

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-6.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/76TVN617.pdf>

Статья опубликована 17.01.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Серебренников А.А. Оценка предельно возможных изгибов полиэтиленовых труб при прокладке // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/76TVN617.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.644.3

Серебренников Анатолий Александрович

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Россия, Тюмень¹

Доктор технических наук, профессор

E-mail: sereb_a_a@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1649-5269>

Оценка предельно возможных изгибов полиэтиленовых труб при прокладке

Аннотация. Используемые технологии строительства и конструкции средств прокладки полиэтиленовых труб должны гарантированно обеспечивать защиту от возникновения дефектов. В противном случае нарушение физико-механических характеристик полиэтилена приведет к уменьшению надежности и, как следствие, не обеспечит требуемых сроков эксплуатации. Одной из возможных причин нарушений являются значительные изгибные напряжения, которые труба может испытывать, продвигаясь по конструктивным элементам средств прокладки. В статье изложена методика оценки этих напряжений, в том числе при прокладке в условиях отрицательных температур.

В основу методики положена зависимость между прочностными характеристиками и произошедшими деформациями. Доказано, что критерием оценки предельного значения изгиба может служить величина изменения предела текучести материала трубы, полученная при испытаниях на растяжение (до и после изгибной нагрузки). Методика проверена комплексом экспериментальных исследований.

В статье представлена и рекомендована к использованию в инженерных расчетах зависимость для выбора геометрических параметров конструкций средств прокладки. Ее соблюдение гарантирует, что изгибные напряжения в трубах, изготовленных из полиэтилена марки ПЭ80, не превысят допустимых. Методика рекомендуется к использованию для проведения аналогичных исследований с изделиями, изготовленными из полимеров других составов и марок.

Ключевые слова: дефекты полиэтилена; экспериментальные исследования; напряжения и деформации; геометрические параметры; расчет конструкций

¹ 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38

Введение

Устойчивое функционирование инфраструктуры городов и других населенных пунктов во многом определяется современным обустройством и развитием инженерных коммуникаций различного назначения. Все более широкое распространение для этих целей получает использование полиэтиленовых трубопроводов [1]. Благодаря своим характеристикам (упругость, пластичность, ударостойкость, нейтральность к ряду продуктов перекачки), полимерные трубы широко используются при строительстве газотранспортных, напорных и сливных водопроводных систем, при прокладке кабелей и других инженерных сетей [7].

Состояние вопроса

Выбор состава и характеристик полимерного материала для изготовления изделий, в том числе и труб, зависит от эксплуатационных нагрузок и природно-климатических условий [3].

Специалистами разных стран признано, что разрывы полиэтиленовых трубопроводов, находящихся под давлением транспортируемого ресурса, как правило, обусловлены дефектами материала, вызванными нарушениями технологии укладки труб или их повреждениями при транспортировке и хранении [8, 9, 11].

Такого рода дефекты могут возникнуть, в том числе и в случаях, когда труба при прокладке испытывает значительные изгибные напряжения. Доказано, что соотношение диаметра изгиба трубы к ее собственному диаметру должно находиться в определенном нормированном соотношении [10]. В случаях, если это соотношение не соблюдено произойдут необратимые деформационные процессы в полиэтилене, нарушающие его физико-механические характеристики.

Ряд стран (Россия, Канада, США и др.), имеющие территории на которых сохраняются продолжительные зимние периоды, заинтересованы в производстве работ по сооружению полиэтиленовых трубопроводов при отрицательных температурных воздействиях. Применение средств прокладки при отрицательных температурах окружающего воздуха регламентируется нормативными документами. Однако, оставалось малоизученным влияние отрицательных температур на прочностные и деформационные характеристики полиэтилена при изгибе. Специальные исследования напряженно – деформированного состояния полиэтиленовых труб при прокладке с изгибом позволяют установить насколько верны, предъявляемые к ним ограничения по температурным условиям [6], заложенные в своде правил по проектированию и строительству (СП 42-103-2003 «Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов»).

Сложность проведения исследований заключается в том, что достоверное фиксирование напряжений, возникающих непосредственно в месте изгиба, затруднено из-за условий проведения замеров и больших погрешностей измерительных приборов в условиях отрицательных температур. Необходим достоверный и доступный подход к оценке возможных изгибов труб для обоснования конструктивных геометрических параметров используемого при прокладке технологического оборудования.

