

## Определение критериев устойчивости круглой формы поперечного сечения полиэтиленовых газопроводов

*Т.В. Ефремова, М. Д. Кудинов*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** Для строительства газораспределительных сетей повсеместно используются полиэтиленовые трубы. Недостатком труб является низкая механическая прочность. При пересечении различных искусственных препятствий в трубах могут возникнуть недопустимые напряжения, вызывающие разрушения по телу трубы. Для принятия решения по устройству футляра в таких зонах необходимо определить критерии устойчивости круглой формы поперечного сечения полиэтиленовых газопроводов. В статье выявлено, что из двух уравнений, предлагаемых СП 42-103-2003 для критической величины внешнего давления полиэтиленовых газопроводов, на практике можно применять только одно, для которого значение критерия всегда минимальное.

**Ключевые слова:** полиэтиленовые газопроводы, динамическая нагрузка, устойчивость круглой формы поперечного сечения, внешнее давление.

В настоящее время в государственных Программах газификации и догазификации участвуют 42 региона. Планируется построить более 24 тыс. км газопроводов, газифицировать более 538 тысяч домовладений и квартир и более 3 тысяч котельных и промышленных предприятий [1].

Прокладка межпоселковых газопроводов и газораспределительных сетей, как правило, предусматривается подземной [2]. При выборе материала труб предпочтение отдается полиэтиленовым трубам, имеющим ряд неоспоримых преимуществ перед стальными. Прежде всего, полиэтиленовые трубы не подлежат коррозии, имеют меньшую массу. Коэффициент линейного расширения в 5-7 больше, чем у стальных труб. Полиэтиленовые трубы хорошо зарекомендовали себя в сейсмоопасных районах. К недостаткам можно отнести недостаточную механическую прочность, «старение» под воздействием ультрафиолетовых лучей и «охрупчивание» при воздействии низких температур [3].

Газопроводы по пути своего следования как в черте населенных пунктов, так и вне их территории пересекают различные искусственные сооружения:

---

железные и автомобильные дороги, трамвайные пути, проезжую часть улиц и внутриквартальные проезды. Эти участки являются аварийно-опасными, так как на газопроводы воздействуют динамические нагрузки от движущегося транспорта [4]. Величина нагрузок зависит как от веса транспорта, так и от интенсивности движения. Величина силовых воздействий может достигнуть критических значений, при которых полиэтиленовая труба потеряет свою устойчивую форму, что приведет к аварийной ситуации.

Для защиты от динамических нагрузок прокладка газопровода предусматривается в футляре. Исключение могут составлять внутриквартальные проезды и проезжая часть улиц сельских населенных пунктов, где устройство футляра предусматривается по решению проектной организации. Основным критерием в этом случае является вероятность повреждения газопровода от воздействия внешних нагрузок [5].

Футляр представляет собой отрезок трубы большего диаметра. Концы футляра герметично заделываются, между футляром и газопроводом устраиваются опоры или опорно-направляющие кольца. На верхнем конце футляра устанавливается контрольная трубка, служащая для обнаружения утечек газа внутри футляра. При пересечении газопроводом железных дорог рекомендуется устраивать стальные футляры независимо от материала трубопровода, при пересечении автомобильных дорог, проезжей части улиц – на стальных газопроводах стальные футляры, на полиэтиленовых газопроводах – полиэтиленовые футляры [6].

Для определения необходимости устройства футляров при пересечении дорог с небольшой интенсивностью движения транспорта существует несколько критериев [7]. Одним из них является устойчивость круглой формы поперечного сечения газопровода. Если предусматривается подземная прокладка стальных труб, обладающих большой прочностью и жесткостью, то проверка устойчивости не актуальна, так как стальную трубу

---

сплющить очень сложно. Необходимой является проверка устойчивости круглой формы поперечного сечения для подземных полиэтиленовых газопроводов. Кроме того, полиэтиленовые трубы, как более пластичные по сравнению со стальными, достаточно легко могут изменять отдельные геометрические параметры под воздействием относительно небольших нагрузок [8, 9]. Для обеспечения этого критерия согласно СП 42-103-2003 должно соблюдаться условие:

$$1,7 \left( \frac{Q}{10^6 d_e} + p_w \right) \leq P_{кр}, \quad (1)$$

где  $Q$  – полная погонная эквивалентная нагрузка, Н/м;  $d_e$  – наружный диаметр трубы, мм;  $p_w$  – гидростатическое давление воды, Па/м;  $P_{кр}$  – критическая величина внешнего давления, МПа.

