

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].

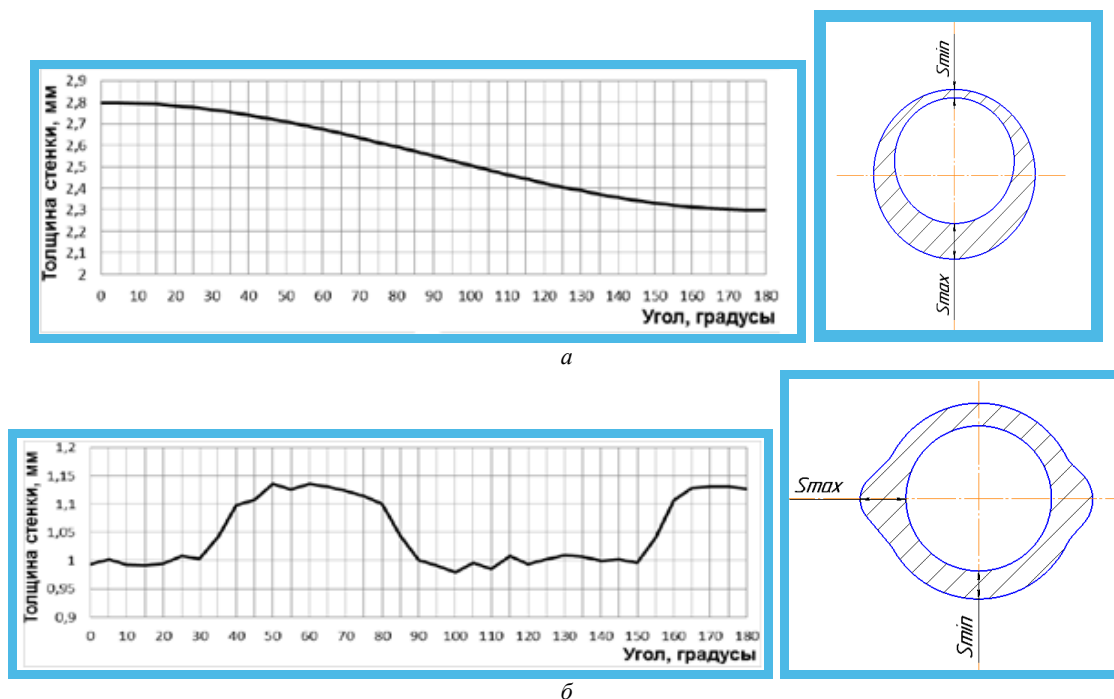


Рисунок 1 – Распределение толщины стенки по периметру поперечных сечений [8]:  
 а – труба с эксцентричной разностенностью; б – труба с симметричной разностенностью

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;  
 $\sigma_{\sigma}$  – 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: ±0,08 мм, или ±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  $\rho$  – плотность материала трубы, кг/м<sup>3</sup>;  
V – объём материала трубы, м<sup>3</sup>.  
Объём материала трубы

$$V = S * L, \text{ м}^3 \quad (3)$$

где S – площадь поперечного сечения трубы, мм<sup>2</sup>;  
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<sub>вн</sub> – 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

$S_{\text{max}}$		$S_{\text{min}}$	
$D_{\text{внутр. max}}$	$D_{\text{внутр. min}}$	$D_{\text{внутр. max}}$	$D_{\text{внутр. min}}$
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  $S_{\text{min}}$ ) 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 минимальными 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-avtomobilye/>
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.: Metallurgiya, 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>