

# Определение вязкости воздуха по скорости течения через тонкие трубки

Сафиуллин Роберт

13 мая 2018 г.

## 1 Цель работы:

1) Экспериментально выявить участок сформированного течения, определить режимы ламинарного и турбулентного течения; определить число Рейнольдса.

## 2 В работе используются:

Металлические трубки, укрепленные на горизонтальной подставке; газовый счетчик; микроанометр типа ММН; стеклянная U-образная трубка; секундомер.

## 3 Описание работы

Рассмотрим движение вязкой жидкости или газа по трубке круглого сечения. При малых скоростях потока движение оказывается ламинарным (слоистым), скорости частиц меняются по радиусу и направлены вдоль оси трубки. С увеличением скорости потока движение становится турбулентным, и слои перемешиваются. При турбулентном движении скорость в каждой точке быстро меняет величину и направление, сохраняется только средняя величина скорости.

Характер движения газа (или жидкости) в трубке определяется безразмерным числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{v r \rho}{\eta}$$

В гладких трубах круглого сечения переход от ламинарного движения к турбулентному происходит при  $Re \approx 1000$ .

При ламинарном течении объем газа  $V$ , протекающий за время  $t$  по трубке длиной  $l$  (называемый расходом), определяется формулой Пуазейля:

$$Q_V = \frac{\pi r^4}{8l\eta}(P_1 - P_2)$$

При втекании газа в трубку из большого резервуара скорости слоев вначале постоянны по всему сечению (рис. 1). По мере продвижения газа по трубке картина распределения скоростей меняется, так как сила трения о стенку тормозит прилежащие к ней слои. Характерное для ламинарного течения параболическое распределение скоростей устанавливается на

некотором расстоянии  $a$  от входа в трубку, которое зависит от радиуса трубки  $r$  и числа Рейнольдса по формуле:

$$a \approx 0,2r * Re$$

## 4 Ход работы

1) В работе используются две узкие трубки (1 и 2) с диаметрами:

$$d_1 = 3.85 \pm 0.05 \text{ мм}$$

$$d_2 = 5.85 \pm 0.05 \text{ мм}$$

Оценим расстояние, на котором происходит формирование потока при ламинарном течении:

$$a_1 \approx 0,2r * Re = 0,2 * 3,85/2 * 10^{-2} * 1000 \approx 38.5 \pm 0.5 \text{ см}$$

$$a_2 \approx 0,2r * Re = 0,2 * 5,85/2 * 10^{-2} * 1000 \approx 58.5 \pm 0.5 \text{ см}$$

Давление, измеряемое микроманометром, определяется по формуле:

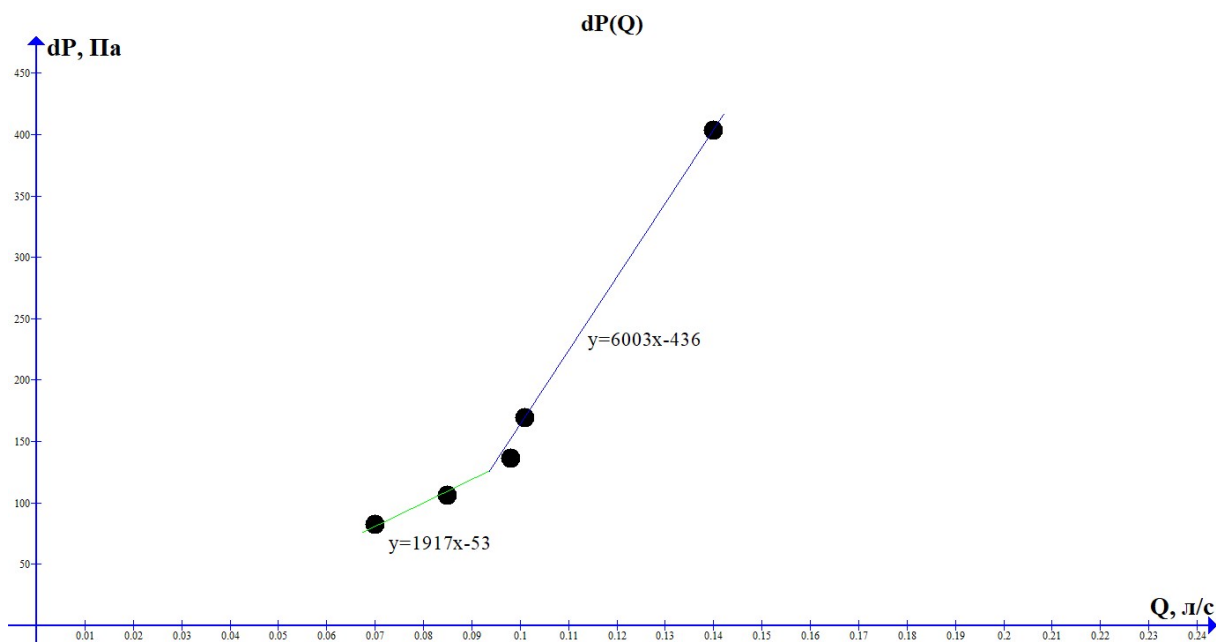
$$P = 0.2 * 809 * N * 9,80665$$

2) Возьмем зависимость  $\Delta P(Q)$ . Используя секундомер и газовый счетчик найдем расход воздуха по формуле:  $Q = \Delta P / \Delta t$

