

Исследование механической прочности труб при изменении категории давления газопровода

Т. В. Ефремова, Р. А. Давлетов

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В статье исследуются критерии механической прочности трубопроводов из стальных и полиэтиленовых труб при повышении категории давления в рамках реконструкции газораспределительных сетей. Определены минимальные значения толщины стенки трубы при условии максимально допустимых значений временного сопротивления и предела текучести материала труб. Определено, что для всего диапазона применяемых стальных труб соблюдаются условия оптимальной толщины стенки трубы. Для полиэтиленовых труб необходимая механическая прочность зависит от стандартного размерного коэффициента.

Ключевые слова: газораспределительные сети, категория давления, механическая прочность, толщина стенки трубы, временное сопротивление, предел текучести материала труб.

В связи с реализацией программ газификации и догазификации на территории Российской Федерации возникла проблема транспортировки повышенного объема газа по уже существующим распределительным газопроводам. Увеличение объема транспортируемого газа ведет к повышенным потерям давления в газопроводах, а, следовательно, к необходимости перенастройки или замены или монтажа новых устройств регулирования давления газа, что требует значительных финансовых затрат [1]. Одним из способов решения этой проблемы является перевод давления газа в газопроводе на более высокую категорию. При этом возможны несколько вариантов изменения давления (таблица № 1).

Таблица № 1

	Низкое	Среднее	Высокое II категории	Высокое I категории
Низкое		0,3-0,1 МПа	0,6-0,3 МПа	1,2-0,6 МПа
Среднее				
Высокое II категории				
Высокое I категории				

При изменении категории давления увеличению подлежат две нагрузки: внутреннее давление газа и вес транспортируемого газа. Вес транспортируемого газа в единице длины газопровода q_g , Н/м, согласно СП 42-103-2003 определяется по выражению:

$$q_g = 10^2 p (d_e - 2t)^2,$$

где p - рабочее давление, МПа; d_e - наружный диаметр газопровода, м; t – расчетная (минимальная) толщина стенок труб, м, определяемая по выражению [3]:

$$t = \frac{pd_e \eta}{2(R + 0,6p)},$$

где η - коэффициент несущей способности труб и соединительных деталей, $\eta=1$; R – значения расчетного сопротивления, МПа, определяемого по уравнению:

$$R = \min\left(\frac{R_{un}}{2,6}; \frac{R_{yn}}{1,5}\right).$$

Нормативные сопротивления R_{un} и R_{yn} , МПа, принимаются равными минимальным значениям соответственно временного сопротивления и предела текучести материала труб и соединительных деталей по государственным стандартам и техническим условиям на трубы и соединительные детали. В настоящее время для подземных распределительных газопроводов применяют как стальные трубы, так и полиэтиленовые [4].

В качестве стальных труб наибольшее распространение получили стальные электросварные прямошовные трубы, требования к материалу которых определены в ГОСТ 10705-80. В зависимости от показателей качества трубы изготавливают стальные трубы с нормированием механических свойств из спокойной, полуспокойной и кипящей стали (группа А), с нормированием химического состава из спокойной,

полуспокойной и кипящей стали (группа Б), с нормированием механических свойств и химического состава из спокойной, полуспокойной и кипящей стали (группа В) и с нормированием испытательного гидравлического давления (группа Д).

Предел текучести зависит от марки применяемой стали и изменяется в диапазоне от 176 МПа (для стали марки 08Ю) до 344 МПа (для стали марки 22ГЮ). В среднем за значение предела текучести можно принять значение для наиболее распространенных марок стали 216 МПа.

Временное сопротивление разрыву материала стальных труб зависит не только от марки стали, но и от наружного диаметра, причем с увеличением диаметра это значение уменьшается [5]. Так как для распределительных газопроводов применяются трубы наружным диаметром не менее 57 мм, то значения временного сопротивления разрыву следует брать для соответствующего диапазона. В этом случае значения временного сопротивления находятся в диапазоне от 264 МПа (для стали марки 08Ю) до 490 МПа (для стали марки 22ГЮ). В среднем за значение временного сопротивления можно принять значение для наиболее распространенных марок стали 372 МПа [6].

На особо ответственных участках трассы и при экстремальных погодных условиях применяются бесшовные трубы. При применении стальных бесшовных горячедеформированных труб минимальные значения временного сопротивления и предела текучести материала труб имеют повышенные значения и для расчетов могут приниматься в значениях $R_{un}=490$ МПа, $R_{yn}=274$ МПа [7].

