

Определение напряжений, возникающих при прокладке полиэтиленовых газопроводов

Т.В. Ефремова, В.С. Сардина, В.В. Жалнин

*Институт архитектуры и строительства
Волгоградского государственного технического университета*

Аннотация: Приводятся результаты исследования допустимых продольных осевых и фибровых напряжений при различных характеристиках систем газораспределения и газопотребления.

Ключевые слова: полиэтиленовый газопровод, продольное осевое напряжение, продольное фибровое напряжение, деформация газопровода, оптимальный радиус изгиба.

В настоящее время на территории Волгоградской области активно осуществляется программа газификации. Газораспределительные организации проводят комплексную работу для увеличения числа домовладений, подключенных к газораспределительным сетям. При подземной прокладке межпоселковых и поселковых газопроводов применяют полиэтиленовые трубы различных диаметров. Эксплуатируют полиэтиленовые газопроводы при низком, среднем и высоком давлениях.

При прокладке полиэтиленовых газопроводов важно соблюдать условия, предотвращающие возникновение недопустимых напряжений в процессе эксплуатации [1]. Одними из показателей прочности конструктивного решения являются значение продольного осевого и продольного фибрового напряжения [2], возникающих в газопроводе. При одновременном воздействии всех силовых и деформационных нагрузений должны выполняться условия:

$$\sigma_{npNS} \leq 0,5MRS \quad (1)$$

$$\sigma_{npS} \leq 0,9MRS \quad (2)$$

где σ_{npNS} - продольное осевое напряжение от совместного силового и деформационного нагружений, МПа; σ_{npS} - продольное фибровое напряжение от силового и совместного силового и деформационного

нагружений, МПа; MRS – напряжение, определяющее уровень эксплуатационных и технологических свойств материала.

Продольное осевое напряжение σ_{npNS} и σ_{npS} зависят от таких показателей, как категория давления, при которой эксплуатируется газопровод, температурный перепад, диаметр и вычисляется по выражениям:

$$\sigma_{npNS} = \left| \frac{2\mu p}{\left[1 - \frac{2}{SDR}\right]^{-2} - 1} - \alpha E(t_e)\Delta t \right| + \sigma_c, \text{ МПа} \quad (3)$$

$$\sigma_{npS} = \left| \frac{2\mu p}{\left[1 - \frac{2}{SDR}\right]^{-2} - 1} - \alpha E(t_e)\Delta t \right| + \sigma_{oy} + \frac{E(t_e)d_e}{2\rho} + \sigma_c, \text{ МПа} \quad (4)$$

где μ - коэффициент Пуассона материала труб; p - рабочее давление, МПа; α - коэффициент линейного теплового расширения материала труб, $^{\circ}\text{C}^{-1}$; $E(t_e)$ - модуль ползучести материала труб при температуре эксплуатации (t_e); Δt - температурный перепад, $^{\circ}\text{C}$ [3].

Показатели дополнительных напряжений σ_{oy} и σ_c учитываются при расчете напряжений полиэтиленового газопровода в особых условиях и сейсмических районах [4].

Температурный режим при укладке полиэтиленовых труб рекомендуется принимать не ниже -15°C и не выше $+30^{\circ}\text{C}$ [5]. Кроме того, ввиду специфических особенностей материала укладку полиэтиленовых газопроводов рекомендуется осуществлять в наиболее холодное время суток летом и наиболее теплое время суток зимой.

При напряжении в стенке трубы $0,025$ МПа и температуре транспортируемого газа 10°C модуль ползучести будет равен 500 МПа, а

продольное осевое напряжение $\sigma_{npNS} = 4,94$ МПа. Расчет по зависимости (3) для других категорий давления приведен в таблице № 1.

Таблица № 1

Определение σ_{npNS} , в зависимости от категорий давления

Категория давления	Напряжение в стенке трубы σ , МПа	Модуль ползучести материала $E(t_e)$, МПа	Продольное осевое напряжение от совместного силового и деформационного нагружений σ_{npNS} , МПа
Низкое – 0,005 МПа	0,025	500	4,94
Среднее – 0,3 МПа	1,5	300	2,45
Высокое II категории – 0,6 МПа	3	225	1,18
Высокое I категории – 1,2 МПа	6	150	0,60

