

УДК 69:658.26

**ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ РАЗНОСТЕННОСТИ ТРУБ
НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРУБОПРОВОДОВ****Д.О. РОДУЛЕВИЧ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. С.В. ПИЛИПЕНКО)*

Выполнен анализ степени влияния величины разностенности и величина овальности трубы на величину допустимого давления при прокачке жидкости через трубопровод. Выполнены расчеты, позволившие оценить влияние толщины стенки и овальности трубы на коэффициент запаса прочности трубопровода и массу его погонного метра. Сделан вывод о возможности эксплуатации трубопровода с трубами, имеющими колебания величины толщины стенки в нижней части допуска (в пределах ГОСТа).

Введение. При проектировании соединительных трубопроводов в машинах и агрегатах принимают, что трубы имеют идеально круглое поперечное сечение и постоянную толщину стенки [1]. Однако, на практике это не так, величина толщины стенки каждой трубы не постоянная, она колеблется в определенных пределах (ограниченных величиной допуска, указанного в стандарте на данный вид прокатной продукции) [2, 3]. Эти колебания наблюдаются как в поперечном сечении, так и вдоль трубы. Чем меньше допуски, тем, как правило, стоимость трубы выше. Изменение геометрических параметров трубы оказывают определенное влияние на ее эксплуатационные характеристики.

Целью статьи. Является анализ влияния величины разностенности трубопровода на и его способность сопротивляться внутреннему давлению.

Анализ исследований. Виды и функции металлических трубопроводов в автомобиле.

В конструкции автомобилей с двигателем внутреннего сгорания применяются следующие трубопроводы:

- впускной трубопровод;
- выпускной трубопровод;
- соединительный трубопровод ГБО (Газобаллонного оборудования);
- трубопроводы тормозных систем и т.д.

Впускной трубопровод. Главной функцией впускного трубопровода является подвод горючей смеси к цилиндрам, а также подогрев горючей смеси посредством тепла охлаждающей жидкости, которая циркулирует через рубашку трубы. Не маловажным фактором для впускного трубопровода является равномерное распределение горючей смеси к отдельным цилиндрам. Если речь идет о металлическом впускном трубопроводе, то его изготавливают из алюминия [4], давление в этом трубопроводе колеблется в пределах 20–35 кПа.

Выпускной трубопровод. Данный трубопровод служит для отвода отработавших газов из цилиндров. Выпускной трубопровод должен обеспечивать лучшую очистку цилиндров от отработавших газов, оказывая минимальное сопротивление перемещению газов и обеспечивая большее наполнение. В основном выпускной трубопровод изготавливают из чугуна.

Соединительный трубопровод ГБО. Функционал данного трубопровода представляет собой безопасную подачу КППГ (компримированного природного газа) под высоким давлением из баллонов к двигателю внутреннего сгорания. Соединительный трубопровод изготавливают из бесшовной холоднокатаной трубы из стали марки Сталь 20. Трубопроводы для систем питания ГСН изготавливают из медных трубок, давление газа в них колеблется в пределах 1,0–1,2 МПа [5].

Трубопроводы тормозных систем в автомобилях предназначены для передачи усилия от педали к основному цилиндру за счет тормозной жидкости. Трубки подведены к суппортам и соединяются с ними конусными муфтами. При эксплуатации автомобиля тормозные трубки переносят высокие нагрузки – давление внутри них при обычном торможении составляет около 60 бар (6 МПа). Если машина нагружена и движется со скоростью 100 км/ч, рабочее давление повышается до 100 бар (10 МПа), а при экстренном торможении оно достигает 200–300 бар (20–30 МПа.) [6–7].

На рисунке 1 представлено распределение толщины стенки по периметру трубы на примере волочения толстостенной трубы с размерами 25x2,5 мм через 21,4x1,7 мм до тонкостенной трубы 20x1 мм [8]. На данных графиках, на примере изменения геометрических параметров поперечного сечения при роликовом волочении одной трубы, представлены два возможных вида поперечной разностенности – эксцентричная и симметричная. Большинство труб имеют одну из этих видов разностенностей [9].