Гидростатическое давление воды  $p_w$  можно учитывать при прокладке газопровода через водные преграды, при высоком уровне грунтовых вод или при высокой вероятности подтопления зоны прокладки газопровода. При прокладке газопровода в сухом или в грунте с небольшой влажностью выражение (1) принимает вид:

$$1,7 \frac{Q}{10^6 d_e} \leq P_{кр}. \quad (2)$$

СП 42-103-2003 предлагает определять критическую величину внешнего давления с учетом параметра жесткости и модуля деформации грунта засыпки по двум уравнениям:

$$P_{кр} = 0,7 (DE_{гр})^{0,5}; \quad (3)$$

$$P_{кр} = D + 0,143 E_{гр}, \quad (4)$$

где  $D$  – параметр жесткости сечения газопровода, МПа;  $E_{гр}$  – модуль деформации грунта засыпки, МПа.

Наличие двух выражений для определения критического давления приводит к увеличению объема математических вычислений, получению

двух рядов результатов. Представляется целесообразным определить числовые значения параметров по выражениям (3-4) конкретно для полиэтиленовых труб с определенными характеристиками. В обоих выражениях величина критического давления зависит только от двух параметров.

Модуль деформации грунта засыпки зависит от свойств самого грунта и определяется в ходе инженерно-геологических изысканий [10]. Его значение, как правило, варьируется от 10 до 20 МПа. Для ориентировочных расчетов принимаем значение модуля деформации грунта засыпки, равным 15 МПа.

Согласно СП 42-103-2003 параметр жесткости сечения газопровода  $D$ , МПа, можно определить по выражению:

$$D = \frac{E(t_B)}{4(1-\mu^2)} \left( \frac{SDR-1}{2} \right)^{-3}, \quad (5)$$

где  $E(t_B)$  – модуль ползучести материала труб, МПа;  $\mu$  – коэффициент Пуассона материала труб, для полиэтиленовых труб  $\mu = 0,43$ ;  $SDR$  – стандартное размерное отношение наружного диаметра к толщине стенки полиэтиленовой трубы.

Модуль ползучести материала труб зависит от напряжения в стенке трубы, температуры и рабочего давления. При нулевой температуре для газопроводов низкого и среднего давления этот показатель равен 400 Па. Для газопроводов низкого и среднего давления возможно использование труб с  $SDR$  от 11 до 17,6. Учитывая эти значения, можно определить параметр жесткости сечения газопровода для различных  $SDR$ :

$$\text{для } SDR = 11 \quad D = \frac{400}{4(1-0,43^2)} \left( \frac{11-1}{2} \right)^{-3} = 0,98;$$

$$\text{для } SDR = 13,6 \quad D = \frac{400}{4(1-0,43^2)} \left( \frac{13,6-1}{2} \right)^{-3} = 0,49;$$

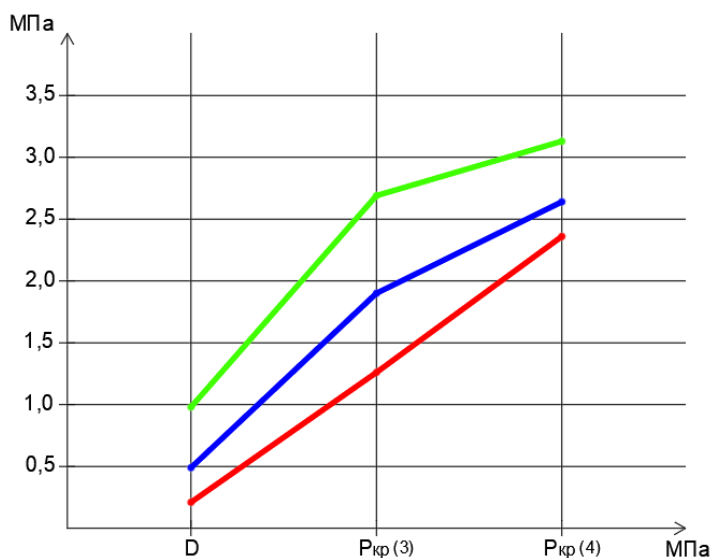
$$\text{для } SDR = 17,6 \quad D = \frac{400}{4(1-0,43^2)} \left( \frac{17,6-1}{2} \right)^{-3} = 0,21.$$

На основании полученных значений определяем критическую величину внешнего давления по выражениям (3, 4). Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица № 1

Определение критической величины внешнего давления

Критическая величина внешнего давления, МПа	SDR		
	11	13,6	17,6
$P_{кр(3)}$	2,68	1,90	1,24
$P_{кр(4)}$	3,13	2,64	2,36



Условные обозначения :

- - SDR 11;
- - SDR 13,6;
- - SDR 17,6;