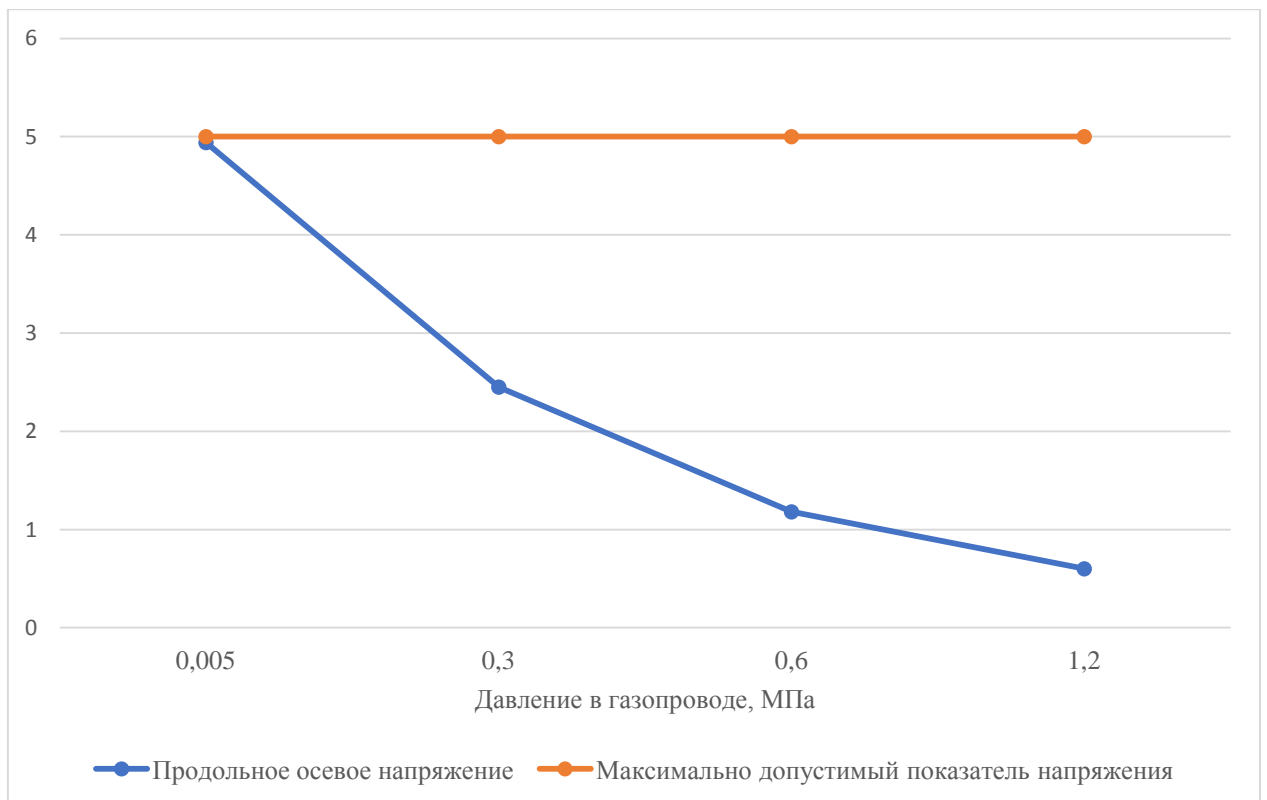


Рис. 1. Изменение σ_{npNS} в зависимости от давления эксплуатации.

На основании построенной зависимости можно сделать вывод, что при повышении давления в газопроводе показатели продольного осевого напряжения уменьшается. В наибольшей степени на это влияет модуль ползучести полиэтилена – показатель, определяющий деформацию твердого тела под действием постоянной нагрузки с течением длительного времени [6].

Показатели σ_{npNS} для всех категорий давления при заданных условиях удовлетворяют условиям прочности принятого конструктивного решения по выражению (1).

Наиболее применяемой в системах газораспределения является марка труб ПЭ100 SDR11 следующих типоразмеров: Ø32x3,0; Ø63x5,8; Ø90x8,2; Ø110x10,0; Ø160x14,6; Ø225x20,5; Ø315x28,6; Ø630x57,2 [7-8].

Показатель σ_{npNS} для газопровода низкого давления диаметром Ø32x3,0, при минимальном радиусе изгиба полиэтиленовой трубы 25De определяется по выражению (4).

$$\sigma_{npNS} = \left| \frac{2 \cdot 0,43 \cdot 0,005}{\left[1 - \frac{2}{11}\right]^2 - 1} - 2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 500 \cdot 45 \right| + \frac{500 \cdot 0,032}{2 \cdot 25} =$$
$$= |0,0087 - 4,95| + 0,32 = 5,26 \text{ МПа}$$

5,26 МПа ≤ 9,0 МПа – продольное фибровое напряжение удовлетворяет условиям прочности принятого конструктивного решения по (2).