Полиэтиленовые трубы выпускаются в соответствии с ГОСТ Р 58121.2-2018. Для полиэтиленовых труб марки ПЭ 100 $R_{un}=23$ МПа, $R_{yn}=10$ МПа [8]. Как видно, значения предела текучести и временного сопротивления разрыву

полиэтилена значительно меньше, чем для стали, что и обуславливает недостаточную механическую прочность полиэтиленовых труб.

Таким образом, для стальных электросварных труб:

$$R = \min\left(\frac{372}{2,6}; \frac{216}{1,5}\right) = 143 \text{ МПа};$$

для стальных бесшовных труб:

$$R = \min\left(\frac{490}{2,6}; \frac{274}{1,5}\right) = 183 \text{ МПа};$$

для полиэтиленовых труб:

$$R = \min\left(\frac{23}{2,6}; \frac{10}{1,5}\right) = 6,67 \text{ МПа}.$$

В этом случае расчетная минимальная толщина стенок стальных прямошовных труб:

$$t = \frac{p \cdot d_e \cdot 1}{2(143 + 0,6p)} = \frac{p \cdot d_e}{286 + 1,2p};$$

стальных бесшовных труб:

$$t = \frac{p \cdot d_e \cdot 1}{2(183 + 0,6p)} = \frac{p \cdot d_e}{366 + 1,2p};$$

полиэтиленовых труб:

$$t = \frac{p \cdot d_e \cdot 1}{2(6,67 + 0,6p)} = \frac{p \cdot d_e}{13,34 + 1,2p}.$$

По полученным выражениям для минимальной толщины стенки трубы построены графики для стальных электросварных (рисунок 1) и полиэтиленовых труб (рисунок 2) для трех категорий давления: среднего и высокого I и II категории.

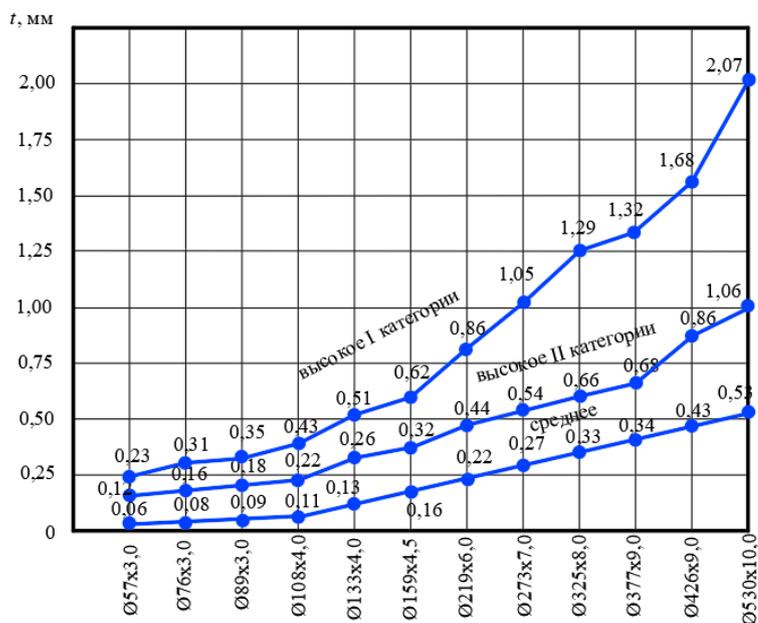


Рисунок 1. – Минимальная толщина стенки стальной электросварной трубы для различных категорий давления

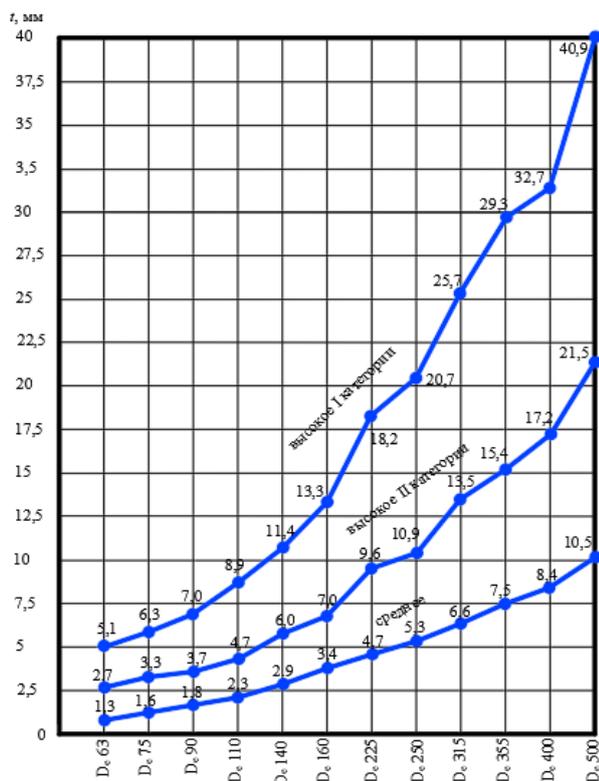


Рисунок 2. – Минимальная толщина стенки полиэтиленовой трубы для различных категорий давления