Рис. 1. - График зависимости критических параметров от SDR

Анализ данных таблицы № 1 и рис. 1 показывает, что для всего диапазона SDR, применяемого для полиэтиленовых труб в системах газоснабжения, минимальные значения критической величины внешнего давления наблюдаются при использовании уравнения (3). Уравнение (4) в данном случае «не работает» и его можно исключить из дальнейших

расчетов. Упрощение определения необходимости устройства футляра при проверке устойчивости круглой формы поперечного сечения позволяет принять правильное решение, позволяющее обеспечить надежность принятой конструкции. При достаточном запасе прочности отпадает необходимость дополнительной защиты полиэтиленового газопровода, что влияет как на сложность монтажа, так и на экономические показатели системы газоснабжения.

### Литература

1. Вартанян А.А., Федина В.В. Анализ программ газификации регионов России. Научные исследования по приоритетным направлениям как основа инновационного прорыва. Сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2020. С. 103-106.
2. Ефремова Т.В., Мариненко Е.Е., Кондауров П.П., Рябов С.Н. Проектирование и монтаж полиэтиленовых газопроводов: учебное пособие: М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (3,9 Мбайт). — Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. – 100 с.
3. Ганзиков А.С. Эффективность применения полиэтиленовых труб в газораспределительных сетях Российской Федерации. Технологии нефти и газа. 2012. № 2 (79). С. 51-55.
4. Ефремова Т.В., Сардина В.С., Жалнин В.В. Определение напряжений, возникающих при прокладке полиэтиленовых газопроводов // Инженерный Вестник Дона, 2023, № 5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8424](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8424).
5. Barashkov V.N., Shevchenko Yu.M. Elastic-plastic stress-strain state and strength of thick-walled pipe under the action of internal pressure. Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1214. 2019. P. 012008.

6. Булах В.В., Стахейко В.Н., Картавцева О.В., Баратынская С.В. Технологические и технико-экономические аспекты перспективы проектирования систем газоснабжения высокого давления первой категории, выполненных из полиэтиленовых труб, в республике Беларусь. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2011. № 8. С. 95-102.
7. Простаков Е.П. Теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния магистрального трубопровода при использовании способа бесподъемной технологии его укладки// Инженерный Вестник Дона, 2012, № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1309](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1309).
8. Budhe S., Banea M.D., de Barros S. Analysis of failure pressure of defective pipes repaired with composite systems considering the plastic deformation of pipe. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2020. Vol. 101. No. 6. P. 929-936.
9. Дамирова А.Д., Асанкулов Н.М., Керимкулов С.К., Салибаев А.М. Расчет дополнительных напряжений за счет прокладки полиэтиленовых газопроводов в сейсмических регионах. Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2023. № 3 (67). С. 1577-1581.
10. Серебренников Д.А., Якубовская С.В., Сысоев Ю.Г., Чекардовский М.Н. Экспериментальная оценка изменения механических свойств полиэтиленовой трубы при бестраншейной прокладке. Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2-3. С. 45.

## References

1. Vartanyan A.A., Fedina V.V. Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Ufa, 2020. pp. 103-106.
-



2. Efremova T.V., Marinenko E.E., Kondaurov P. P., Rjabov S. N. Proektirovanie i montazh polijetilenovyh gazoprovodov: uchebnoe posobie [Design and installation of polyethylene gas pipelines]: M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federacii, Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-t. Jelektronnye tekstovye i graficheskie dannye (3,9 Mbajt). Volgograd: VolgGASU, 2013. 100 p.
3. Ganzikov A.S. Tekhnologii nefti i gaza. 2012. № 2 (79). pp. 51-55.
4. Efremova T.V., Sardina V.S., ZHalnin V.V. Inzhenernyj Vestnik Dona, 2023, № 5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8424](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8424).
5. Barashkov V.N., Shevchenko Yu.M. Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1214. 2019. P. 012008.
6. Bulah V.V., Stahejko V.N., Kartavceva O.V., Baratynskaya S.V. Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. 2011. № 8. pp. 95-102.
11. Prostakov E.P. Inzhenernyj Vestnik Dona, 2012, № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1309](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1309).
7. Budhe S., Banea M.D., de Barros S. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2020. Vol. 101. No. 6. P. 929-936.
8. Damirova A.D., Asankulov N.M., Kerimkulov S.K., Salibaev A.M. Izvestiya Kirgызskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova. 2023. № 3 (67). pp. 1577-1581.
9. Serebrennikov D.A., YAkubovskaya S.V., Sysoev YU.G., CHekardovskij M.N. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 2-3. P. 45.

**Дата поступления: 7.01.2024**

**Дата публикации: 17.02.2024**