

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ЗАЩИТНОМ ПОЛИМЕРНОМ ТРУБОПРОВОДЕ С ЗАМЕРЗАЮЩЕЙ ВОДОЙ

Никулина Т.Г.

Представлены результаты экспериментальных исследований давления в защитных полимерных трубопроводах, применяемых на кабельных линиях связи, создаваемого при замерзании воды в трубопроводе. Описана методика эксперимента. Приведены оценки давления в трубопроводе.

Постановка задачи

На отечественных сетях связи широко используется технология строительства волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП) с использованием защитных полимерных трубопроводов (ЗПТ) или, другими словами, прокладки оптического кабеля (ОК) в междугородной кабельной канализации (МКК) [1-4]. Технология прокладки ОК в МКК обладает важнейшим преимуществом по сравнению с технологией прокладки бронированных кабелей непосредственно в грунт: это, во-первых, возможность замены и резервирования ОК без выполнения больших объемов земляных работ; во-вторых, использование более дешевых облегченных кабелей. Однако, при повреждениях трубопроводов, нарушении их герметичности с последующим заполнением их водой, грязью, заиливанием и т.п. кабель, проложенный в канале защитного трубопровода, оказывается в более тяжелых условиях эксплуатации по сравнению с проложенными непосредственно в грунт бронированными ОК.

Анализ опыта эксплуатации ВОЛП с оптическим кабелем в защитном полимерном трубопроводе показывает, что вероятность проникновения влаги в каналы междугородной кабельной канализации достаточно велика. Учитывая, что более чем на 70% территории нашей страны грунт в зимнее время промерзает на глубину до 1,4 м и более, достаточно велика вероятность и вмерзания кабеля при заполнении трубопровода с кабелем водой. Представляет интерес, как при этом будет вести себя оптический кабель облегченной конструкции, будет ли наблюдаться увеличение затухания.

На сегодняшний день имеется целый ряд работ отечественных и зарубежных авторов [5-7], посвященных исследованию изменения затухания в волокне при действии раздавливающих нагрузок на кабель. Однако, для того, чтобы воспользоваться изложенными в работах методика-

ми расчета затухания, необходимо определить, какие давления будут возникать в полимерных трубопроводах при замерзании воды.

Исследования давлений, возникающих при замерзании в кабельном канале воды, проводились и ранее. Согласно экспериментальным данным П.В. Бриджмена, давление замерзающей воды в замкнутых резервуарах при температуре (-20°C) может достигать 200 МПа [8]. В работе [9] представлены результаты исследований давления в асбоцементных трубах с замерзающей водой, которые показали, что давление воды при переходе в лед в закрытом цилиндре, полностью заполненном водой, составляет 83,4 МПа. Давление замерзающей воды в экспериментальном стенде с кабелем марки КМБ-4 лежит в пределах 60-70 МПа, что на 16-20 % меньше давления, развиваемого без кабеля. Разница в величине давлений объясняется уменьшением объема воды и деформацией кабеля под воздействием замерзающей воды.

Следует учитывать, что поведение трубопровода, выполненного из асбоцемента и полиэтилена, под действием нагрузок различно. Труба из полиэтилена, испытывая давление замерзающей воды, может менять свой диаметр (расширяться) [4], вследствие чего, давление в трубопроводе будет изменяться. Таким образом, давление на проложенный в полимерном трубопроводе кабель будет отличаться, от давления на тот же кабель, проложенный в асбоцементную трубу.

Для того чтобы оценить, какое давление воздействует на оптический кабель в полимерном трубопроводе, была разработана методика и выполнены экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования давления в полимерном трубопроводе с замерзающей водой

В целях экспериментального исследования давления, создаваемого в полимерном трубопроводе замерзающей водой, предложена методика, основанная на измерении деформаций трубы при замерзании воды и последующем расчете давления в ЗПТ по известным соотношениям между деформацией полого цилиндра и внутренним давлением в нем [10]. Эксперимент выполнялся в следующей последовательности.

Образец ЗПТ заливался водой и герметизировался с двух сторон заглушками, которые стягивались двумя пластинами. Пластины насаживались на штыри (см. рис. 1).