Рабочая гипотеза и методика экспериментов

На основе анализа результатов серии экспериментальных исследований предложена косвенная система оценки, основанная на установлении зависимости между прочностными характеристиками и деформациями, которые претерпевают полиэтиленовые трубы при изгибе.

В качестве рабочей гипотезы выдвинуто следующее предположение - если два перечисленных ниже требования будут выполнены в комплексе, то в трубе не должно происходить необратимых изменений, влияющих на физико-механические характеристики.

Первое требование – отношение диаметра изгиба трубы к ее собственному диаметру после завершения действия изгибающей нагрузки должно быть не менее 20 ($D_{\text{изгиба}} \geq 20d_{\text{трубы}}$) и основано на своде правил по проектированию и строительству газопроводов из полиэтиленовых труб.

Второе требование – после завершения действия изгибающей нагрузки овальность трубы не должна превышать максимально допустимой величины, определенной национальным стандартом Российской Федерации (ГОСТ Р 50838-2009 «Трубы из полиэтилена для газопроводов»).

Образцы труб, подвергшихся испытанию, были изготовлены в ЗАО «Сибгаззаппарат» (г. Тюмень) из полиэтилена марки ПЭ80 и имели сертификаты качества. Исследования проведены на типоразмерах труб (с диаметрами от 20 до 110 мм включительно), которые уже изначально претерпевают изгибные напряжения, т. к. их поставка потребителю с завода возможна в бухтах.

Диаметры изгиба задавались пятью значениями. Максимальные диаметры (меньший изгиб) были близки к соотношению $D_{\text{изгиба}} \geq 20d_{\text{трубы}}$ и гарантированно обеспечивали это соотношение после снятия нагрузки. Минимальные диаметры (большой изгиб) напротив, гарантированно деформировали образцы труб до состояния, при котором возврат к требуемому соотношению был невозможен.

Образцы труб, изгибались специальными приспособлениями на нужный радиус (рис. 1) и находились под нагрузкой фиксированное время. После снятия с приспособления проводились необходимые измерения, которые устанавливали величину овальности сечения по всей длине изгиба и расстояние (а), фиксировавшееся между торцами трубы после завершения ее деформативных изменений (рис. 2).



Рисунок 1. Типовой вид полиэтиленовой трубы под нагрузкой (представлено из работы [4])

Оценка упругих свойств производилась замером величины хорды между концами трубы (а), после принятия ей устоявшейся формы. Эта величина сама по себе не характеризует допустимость или недопустимость изгиба трубы. Такой характеристикой должно служить выдвинутое выше требование ($D_{\text{изгиба}} \geq 20d_{\text{трубы}}$), которое может быть представлено в процентном соотношении как $d_{\text{трубы}}/D_{\text{изгиба}} \leq 5\%$.

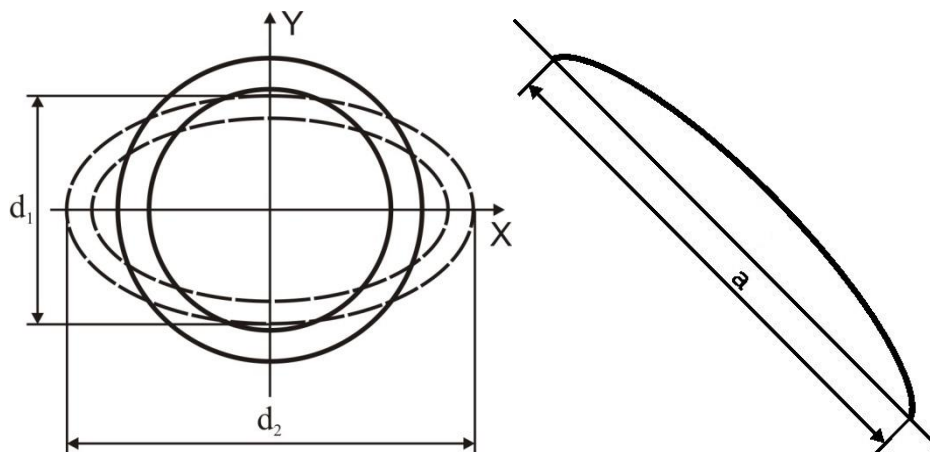


Рисунок 2. Схемы замеров деформативных изменений d_1 , d_2 – диаметры трубы, характеризующие овальность; a – величина хорды (расстояние между торцами трубы) (представлено из работы [4])

Для установления взаимосвязи между диаметром изгиба ($D_{\text{изгиба}}$) и измеряемым расстоянием между торцами трубы (a) была выведена и использована для необходимых расчетов зависимость [4].