Значения σ_{npS} для других типоразмеров газопровода и категорий давления занесены в таблицу № 2.

Проведенный анализ показывает, что с увеличением давления при эксплуатации газопровода снижается напряжение как продольное осевое, так и продольное фибровое, то есть напряжение в волокне материала газопровода [9-10].

Таблица № 2

Определение σ_{npS} в зависимости от диаметра и категории давления

	0,005 МПа	0,3 МПа	0,6 МПа	1,2 МПа
Ø32x3,0	5,26	2,64	1,32	0,70
Ø63x5,8	5,57	2,82	1,46	0,79
Ø90x8,2	5,84	2,99	1,59	0,87
Ø110x10,0	6,04	3,11	1,68	0,93
Ø160x14,6	6,54	3,41	1,90	1,08
Ø225x20,5	7,19	3,95	2,19	1,28
Ø315x28,6	8,09	4,34	2,60	1,55
Ø630x57,2	11,24	6,23	4,02	2,49

На основании полученных данных построен график (рис. 2).

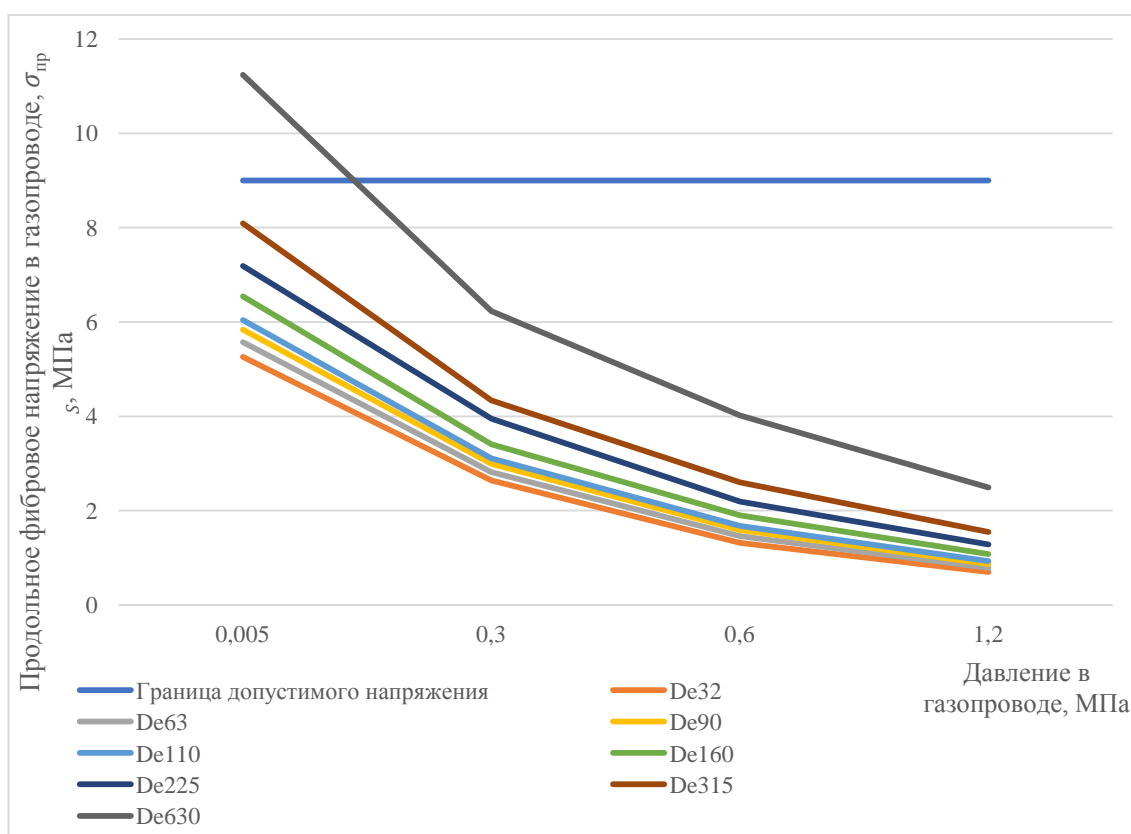


Рис. 2. Зависимость изменения σ_{npS} от давления в газопроводе.