Рис. 1. Схема экспериментальной установки

До проведения эксперимента измерялся диаметр ЗПТ в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях по длине ЗПТ с шагом 4 см. Затем, конструкция помещалась в термокамеру и выдерживалась при температуре (-16°C) в течение восьми часов. Вода в образце ЗПТ замерзала полностью. Под действием давления со стороны замерзающей воды ЗПТ деформировался. После полного промерзания диаметр образца повторно измерялся в контрольных точках. Таким образом, определялась деформация трубопровода. Экспериментальные исследования выполнялись с тремя образцами ЗПТ, имевшими различные геометрические размеры (диаметр и толщина стенки трубопровода). Характеристики образцов ЗПТ приведены в таблице 1 [10].

Таблица 1. Характеристики образцов ЗПТ

Параметр	Значение		
	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Модуль Юнга $E_{ТР}$, МПа	513,3	426,8	331,7
Коэффициент Пуассона $\mu_{ТР}$	0,43		
Внешний диаметр $D_{ВН}$, мм	40	32	25
Толщина стенки S , мм	3,5	3	2,3

Длина ЗПТ составляла 37 см, число контрольных точек: 9.

Для каждого образца ЗПТ эксперимент выполнялся с талой снеговой водой. Для того чтобы учесть влияние состава воды на величину деформации трубопровода, с образцом №1 эксперимент был проведен также с водопроводной и дистиллированной водой.

Зависимость деформации от внешнего давления для цилиндра из однородного материала

Для полого цилиндра, находящегося под воздействием равномерного давления (рис. 2), можно записать [11]:

$$\Delta_a = \frac{R_a}{E_{ТР}} \cdot \left[- (1 + \mu_{ТР}) \frac{R_b^2 (p_b - p_a)}{R_b^2 - R_a^2} + (1 - 2\mu_{ТР}) \frac{p_a R_a^2 - p_b R_b^2}{R_b^2 - R_a^2} \right]; \quad (1)$$

$$\Delta_b = \frac{R_b}{E_{ТР}} \cdot \left[- (1 + \mu_{ТР}) \frac{R_a^2 (p_b - p_a)}{R_b^2 - R_a^2} + (1 - 2\mu_{ТР}) \frac{p_a R_a^2 - p_b R_b^2}{R_b^2 - R_a^2} \right]; \quad (2)$$

где R_a , R_b – внутренний и внешний радиусы цилиндра соответственно;

Δ_a и Δ_b – деформация внутренней и внешней стенок цилиндра;

$E_{ТР}$, $\mu_{ТР}$ – модуль Юнга и коэффициент Пуассона цилиндра.

Образец ЗПТ при замерзании воды будет испытывать внутреннее, равномерно-распределенное давление p_a . При этом внешнее давление будет отсутствовать, то есть $p_b=0$. Тогда деформация внешнего радиуса цилиндра будет равна:

$$\Delta_b = \left(\frac{R_b}{E_{ТР}} \right) \cdot (1 - \mu_{ТР}) \cdot \left(\frac{R_a^2 p_a}{R_b^2 - R_a^2} \right). \quad (3)$$

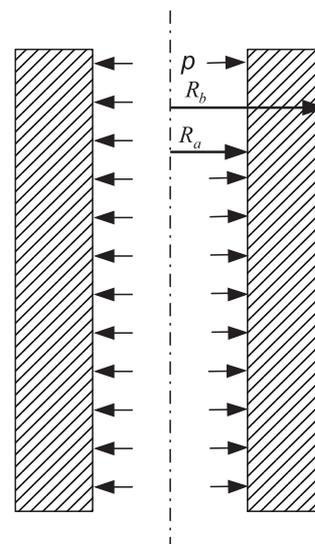


Рис. 2. Схема приложения нагрузки в полом цилиндре

Отсюда, зная деформацию Δ_b , можно определить внутреннее давление на стенки ЗПТ p_a :

$$p_a = \frac{\Delta_b (R_b^2 - R_a^2) \cdot E_{\text{ТР}}}{R_b R_a^2 (2 - \mu_{\text{ТР}})} \quad (4)$$