Измерения проводились с использованием методов планирования эксперимента, а их результаты обрабатывались с применением известных статистических методов (табл. 1, 2).

Таблица 1

Результаты замеров овальности

Диаметры труб (мм)	Овальность (мм)		Допустимая овальность (мм)
	$D_{\text{изгиба}} < 20d_{\text{трубы}}$	$D_{\text{изгиба}} > 20d_{\text{трубы}}$	
20	$1,35 \pm 0,12$	$1,11 \pm 0,05$	1,2
25	$1,64 \pm 0,07$	$1,36 \pm 0,05$	1,5
32	$2,00 \pm 0,09$	$1,83 \pm 0,09$	2,0
40	$2,71 \pm 0,12$	$2,13 \pm 0,09$	2,4
63	$4,18 \pm 0,05$	$3,43 \pm 0,14$	3,8
110	$7,29 \pm 0,12$	$5,96 \pm 0,10$	6,6

Составлено автором

Таблица 2

Результаты соотношений диаметра трубы к диаметру ее изгиба

Диаметры труб, (мм)	$d_{\text{трубы}}/D_{\text{изгиба}} > 5$ (%)	$d_{\text{трубы}}/D_{\text{изгиба}} < 5$ (%)
20	5,65	4,55
25	5,81	4,14
32	5,90	4,31
40	5,99	4,41
63	5,69	4,11
110	5,91	4,10

Составлено автором

Таким образом были получены образцы труб разного типоразмера у которых соблюдались (белый фон) или не соблюдались (серый фон) изложенные выше требования, положенные в основу рабочей гипотезы.

Только в одном случае (для трубы диаметром 32 мм) среднестатистическая величина овальности при изгибе на недопустимый диаметр оказалась примерно равной допустимому значению. Однако второе требование – среднестатистическая величина предельного изгиба для этого типоразмера труб составило 5,9 % и, также как для всех остальных, превышало допустимое значение.

Для проверки правоты рабочей гипотезы был использован стандартный метод испытаний на растяжение (ГОСТ 11262-80 «Пластмассы. Метод испытания на растяжение»), который взаимно увязывает характеристики изгибных и растягивающих напряжений. Критерий оценки основывался на утверждении о том, что если материал трубы, подвергавшейся изгибной нагрузке, не уменьшил предел текучести по сравнению с этим же показателем материала трубы, которая изгибной нагрузке не подвергалась, то деформация произошла в допустимых диапазонах. В противном случае можно утверждать, что произошла деформация при изгибе, приведшая к недопустимым нарушениям прочностных характеристик.

Испытания на растяжение также проводились в ЗАО "Сибгазаппарат" на аттестованном оборудовании сертифицированной научно-исследовательской лаборатории.

Образцы-лопатки вырезались из полиэтиленовых труб (не подверженных и подверженных изгибающей нагрузке) и далее на разрывной машине определялся их предел текучести (рис. 3).



Рисунок 3. Общий вид разрывной машины и образцов-лопаток (до и после испытаний) (представлено из работы [5])

В результате серии экспериментов было установлено, что для образцов-лопаток, которые не подвергались изгибу, предельные минимальные напряжения при растяжении составили 19,5 МПа (из общей выборки для всего перечисленного типоразмера труб).

Далее испытания проводились с образцами-лопатками, вырезанными из труб, подвергавшимися изгибу. Типовая диаграмма представлена на рисунке 4, а все результаты сведены в таблицу 3.