Результаты запишем в таблицу:

$N \pm 0.5$ , дел	206	67	86	52	107
$P \pm 0.8$ , Па	403.76	106,238	136.37	82.45	169.66
$Q \pm 0.05$ , л/с	0.14	0.085	0.98	0.07	0.101

Используя ее, построим график  $\Delta P(Q)$



С помощью коэффициента наклона  $k$  графика посчитаем вязкость воздуха из формулы:

$$N = \eta \cdot \frac{8l}{\pi r^4 \cdot 0.2 \cdot 9.8 \cdot 8.80665 \cdot Q}$$

$$\eta = \frac{\pi r^4 k}{8l} = 2.06 \pm 0.18 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Где длина участка на котором проводятся измерения:  $l = 50 \text{ см}$

3) Найдем число Рейнольдса по формуле:  $Re = \frac{\rho v r}{\eta}$ , используя, что

$$\rho = \frac{p_0 M}{RT_0}$$

$$v = \frac{Q}{\pi r^2}$$

А также зная, что ламинарный режим переходит в турбулентный при значении  $Q = 0.095 \text{ л/с}$

$$Re = 893$$

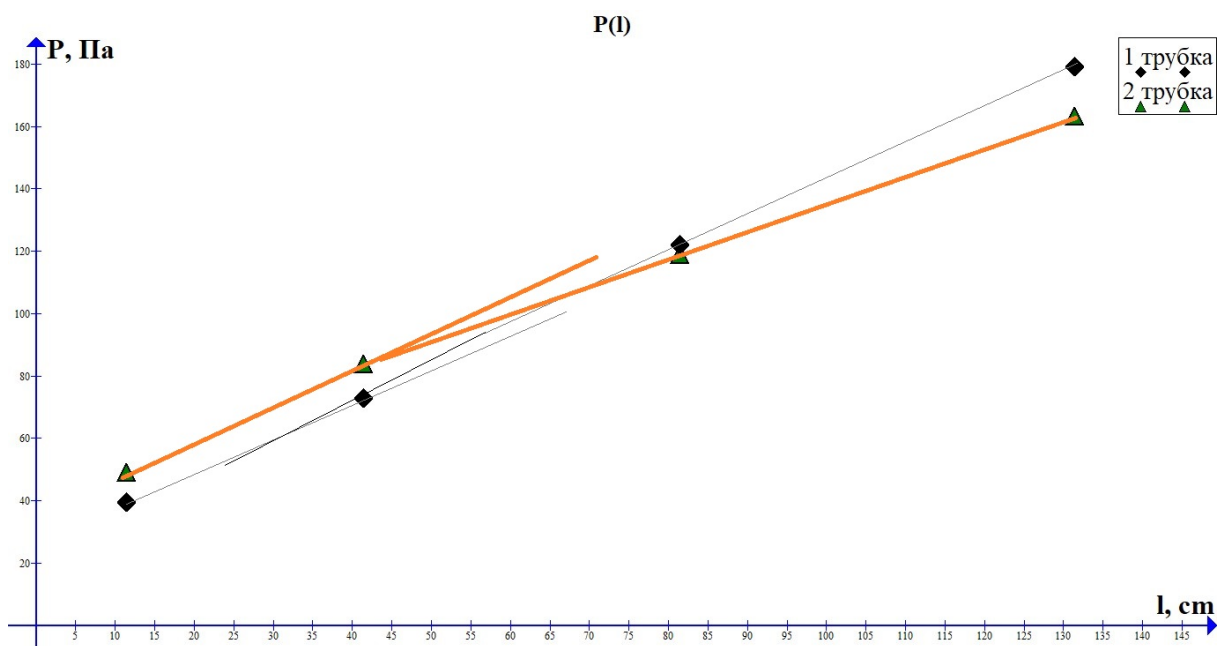
4) Исследуем распределение давления вдоль трубки путем последовательного подсоединения манометра ко всем ее выводам. результаты Запишем в таблицу:

1 трубка						2 трубка						
Участок	3-4	2-4	2-5	1-4	1-5	Участок	1-5	1-4	1-3	2-4	2-5	3-5
N, дел	31	52	88	77	113	N, дел	103	75	53	44	70	50

