $\alpha_{вк}$ зависит от температуры воздуха и значительного числа других факторов, учет которых в общем случае невозможен. Для кабелей при температуре от 70 °С до 90 °С предлагается принимать $\alpha_{вк}$ = 5 Вт/(м^2/К).

Подставив указанные цифры, найдем $\Delta P_{ВК}/\Delta P_В$ = 1,5 ÷ 6,0, т.е. именно конвекция является главным механизмом передачи тепла от кабеля к трубе. Суммарная же передача тепла через воздух, расположенный между кабелем и трубой, может быть определена как

$$\Delta P_B + \Delta P_{BK} = \Delta P_B \cdot \left(1 + \frac{\Delta P_{BK}}{\Delta P_B}\right). \qquad (И.21)$$

Сравнивая выражения $\Delta P_В$ и $\Delta P_В + \Delta P_{ВК}$ становится ясно, что конвекцию можно учесть, если в уравнениях (И.14) - (И.15) вместо теплопроводности $\alpha_в$ использовать $\alpha_в'$:

$$\alpha_B' = \alpha_B \cdot \left(1 + \frac{\Delta P_{BK}}{\Delta P_B}\right) = \alpha_B \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{BK}}{\alpha_B}\left[r_4 \cdot \ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)\right]\right) = \alpha_B + \alpha_{BK} \cdot \left[r_4 \cdot \ln\left(\frac{r_5}{r_4}\right)\right]. \qquad (И.22)$$

Это же в полной мере относится и к обратной величине – удельному тепловому сопротивлению $\rho_В = 1/\alpha_в$, вместо которого надо использовать $\rho_в' = 1/\alpha_в'$.

И.4 Определение допустимого тока кабеля

Для изоляции из сшитого полиэтилена, которая наиболее часто применяется для современных однофазных кабелей 6 - 500 кВ, длительно допустимая температура не должна быть более 90 °С. Приняв температуру жилы кабеля $Т_Ж$ = 90 °С, из уравнения теплового баланса (И.14) найдем длительно допустимый ток кабеля

$$I_{Д90} = \sqrt{\frac{T_Ж - T_Г - P_И\left(0{,}5R_И + R_О + R_В + R_Т + 3R_Г\right)}{K_П R_Ж\left(R_И + R_О + R_В + R_Т + 3R_Г\right) + R_Ж\left(P_Э / P_Ж\right)\left(R_О + R_В + R_Т + 3R_Г\right)}}. \qquad (И.23)$$

И.5 Пример расчета

Рассмотрим пример расчета для трехфазной группы однофазных кабелей 110 кВ с медными жилой с площадью сечения $F_Ж$ = 1000 мм^2 и экраном площадью сечения 240 мм^2.

Приняты следующие данные:

удельное тепловое сопротивление изоляции $\rho_И$ = 3,5 К·м/Вт,

удельное тепловое сопротивление оболочки $\rho_О$ = 3,5 К·м/Вт,

температура грунта $Т_Г$ = 20 °С,

глубина заложения кабеля h = 1 м,

стандартное размерное отношение трубы SDR = 11 (типовое для кабельных сетей),

$$r_1 = \sqrt{\frac{F_Ж}{\pi}} = 0{,}018\,м,$$

$$r_2 = r_1 + \Delta_{ЖЭ} = 0{,}033\ м,$$

$$r_3 = \sqrt{r_2^2 + \frac{F_Э}{\pi}} = 0{,}034\ м,$$

$$r_4 = r_3 + \Delta_{ОБ} = 0{,}04\ м,$$

$$r_5 = 0{,}5 \cdot D_T - D_T / SDR,$$

$$r_6 = 0{,}5 \cdot D_T,$$

где $\Delta_{ЖЭ}$ – толщина изоляции кабеля, м;

$\Delta_{ОБ}$ – толщина оболочки, м;

$D_Т$ – внешний диаметр трубы, м;

SDR – стандартное размерное отношение трубы.

Результаты расчетов допустимого тока по (И.23) сведены в табл. И2 в зависимости от двух основных влияющих факторов – внешнего диаметра трубы $D_Т$ = 0,110 – 0,315 м (от 110 до 315 мм) и удельного теплового сопротивления грунта $\rho_Г$ = 1 ÷ 3 К·м/Вт.

Таблица И.2 - Длительно допустимый ток трехфазной группы однофазных кабелей 110 кВ 1000/240 мм² определенный по (И.23) в зависимости от основных влияющих факторов (потерь в экранах нет)

№	$D_Т$, мм	Удельное тепловое сопротивление грунта $\rho_Г$, К·м/Вт					
		1	1,2	1,5	2	2,5	3
I. Фазы кабеля расположены в грунте сомкнутым треугольником							
0	нет	1057	980	890	782	706	648
II.Фазы кабеля расположены в грунте треугольником на расстоянии между осями, равном $D_Т$							
1	110	1082	1003	912	802	724	665
2	160	1112	1033	940	828	748	687
3	225	1143	1062	968	854	772	709
4	315	1176	1094	998	881	798	734

Окончание таблицы И.2

№	D_T, мм	Удельное тепловое сопротивление грунта $\rho_Г$, К·м/Вт					
		1	1,2	1,5	2	2,5	3
III. Фазы кабеля расположены в трубах треугольником на расстоянии между осями, равном D_T							
1	110	999	938	863	771	703	649
2	160	982	930	864	780	716	665
3	225	1000	950	887	805	742	691
4	315	1027	978	917	837	774	723

В случаях I, II труба отсутствует, фазы кабеля проложены в открытом грунте вплотную друг к другу (I) или на расстоянии D_T (II). При этом при вычислениях по (И.23) удельные тепловые сопротивления $\rho_В$ и $\rho_Т$ приняты такими же как $\rho_Г$, что как раз и означает отсутствие воздуха (В) и полимерной трубы (Т).