Таким образом, расчет давления в ЗПТ с замерзающей водой выполняется по формуле (4). Для того, чтобы воспользоваться этой формулой, следует определить изменение внешнего радиуса ЗПТ Δ_b . Величина Δ_b может быть найдена через приращение объема ЗПТ при замерзании в ней воды. Будем считать, что сечение деформированной трубы можно аппроксимировать эллипсом. Используя массив измеренных диаметров ЗПТ, разобьем всю длину образца ЗПТ на элементарные сегменты, которые будут представлять собой усеченные конусы с основанием эллипса. Результирующий объем будет равен сумме объемов элементарных сегментов. Для нахождения объема элементарного сегмента воспользуемся следующей формулой [12]:

$$V = \frac{1}{3} L (S_0 + \sqrt{S_0 S_1} + S_1),$$

где L – длина ЗПТ; S_i – площади оснований эллипсоидного цилиндра.

Зная деформацию ЗПТ, определим приращение объема ΔV . Будем считать, что это приращение равномерно распределяется вдоль всей длины, тогда Δ_b будет равно

$$\Delta_b = \frac{\Delta V}{\pi \cdot L \cdot (R_b' + R_a)}, \quad (5)$$

где R_b' – внешний радиус ЗПТ после деформации; R_a – внешний радиус ЗПТ до деформации.

Результаты эксперимента

Расчет давления в ЗПТ был выполнен по формуле (4). Ниже на рис. 3 представлены графики распределения деформаций по длине образцов ЗПТ №1-3.

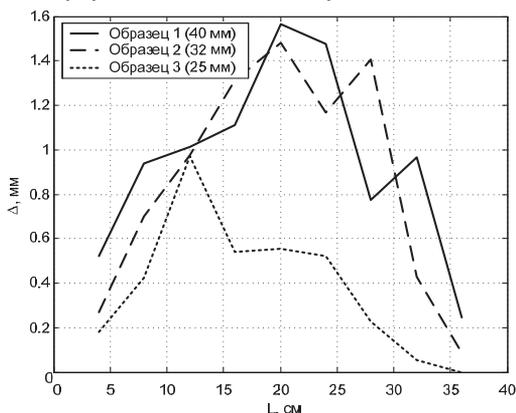


Рис. 3. Экспериментальные графики распределения деформаций по длине образцов ЗПТ №1-3 (используется талая вода)

В таблице 2 приведены результаты обработки экспериментальных данных по формулам (4)-(5).

Таблица 2. Результаты экспериментальных исследований давления в образцах ЗПТ №1-3 (используется талая вода)

Параметр	№1	№2	№3
		40/3,5	32/3
Δ_b , мм	0,46	0,51	0,19
p_a , МПа	0,87	1,12	0,25

Результаты исследований давления при использовании талой, дистиллированной и водопроводной воды, представлены на рис. 4 и в таблице 3. Испытания проводились с образцом ЗПТ №1.

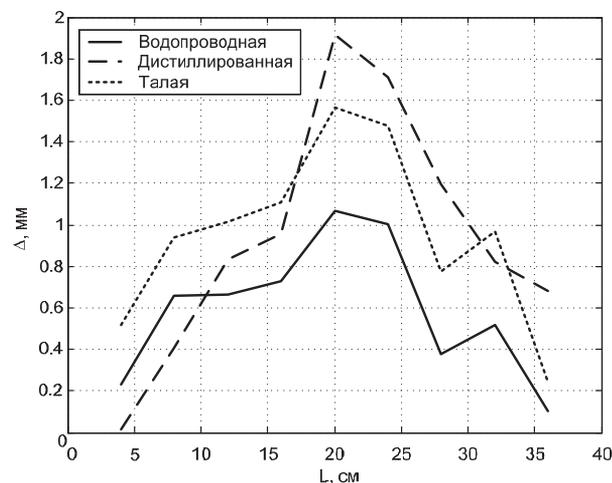


Рис. 3. Экспериментальные графики распределения деформаций по длине образца ЗПТ №1

Как видно из графика рис. 3, наибольшая деформация ЗПТ наблюдалась при замерзании воды без примесей. Это вывод подтверждают и результаты расчетов (см. таблицу 3).