При давлении газопроводе 1,2 МПа показатели продольного фибрового

напряжения отличаются незначительно для разных диаметров, а при значении 0,005 МПа эти различия существенны. Данный вывод позволяет при проектировании определять наиболее оптимальный радиус изгиба полиэтиленовых труб, снижая тем самым риски опасной деформации газопровода, которые могут привести к повреждениям, разрывам и аварийным ситуациям.

Литература

1. Ефремова Т.В., Ашмарина Н.Н., Душкин В.В. Исследование потерь давления в сетях газораспределения при установке седловых отводов // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5497.
2. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. – Л.: Недра, 1990. – 762 с.
3. 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 — Волгоград : ВолгГАСУ, 2013. – 100 с.
4. 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
5. Мариненко Е.Е., Ефремова Т.В., Журилова Л.А., Кондауров П.П. Проектирование систем газораспределения населенных пунктов:

- методические указания к курсовому и дипломному проектированию/ Волгоград: ВолгГАСУ, 2007. – 99 с.
6. Комина Г.П., Прошутинский А.О. Гидравлический расчет и проектирование газопроводов: учебное пособие по дисциплине «Газоснабжение» для студентов специальности 270109 – теплогазоснабжение и вентиляция. СПбГАСУ. – СПб.: 2010. – 148 с.
 7. Project report no. 2/2017. Pioneering sewage system of polyethylene (PE) in the “Am Hitzenhof” development area, Buchenbach. URL: friatec.de/content/friatec/en/Technical-Plastics/FRIAFIT-Sewage-System
 8. Urbanowicz K., Duan H.F., Bergant A. Transient Liquid flow in plastic Pipes//Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering, 2020 № 2. URL: sv-jme.eu/article/transient-flow-of-liquid-in-plastic-pipes.
 9. Баясанов Д.Б., Быкова З.Я. Расчет и проектирование городских газовых сетей среднего и высокого давления. М., Стройиздат, 1972. – 207 с.
 10. Ионин А.А. Газоснабжение. – М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.

References

1. Efremova T.V., Ashmarina N.N., Dushkin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1 URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5497>.
 2. Staskevich N.L., Severinec G.N., Vigdorichik D.Ja. Spravochnik po gazosnabzheniju i ispol'zovaniju gaza [Handbook on gas supply and use of gas]. L.: Nedra, 1990. 762 p.
 3. 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 obrazovaniija i nauki Ros. Federacii, Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-t. Jelektronnye tekstovye i graficheskie dannye. Volgograd : VolgGASU, 2013. 100 p.
-

4. Prostakov E.P. Inzhenernyj Vestnik Dona, 2012, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1309
5. Marinenko E.E., Efremova T.V., Zhurilova L.A., Kondaurov P.P. Proektirovanie sistem gazoraspredelenija naselennyh punktov: metodicheskie ukazaniya k kursovomu i diplomnomu proektirovaniju [Design of gas distribution systems for settlements: guidelines for course and diploma design]. Volgograd: VolgGASU, 2007. 99 p.
6. Komina G. P., Proshutinskij A. O. Gidravlicheskiy raschet i proektirovanie gazoprovodov [Hydraulic calculation and design of gas pipelines]: uchebnoe posobie po discipline «Gazosnabzhenie» dlja studentov special'nosti 270109 teplogazosnabzhenie i ventiljacija; SPbGASU. SPb., 2010. 148 p.
7. Project report no. 2/2017. Pioneering sewage system of polyethylene (PE) in the “Am Hitzenhof” development area, Buchenbach. URL: friatec.de/content/friatec/en/Technical-Plastics/FRIAFIT-Sewage-System.
8. Urbanowicz K., Duan H.F., Bergant A. Strojnicki Vestnik Journal of Mechanical Engineering, 2020 № 2. URL: sv-jme.eu/article/transient-flow-of-liquid-in-plastic-pipes.
9. Bayasanov D.B., Bykova Z.Ja. Raschet i proektirovanie gorodskih gazovyh setej srednego i vysokogo davlenija [Calculation and design of urban gas networks of medium and high pressure]. M., Strojizdat, 1972. 207 p.
10. Ionin A.A. Gazosnabzhenie [Gas supply]. M.: Strojizdat, 1989. 439 p.