Следует отметить, что для стальных бесшовных труб, имеющих большую механическую прочность по сравнению с электросварными трубами, минимальная расчетная толщина стенки трубы на 20 % меньше для газопроводов среднего и высокого давления II категории и на 17,5 % меньше для газопроводов высокого давления I категории. С другой стороны, согласно требованиям СП 62.13330.2011*, минимальная толщина стенки трубы для подземных газопроводов составляет 3 мм. Следовательно, механическая прочность достаточна для всех стальных труб.

Для полиэтиленовых труб толщина стенки определяется значением стандартного размерного коэффициента (Standart Dimension Ratio – SDR). SDR показывает соотношение внешнего диаметра к толщине стенки трубы и имеет ряд 9; 11; 13,6; 17; 17,6; 21 и 26. Трубы со значениями SDR 9 и 11 могут работать при любом давлении газа, со значением SDR 13,6 при среднем и высоком давлении II категории, а для диаметров 63 и 75 мм, кроме того, при высоком давлении I категории. При значениях SDR 17 и 17,6 распределительные газопроводы можно переводить только с низкого на среднее давление. Полиэтиленовые трубы с SDR 21 и 26 в газораспределительных сетях не применяются [9, 10].

При рассмотрении возможности перевода стальных и полиэтиленовых газопроводов на более высокую категорию давления в рамках реконструкции газораспределительных сетей необходимо учитывать механическую прочность стенок труб при увеличении давления. Критерием механической прочности является толщина стенки трубы. Сравнение действительной толщины стенок труб с номинальными значениями увеличивает вероятность безаварийной работы трубопроводов в процессе эксплуатации при повышении давления.

Литература

1. 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.
2. Васильев Г.Г., Сенцов С.И., Карпачев Р.А., Леонович И.А., Сальников А.П. Практические расчеты по сооружению сетей газораспределения из стальных труб: учебное пособие: М-во науки и высшего образования Российской Федерации, Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. — М.: Изд-во РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2022. — 86 с.
3. Конин Д.В., Олуромби А.Р. О расчете местной и общей устойчивости стальных труб круглого сечения при внецентренном сжатии в упругопластической постановке. Строительная механика и расчет сооружений. 2018. № 6 (281). С. 25-29.
4. Гостинин И. А. Расчет коэффициента надежности по назначению трубопровода для Западно-Сибирского региона// Инженерный Вестник Дона, 2014, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2419.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Ганзиков А.С. Эффективность применения полиэтиленовых труб в газораспределительных сетях Российской Федерации. Технологии нефти и газа. 2012. № 2 (79). С. 51-55.
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. 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.
2. Vasil'ev G.G., Senczov S.I., Karpachev R.A., Leonovich I.A., Sal'nikov A.P. Prakticheskie raschety po sooruzheniyu setej gazoraspredeleniya iz stalnyx trub [Practical calculations for the construction of gas distribution networks made of steel pipes]: uchebnoe posobie: M-vo nauki i vy'sshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Ros. gos. un-t nefti i gaza im. I. M. Gubkina. M.: Izd-vo RGU nefti i gaza im. I. M. Gubkina, 2022. 86 p.



3. Konin D.V., Olurombi A.R. Stroitel'naya mexanika i raschet sooruzhenij. 2018. № 6 (281). pp. 25-29.
4. Gostinin I. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2419.
5. Prostakov E.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1309.
6. Budhe S., Banea M.D., de Barros S. Journal of The Institution of Engineers (India): Series C. 2020. Vol. 101. No. 6. pp. 929-936.
7. Barashkov V.N., Shevchenko Yu.M. Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1214. 2019. P. 012008.
8. Efremova T.V., Sardina V.S., ZHalnin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2023/8424.
9. Ganzikov A.S. Tekhnologii nefi i gaza. 2012. № 2 (79). pp. 51-55.
10. Serebrennikov D.A., YAkubovskaya S.V., Sysoev YU.G., CHekardovskij M.N. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2015. № 2-3. P. 45.

Дата поступления: 19.01.2026

Дата публикации: 25.02.2026