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований давления в образце ЗПТ №1

Параметр	1	2	3
$\Delta V, 10^{-6} \text{ м}^3$	9,97	20	18,8
Δ_b , мм	0,24	0,49	0,46
p_a , МПа	0,47	0,93	0,87
1 – водопроводная 2 – дистиллированная 3 – талая вода			

Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

В ЗПТ диаметром 40 мм, 32 мм и 25 мм, применяемых для кабельных линий связи, при отсутствии кабеля в трубопроводе и без учета действия внешней среды, давление при замерзании талой воды достигает значений порядка 0,87; 1,12 и 0,25 МПа, соответственно.

На давление в трубопроводе влияет химический состав воды. Максимальное давление при замерзании создает дистиллированная вода. В ЗПТ с внешним диаметром 40 мм, при замерзании воды давление достигает 0,93 МПа.

Литература

1. Калягин А.М. Исследование линии оптического кабеля, проложенного в защитной пластмассовой трубе в многолетнемерзлотных грунтах // *Электросвязь*. № 12, 2006. – С. 11-15.
2. Киушов А.В. Технология ЗПТ. Теория и практика // *Lightwave RE*, №3, 2005. – С. 36 - 41.
3. Спиридонов В.Н. Реальные перспективы использования ЗПТ при строительстве ВОЛС // *Lightwave RE*, №4, 2006. – С. 28 - 30.
4. Сабинин Н.К. Экономика строительства ВОЛС подземной прокладки // *Lightwave RE*, №2, 2003. – С. 14 - 20.
5. Ларин Ю.Т. Оптические кабели: методы расчета конструкций. Материалы. Надежность и стойкость к ионизирующему излучению. М.: Престиж, 2006. – 304 с.
6. Шитов В.В., Григораш В.В., Шкалов А.А. Исследование оптико-механических характеристик оптических волокон // *Электросвязь*. №8, 1982. – С. 8 - 11.
7. H. Murata. Handbook of Optical Fibers and Cables: Second Edition. – New York: Marcel Dekker, 1996. – 519 p.
8. Г.А. Зотов и др. Эксплуатация скважин в неустойчивых коллекторах. М.: Недра, 1987. – 172 с.
9. И.Ф. Ляхович, С.М. Рак, С.Т. Поляков. Защита кабелей от повреждений замерзающей водой // *Вестник связи*. № 9, 1985. – С. 30 - 31.
10. ГУ 5296-003-27459005-2003. Трубы защитные пластмассовые для линейных сооружений связи. СПб.: 2003. – 29 с.
11. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. ПНАЭ Г-7-002-86. М.: Энерго-атомиздат, 1989. – 525 с.
12. Г.А. Корн, Т.М. Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974. – 832 с.
13. В. Гриффен. Прокладка оптических кабелей в трубках. Plumettaz, 1993. – 138 с.

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА МАГИСТРАЛИ VME

Хворенков В.В., Юминов О.Б., Пивоваров В.В.

В статье рассмотрен вариант реализации на базе ПЛИС контроллера сопряжения сигнального процессора ADSP-21364 с магистралью VME. Контроллер реализован на базе семейства ПЛИС Cyclone II корпорации Altera-EP2C5Q208I8. Определены предельные скорости обмена информацией при максимальной достоверности при различных условиях эксплуатации.

Введение

Автоматизированное рабочее место центральной аппаратуры комплекса средств КВ-УКВ радиосвязи содержит в своем составе специализированную электронно-вычислительную машину (СЭВМ) и радиомодем (РМ).

СЭВМ предназначена для решения задач канального и сетевого уровней и реализуется на

универсальных микропроцессорах. РМ предназначен для обеспечения канального и физического уровней и реализуется на сигнальных процессорах ADSP-21364.

Обмен информации между этими устройствами осуществляется по магистрали VME. В связи с тем, что устройства имеют разную архитектуру, то для реализации протоколов обмена информацией необходимо разработать специальный контроллер магистрали VME и исследовать его основные технические характеристики.

Целью настоящей статьи является изложение основных подходов к проектированию контроллера магистрали VME и определение предельных скоростей обмена информацией при максимальной достоверности в различных условиях эксплуатации.