

Измерение вязкости воздуха по течению газа в тонких трубках

М. Аношин¹ Д. Шашков¹

МФТИ, Март 2023

- Цель работы - экспериментально выявить участки формирований течений. Проверить применимость формулы Пуазеля, рассчитать вязкость воздуха.
- В работе используются металлические трубки, укрепленные на горизонтальной подставке, газовый счетчик, микроманометр типа ММН, U - образная трубка.

Установка: микроманометр

Гвоздь программы: Микроманометр типа ММН (Микроманометр многопредельный с наклонной трубкой)



Рис.: Микроманометр

Установка: полная схема

Полная установка состоит из микроманометра, газового счетчика и трубок разного диаметра для измерения параметров проходящего воздуха.

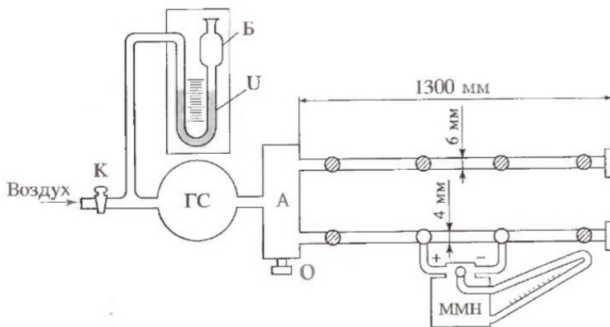


Рис.: Установка

Внешние условия в ходе эксперимента

Температура

21.6 C

Влажность

22 %

Давление

974.4 торр

Табличное значение вязкости воздуха при 22°C - $1,82 \cdot 10^{-5}$ Па.

Одной из главных характеристик движения газа в трубе является число Рейнольдса

$$Re = \frac{E_{\text{кин}}}{A_{\text{вяз}}} \equiv \frac{vr\rho}{\eta}$$

Ламинарное течение устанавливается на длине **a**

$$a \approx 0,2rRe$$

Расход воздуха при ламинарном течении в соответствии с формулой Пуазейль

$$Q = \frac{\pi r^4}{8l\eta} \Delta P$$

Исходя из представленной модели проведем предварительные оценки:

$$Q = u \cdot \pi \cdot r^2$$

$$Re = \frac{\rho u R}{\eta} \Rightarrow Q = \frac{Re \cdot \eta}{\rho} \cdot r \pi \propto 2.16 \cdot 10^{-4}$$

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \eta l} \Rightarrow \Delta P = \frac{Re \cdot \eta}{\rho r} \cdot r^2 \pi \cdot \frac{8 \eta l}{\pi r^4} = \frac{Re \cdot 8 \eta^2 l}{\rho \cdot r^3} = 4.68 \cdot 10^1$$

$$l = 0.2 \cdot r \cdot Re = 0.82 \text{ м}$$

Результаты измерений: Q от ΔP

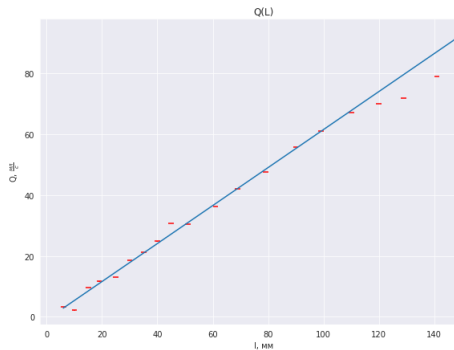


Рис.: $d = 4.1$ мм, $k_{\text{наклона}} = 0.62$

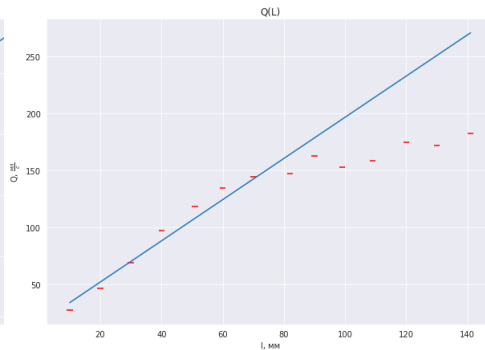


Рис.: $d = 5.2$ мм, $k_{\text{наклона}} = 1.80$

На графиках представлены результаты измерений расхода воздуха от перепада давлений

Определение вязкости воздуха

Будем брать данные только с линейного участка, т.к он характеризуется ламинарным течением.

Показание манометра в Паскали переводятся формулой

$$P = 9,81 \cdot K \cdot l$$

- коэффициент наклона манометра, l - его показания

Полученные значения вязкости $\eta_1 = (2,06 \pm 0,14) \cdot 10^{-5} \text{Па/с}$,
 $\eta_2 = (2,14 \pm 0,15) \cdot 10^{-5} \text{Па/с}$ совпадают в пределах погрешности.