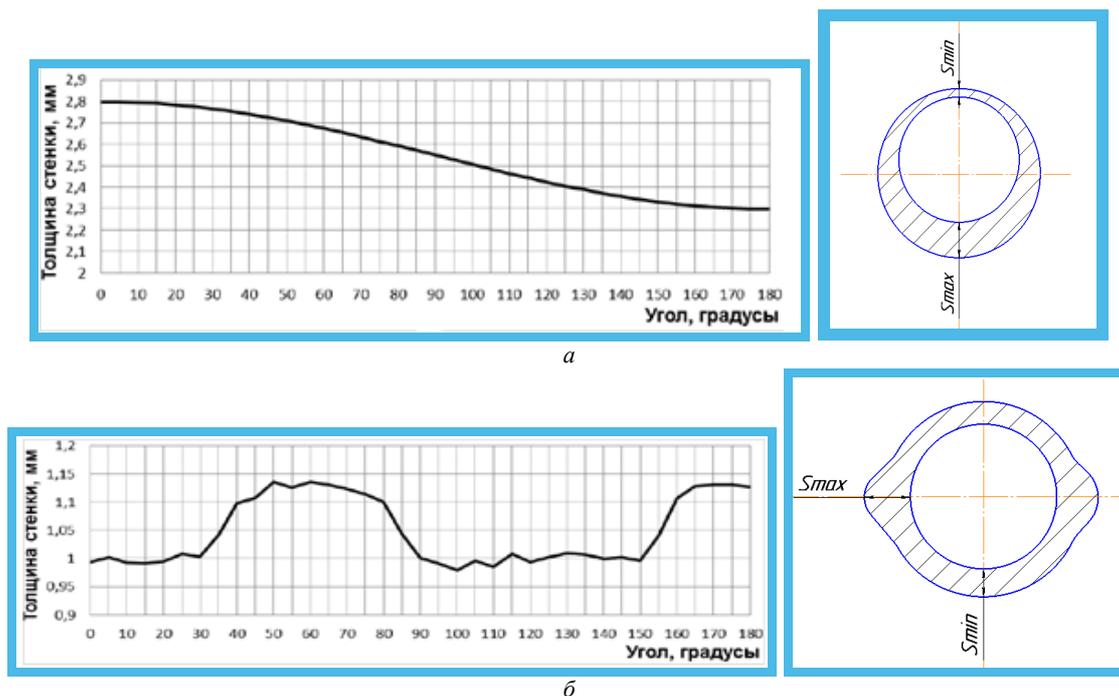


Рисунок 1 – Распределение толщины стенки по периметру поперечных сечений [8]:
 а – труба с эксцентричной разностенностью; б – труба с симметричной разностенностью

Допустимое рабочее давление на участок трубопровода без учета дефектов и разностенности трубы можно рассчитать по соответствующей формуле [10]:

$$P_{доп} = \frac{2 \cdot S_{ном} \cdot \sigma_{\sigma} \cdot m}{n \cdot D_{вн} \cdot K_1 \cdot K_{назн.}} \text{ (МПа)}, \tag{1}$$

- где $S_{ном}$ – номинальная толщина стенки трубы, мм;
 σ_{σ} – временное сопротивление разрыву металла трубы, МПа;
 m – коэффициент категоричности трубопровода;
 n – коэффициент надежности по нагрузке;
 $D_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода, мм;
 K_1 – коэффициент надежности по материалу;
 $K_{назн.}$ – коэффициент надежности по назначению трубопровода.

Основной материал. Наиболее нагруженным является трубопровод тормозной системы. Для анализа влияния величины разностенности трубопровода на и его способность сопротивляться внутреннему давлению выбираем трубу бесшовную холоднокатаную согласно ГОСТ 617-2006 «Трубы медные и латунные круглого сечения общего назначения. Технические условия». Материал медной трубы для тормозной системы (М1) имеет следующие механические характеристики: $\sigma_{\sigma} = 270$ МПа (трубы холоднокатаные, полутвердое состояние материала); $\sigma_T = 180$ МПа [11, 12]. Для анализа выбран труба диаметром 4,76 (с допуском: +0; -0,15 мм) и толщиной стенки 0,8 (с допуском: $\pm 0,08$ мм, или $\pm 0,07$ для повышенной точности). Во время расчетов, значение всех коэффициентов в формуле (1) были приравнены к единице. Расчеты проводились в одном из математических редакторов. Результаты расчетов показаны в таблице 1

Таблица 1. – Влияние точности геометрических характеристик поперечного сечения трубы на допустимое давление в медной трубе 4,76x0,8 мм

S_{max}		S_{min}	
$D_{внутр.max}$	$D_{внутр.min}$	$D_{внутр.max}$	$D_{внутр.min}$
3	2,9	3,32	3,22
$P_{доп}$ (МПа)			
158,4	163,8621	117,1084	120,7453
Запас прочности (при $P_{раб.} = 50$ МПа)			
3,2	3,3	2,3	2,4

Как видно из таблицы, коэффициент запаса прочности при минимальной толщине стенки и максимальном значении диаметра трубы минимальный (2,3), но это вполне достаточно для работы трубопровода. При минимальном значении диаметра трубы и максимальной толщине стенки коэффициент запаса прочности принимает наибольшее значение (3,3). В целом, трубы с рядовыми допусками на величину разностенности вполне удовлетворяют требованиям для трубопроводов тормозных систем и заменять более дорогие, высокоточные трубы не имеет смысла.