Переведем эти данные в зависимость  $P(l)$ :

1 трубка					2 трубка				
Участок	1-2	1-3	1-4	1-5	Участок	1-2	1-3	1-4	1-5
$l$ , см	11.4	41.4	81.4	131.4	$l$ , см	11.4	41.4	81.4	131.4
$P \pm 0.8$ , Па	39.6	72.94	122	179.18	$P \pm 0.8$ , Па	49.15	84	118.9	163.32

Используя их, построим график  $P(l)$



Отсюда видно, что установление потока происходит на расстояниях 30 см для 1 трубки и 42 см для 2 трубки. И поэтому можно сделать вывод, что оценка, полученная формулой, является грубой.

5) Для обеих трубок на участках со сформированным течением в ламинарном режиме снимем зависимость  $Q(P)$  и обработаем ее по формуле

$$\frac{8l\eta Q}{\pi(P_1 - P_2)} = r^n$$

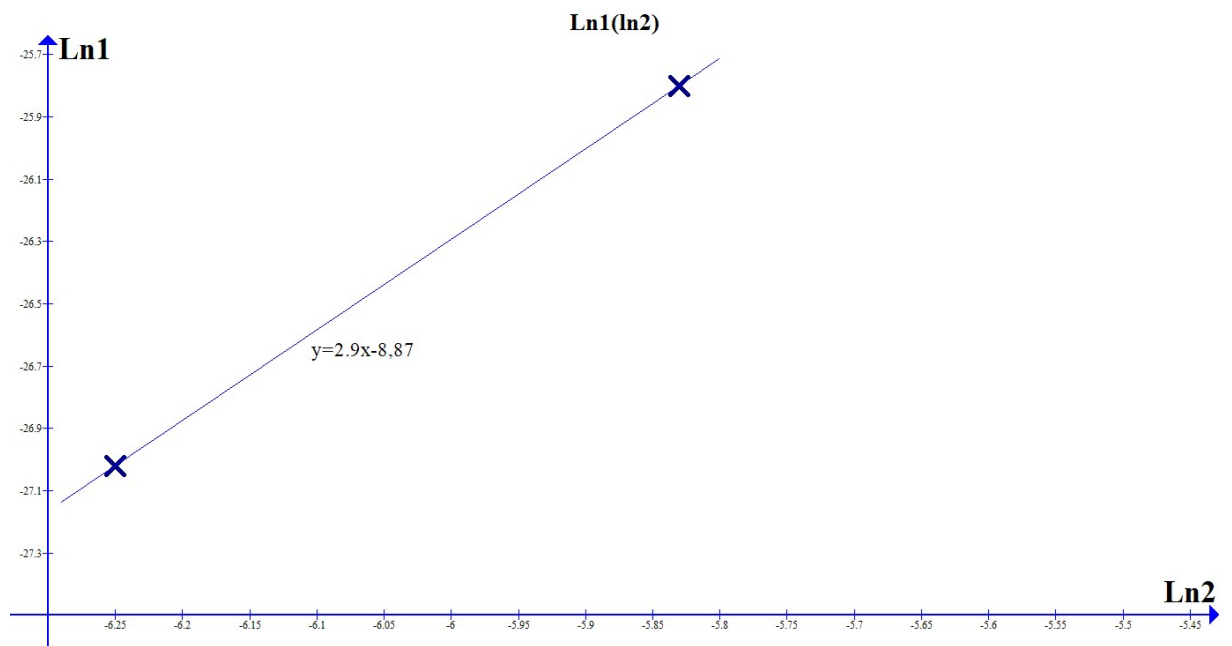
$$\ln\left(\frac{8l\eta Q}{\pi(P_1 - P_2)}\right) = n \ln r$$

$$\ln 1 = n \ln 2$$

Результаты занесем в таблицу:

•	1 трубка			2 трубка		
$N \pm 0.5$ , дел	69	140	202	42	92	128
$\Delta P \pm 0.8$ , Па	109.4	222	320.3	66.6	145.88	203
$Q \pm 0.05$ , л/с	0.083	0.125	0.132	0.166	0.25	0.29
Ln1	-26.72	-27	-27.33	-25.53	-25.9	-26.01
ln2	-6.25			-5.83		

И по ним построим график  $\text{Ln1}(\text{Ln2})$ :



Отсюда  $n = 2.9 \pm 0.8$ , т.к. наибольший вклад в погрешность  $\frac{\text{Ln1}}{\text{Ln2}}$  вносит  $\sigma_P = 0.8$ .

Итого: табличные результаты вязкости воздуха и показателя степени в формуле Пуазейля находятся в пределах погрешности проделанных измерений.