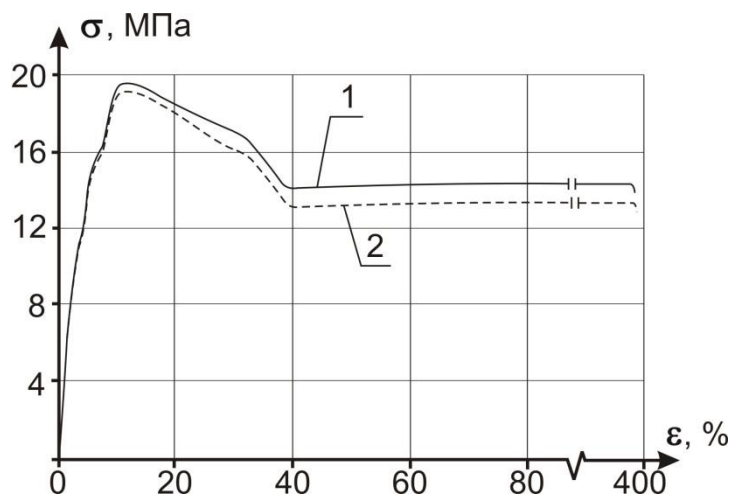


Рисунок 4. Типовая диаграмма изменения напряжений (для образцов из трубы $d = 63$ мм с диаметрами изгиба: 1 – 920 мм; 2 – 720 мм) (представлено из работы [5])

Таблица 3

Сводные результаты экспериментов

Диаметры труб (мм)	Пределы текучести (МПа) образцов-лопаток	
	При изгибе $D_{\text{изгиба}} < 20d_{\text{трубы}}$	При изгибе $D_{\text{изгиба}} > 20d_{\text{трубы}}$
20	$19,2 \pm 0,11$	$19,5 \pm 0,17$
25	$19,3 \pm 0,13$	$19,6 \pm 0,13$
32	$19,3 \pm 0,18$	$19,7 \pm 0,13$
40	$19,1 \pm 0,13$	$19,5 \pm 0,11$
63	$19,3 \pm 0,13$	$19,6 \pm 0,08$
110	$19,2 \pm 0,13$	$19,5 \pm 0,11$

Составлено автором

Результаты, выводы, рекомендации

Сопоставление результатов (таблицы 1, 2 и 3) экспериментально подтверждает, что условием не нарушений физико-механических характеристик полиэтиленовой трубы является полная обратимость ее деформации после приложения изгибной нагрузки по двум параметрам (овальность и соотношение диаметра изгиба к диаметру трубы). Во всех случаях невыполнение этих двух требований (в комплексе) приводило к уменьшению минимально возможного предела текучести.

Подтверждено, что критерием оценки предельного значения изгиба может служить значение изменения предела текучести материала трубы, полученное при испытаниях на растяжение (до и после изгибной нагрузки). Если для труб, подвергавшихся изгибу, предел текучести материала не ниже минимального значения этого параметра, то изгиб осуществлен в допустимой зоне. Если ниже – значит, прочностные характеристики трубы нарушены и изгиб выполнен в недопустимых пределах.

В результате проведения комплекса экспериментальных исследований доказано, что предложенная методика правомерна. Она использована для проверки теоретических расчетов [2, 10] по наблюдениям за изгибными деформациями полиэтиленовых труб при различных температурах (в диапазоне от +20 °C до -20 °C).

Полученные результаты теоретических расчетов для температуры окружающего воздействия минус 20 °С отражены графически (рис. 5). Результаты проверены экспериментально по изложенной выше методике.

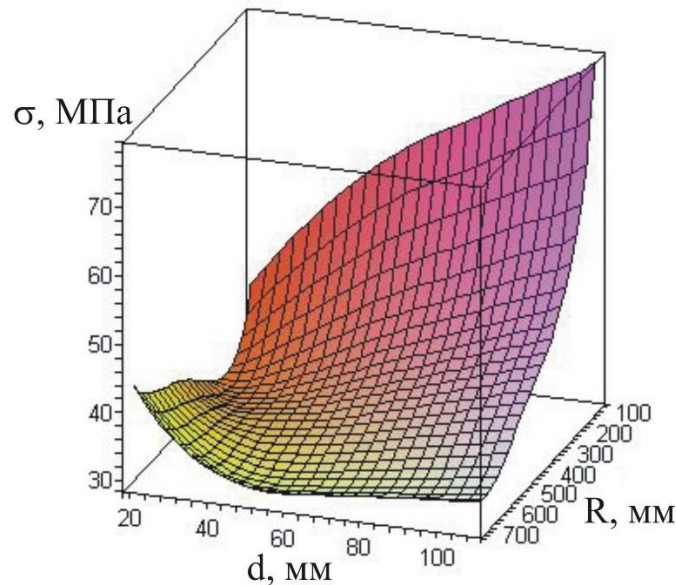


Рисунок 5. Изменение напряжений для труб исследованных типоразмеров в зависимости от радиуса изгиба (при температуре -20 °С) (представлено из работы [2])

Представленная зависимость описывается сложным полиномом, использование которого при выборе геометрических параметров конструкции изгибающего средства непривлекательно. Поэтому для инженерных расчетов предлагается простая линейная локализация

$$R \geq 7,1d + 9,$$

где: R – радиус конструкции изгибающего устройства (мм);

d – диаметр изгибаемой трубы (мм).