В случае III фазы кабеля проложены в трубах, расположенных сомкнутым треугольником, расстояние между осями фаз, таким образом, будет составлять D_T. Удельные тепловые сопротивления воздуха и трубы приняты на уровне $\rho_В$ = 1/30 К·м/Вт и $\rho_Т$ = 3 К·м/Вт, а коэффициент конвекции воздуха $\alpha_{ВК}$ = 5 Вт/м^2·К.

Расчеты табл. И.2 выполнены для случая без потерь в экранах $P_Э/P_Ж$ = 0 и $P_Э$ = 0, так как для кабелей классов напряжения 110 кВ схемы заземления экранов рис. И.2б и рис. И.2в являются типовыми.

Удельное тепловое сопротивление железобетонного лотка составляет около 1 - 2 К·м/Вт, что близко к свойствам грунта. Поэтому выводы, которые можно будет сделать на основе анализа случая I из табл. И.2, в полной мере относятся не только к прокладке кабеля в грунте, но и к прокладке кабеля в железобетонных лотках.

Результаты расчетов по (И.23) совпадают с каталогом фирмы ABB, где в случае прокладки кабелей 1000/240 мм^2 с транспонированными экранами сомкнутым треугольником в грунте допустимые токи при тепловом сопротивлении грунта 1, 2 и 3 К·м/Вт составляют соответственно 1095, 810, 668 А.

В таблице И.3 представлены относительные значения допустимых для кабеля токов, анализ которых позволяет сделать несколько важных выводов, справедливых для любых кабельных линий, не имеющих паразитных токов и потерь мощности в экранах (схемы заземления рис. И.2б и рис. И.2в):

- по мере удаления фаз кабеля друг от друга пропускная способность кабеля возрастает (коэффициент $K_1 = I_{II}/I_I$ от 1,02 до 1,13);

- помещение кабеля в трубу, заполненную воздухом, лишь незначительно снижает его пропускную способность (коэффициент $K_2 = I_{III}/I_{II}$ от 0,92 до 0,99);

- замена традиционной прокладки фаз кабеля сомкнутым треугольником на их трубное расположение в среднем почти не меняет пропускной способности линии (коэффициент $K = K_1 \cdot K_2 = I_{III}/I_I$ от 0,93 до 1,12, т.е. в среднем около 1,0);

- в грунтах с повышенным удельным сопротивлением $\rho_г > 1,5 \div 2,0$ К·м/Вт замена сомкнутого треугольника на трубное расположение при верном выборе диаметра трубы может повысить пропускную способность линии до 12% (коэффициент $K = K_1 \cdot K_2 = I_{III}/I_I$ до 1,12).

Таблица И.3 - Относительные значения допустимых для кабеля токов, полученные из табл. И.2

№	$D_т$, мм	Удельное тепловое сопротивление грунта $\rho_г$, К·м/Вт					
		1	1,2	1,5	2	2,5	3
$K_1 = I_{II}/I_I$ – поправочный коэффициент на расстояние между фазами							
1	110	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03
2	160	1,05	1,05	1,06	1,06	1,06	1,06
3	225	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09
4	315	1,11	1,12	1,12	1,13	1,13	1,13
$K_2 = I_{III}/I_{II}$ – поправочный коэффициент на трубы							
1	110	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
2	160	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,97
3	225	0,87	0,89	0,92	0,94	0,96	0,97
4	315	0,87	0,89	0,92	0,95	0,97	0,99
$K = K_1 \cdot K_2 = I_{III}/I_I$ – поправочный коэффициент на прокладку кабелей в трубах							
1	110	0,95	0,96	0,97	0,99	1,00	1,00

Окончание таблицы И.3

№	$D_т$, мм	Удельное тепловое сопротивление грунта $\rho_г$, К·м/Вт

		1	1,2	1,5	2	2,5	3
2	160	0,93	0,95	0,97	1,00	1,01	1,03
3	225	0,95	0,97	1,00	1,03	1,05	1,07
4	315	0,97	1,00	1,03	1,07	1,10	1,12

Заключение

Прокладка кабельных линий в полимерных трубах является современным высокотехнологичным способом строительства электрических сетей, который имеет ряд преимуществ над прокладкой линий в открытом грунте или железобетонных лотках.

Пропускная способность кабельных линий в трубах не только не уступает другим известным способам прокладки, но в ряде случаев даже превосходит их.

Библиография

[1] ТУ 2248-003-34311042-2015 Трубы защитные «Протекторфлекс» из полимерной композиции повышенной термостойкости для прокладки электрических кабелей. Технические условия

ОКС 23.040.20
83.140.30

ОКП 224810

Ключевые слова: трубы Протекторфлекс из полимерной композиции повышенной термостойкости, защитное покрытие, основные параметры и размеры, методы расчета, тепловой расчет, механический расчет