Так как геометрические характеристики поперечного сечения напрямую влияют на массу труб, целесообразно рассчитать экономию материала при изготовлении 1000 м трубы.

Массу трубы можно рассчитать по следующей формуле

$$m = \rho * V, \text{ кг} \quad (2)$$

где ρ – плотность материала трубы, кг/м³;
V – объём материала трубы, м³.
Объём материала трубы

$$V = S * L, \text{ м}^3 \quad (3)$$

где S – площадь поперечного сечения трубы, мм²;
L – длина трубы.
Площадь поперечного сечения трубы

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_{\text{вн}}^2), \text{ мм}^2 \quad (4)$$

где D – наружный диаметр трубы, мм;
D_{вн} – внутренний диаметр трубы, мм.

Геометрические характеристики поперечного сечения исследуемой трубы приведены в таблице 1. Во время расчётов значение длины трубы принимается 1 м. Расчёты проводились в одном из математических редакторов. Результаты расчётов показаны в таблице 2.

Таблица 2. – Влияние точности геометрических характеристик поперечного сечения трубы на массу в медном трубопроводе 4,76x0,8 мм

S_{max}		S_{min}	
$D_{\text{внутр. max}}$	$D_{\text{внутр. min}}$	$D_{\text{внутр. max}}$	$D_{\text{внутр. min}}$
3	2,9	3,32	3,22
m (кг)			
0,095896	0,093425	0,081696	0,079674

Выводы. Трубы, имеющие колебания толщины стенки в нижней части допуска (Согласно ГОСТ, от $S_{\text{среднее}}$ до S_{min}) имеют достаточную степень запаса прочности для безопасной эксплуатации автомобильных трубопроводов. Из-за уменьшения массы труб возможна экономия дорогостоящего материала труб. Как видно из таблицы 2, масса метра трубы при минимальной толщине стенки и минимальном диаметре принимает минимальное значение (0,079647 кг). А разность между максимальным и минимальным значениями массы трубы составляет 0,016222 кг, что при изготовлении 1000 м труб даёт экономию материала в 16,222 кг. Согласно таблице 1 коэффициент запаса прочности трубы с минимальной толщиной стенки и минимальным диаметром (а, следовательно, и с минимальной массой) равен 2,4, что является оптимальным вариантом для производства трубопроводов тормозных систем автомобилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов Ю. А. Динамика трубопроводов летательных аппаратов: Дис. д-ра техн. наук: 05.07.03: Йошкар-Ола, 1995. – 282 с.
2. Пилипенко С.В. Исследование изменения разностенности труб в ходе прокатки на стане ХПТ / С.В. Пилипенко // Сталь, №3 – 2016 – 32–37 с.
3. Григоренко В.У. Исследование изменения разностенности холоднокатаных труб / В.У. Григоренко, С.В. Пилипенко // Сталь, №9 – 2008 – 62–63 с.

4. <https://ustroistvo-avtomobilya.ru/sistemy-vpryska/vpuskny-e-truboprovody/>
5. <https://auto.kombat.com.ua/reduktoryi-vyisokogo-davleniya-gazoballonного-oborudovaniya-gbo-avtomobiley/>
6. <http://www.braz.by/reverse/brake/brake-pipes/?of=s10136>
7. <http://systemsauto.ru/brake/brake.html>
8. Вагапов Е. Н. Разработка математической модели роликового волочения труб на длинной оправке с целью прогнозирования точности: Дис. канд техн. наук: 05.02.09: Екатеринбург, 2012. – 162 с.
9. Столетний М.Ф. Точность труб / М.Ф. Столетний, Е.Д. Клемперт – М.: Metallurgy, 1975 – 239 с.
10. Абрамов И.П. Расчет максимально допустимого рабочего давления при длительной эксплуатации магистральных нефтепроводов / И.П. Абрамов, И.Ю. Подалов // Записки Горного института. Т.167. Часть 2 – 2006. – 184–185 с.
11. ГОСТ 617-2006. Трубы медные и латунные круглого сечения общего назначения. Технические условия. М., 2008. – 34 с.
12. <http://docs.cntd.ru/document/gost-617-2006>