Соблюдение этой рекомендации при производстве работ с температурой окружающего воздуха до минус 20 °С гарантирует, что изгибные напряжения в трубах, изготовленных из полиэтилена марки ПЭ80, не превысят допустимых.

Изложенная методика рекомендуется к использованию для проведения аналогичных исследований с изделиями, изготовленными из полимеров других составов и марок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров Д. А. Использование труб из полимерных материалов // Евразийский научный журнал. – 2016. №6. – С. 317-329.
2. Лавров И. Г. Напряженно-деформированное состояние полиэтиленовых трубопроводов при бестраншейной прокладке в условиях отрицательных температур. Автореф. Дисс. ... кан-та техн. наук. – Тюмень, 2007. – 16 с.
3. Марков А. В., Власов С. В. Принципы выбора полимерных материалов для изготовления изделий // Полимерные материалы. – 2004. – № 6-8.
4. Серебренников А. А., Серебренников Д. А. Средства для бестраншейной прокладки полиэтиленовых трубопроводов (конструкции, исследования, расчеты): монография. – Тюмень: ТИУ, 2016. – 112 с.
5. Серебренников А. А., Лавров И. Г. Определение допустимых радиусов изгиба труб из полиэтилена ПЭ80 в зависимости от температурного фактора // Нефть и газ. – 2007. № 2. – С. 42-44.
6. Стручков А. С. Хладостойкость и особенности сопротивления разрушению нефтегазовых пластмассовых труб. Автореф. дис. ... д-ра техн., наук. – Якутск, 2005. – 34 с.
7. Шайдаков В. В., Грогуленко В. В., Михайлов П. Г. Колтюбинговые трубы на основе полимерных материалов // Экспозиция. Нефть. Газ. – 2014. – № 1(33). – С. 62-64.
8. Handbook of Polyethylene Pipe Second Edition. Published by the Plastics Pipe Institute. – 611 p.
9. Najafi M. 2007 Pipe Bursting Projects – ASCE Manuals and Reports on Engineering Practic. – 112 p.
10. Serebrennikov A., Serebrennikov D., Hakimov Z. Polyethylene pipeline bending stresses at an installation. American Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. № 9-2. – P. 350-355.
11. Simicevic J Sterling R 2001 Guidelines for Pipe Bursting TTC Technical Report. – 47 p.

Serebrennikov Anatoly Aleksandrovich

Industrial university of Tyumen, Russia, Tyumen

E-mail: sereb_a_a@mail.ru

Estimation of maximum possible bends polyethylene pipes for laying

Abstract. The used construction technologies and the construction of the means for laying polyethylene pipes must be guaranteed to provide protection from the occurrence of defects. Otherwise, a violation of the physico-mechanical characteristics of polyethylene will lead to a decrease in reliability and, as a result, will not provide the required service life. One of the possible causes of disturbances is significant flexural stresses that the pipe can experience advancing along the structural elements of the gasket means. The article describes the technique for estimating these stresses, including when laying in conditions of negative temperatures.

The method is based on the relationship between the strength characteristics and the deformations that have occurred. It is proved that the criterion for estimating the limiting value of the bend is the magnitude of the change in the yield strength of the pipe material obtained during the tensile tests (before and after the bending load). The technique was tested by a complex of experimental studies.

The article presents and recommended for use in engineering calculations the dependence for choosing the geometric parameters of the construction of the gasket means. Its compliance ensures that the flexural stresses in pipes made of polyethylene of PE80 grade do not exceed the permissible values. The method is recommended for use for conducting similar studies with products made of polymers of other compositions and grades.

Keywords: defects of polyethylene; experimental studies; stresses and deformations; geometric parameters; design calculations