Результаты измерений: ΔP от l

Перепад давлений на разных длинах трубок радиусов 3 и 5.2 мм:

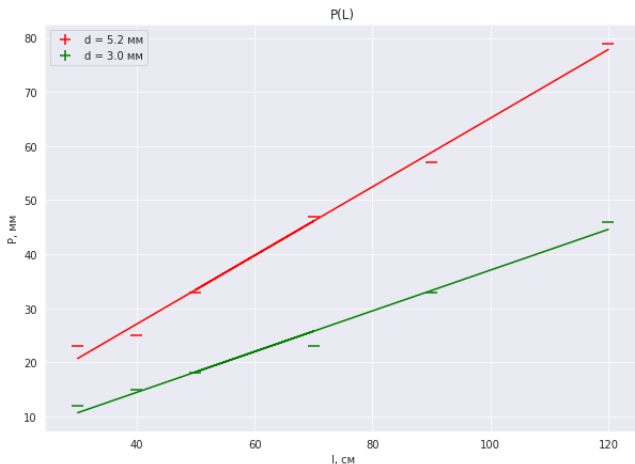
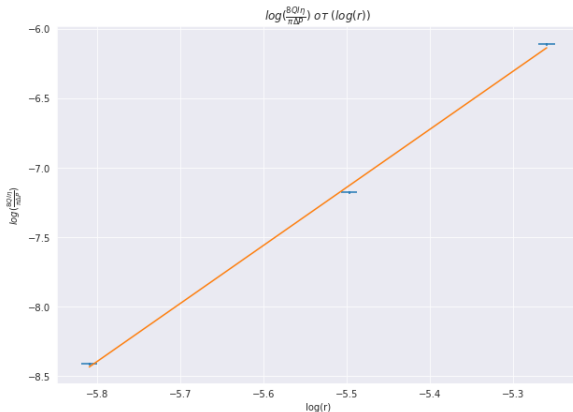


Рис.: $k_{\text{green}} = 0.38$, $k_{\text{red}} = 0.63$

Проверка формулы Пуазейля

Построим график $\ln\left(\frac{8Q\eta}{\pi\Delta P}\right)$ от $\ln(r)$ на ламинарном участке, его коэффициент наклона - это показатель степени в формуле Пуазейля. Который согласно теории должен был быть равен 4. на трубке с радиусом $3,00 \pm 0,05$ мм взята точка.

$\Delta P = 60 \pm 1$, $Q = 10,8 \pm 0,2$ мл/с. Коэффициент наклона $k = 4,17$



- В ходе работы было исследовано установление течений потока воздуха: $l_{\text{турбо}} = (92 \pm 3)$ см и оценка для ламинарного течения 82 см
- Получена вязкость воздуха на 2 разных трубках:

$$\eta_1 = (2,06 \pm 0,14) \cdot 10^{-5} \text{Па/с}, \quad \eta_2 = (2,14 \pm 0,15) \cdot 10^{-5} \text{Па/с}$$

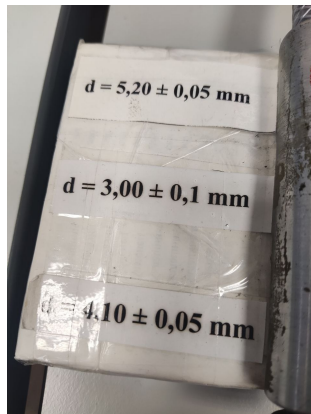
Значения равны в пределах погрешности, и совпадают с табличным $1,82 \cdot 10^{-5} \text{Па}$ с точностью до 14%

- Показатель степени в формуле Пуазейля равен 4.17, что совпадает с 4 с точностью 4%. На 3х предоставленных точках наблюдается режим тока, который можно считать Пуазейлевским, но данных не достаточно много для построения гипотезы

Использованные источники

- ❶ Таблица вязкости воздуха от макро параметров
- ❷ Лабораторная работа 1.3.3
- ❸ Кириченко - Термодинамика
- ❹ Таблица с данными

Аппендикс 1.



Аппендикс 2.

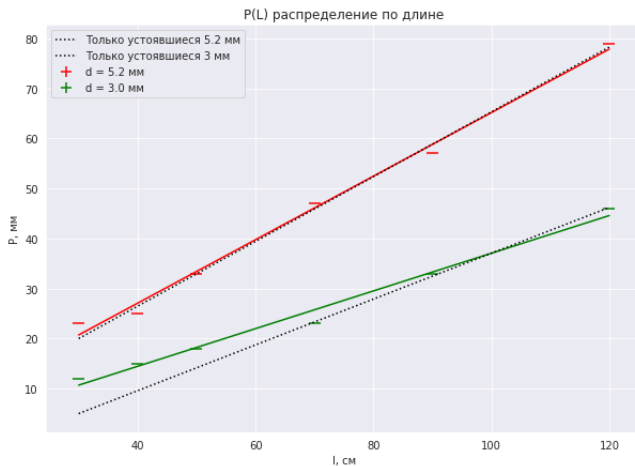


Рис.: Данные слегка не сходятся