

Лабораторная работа 1.3.3
Измерение вязкости воздуха по течению в
тонких трубках

Кагарманов Радмир Б01-106

6 мая 2022 г.

Цель работы: экспериментально исследовать свойства течения газов по тонким трубкам при различных числах Рейнольдса; выявить область применимости закона Пуазейля и с его помощью определить коэффициент вязкости воздуха.

В работе используется: В работе используются: система подачи воздуха (компрессор, поводящие трубки); газовый счетчик барабанного типа; спиртовой микроманометр с регулируемым наклоном; набор трубок различного диаметра с выходами для подсоединения микроманометра; секундомер.

Теоретические сведения

Работа посвящена изучению течения воздуха по прямой трубе круглого сечения. Движение жидкости или газа вызывается перепадом внешнего давления на концах ΔP трубы, чему в свою очередь препятствуют силы вязкого (внутреннего) трения, действующие между соседними слоями жидкости, а также со стороны стенок трубы.

Сила вязкого трения как в жидкостях, так и в газах описывается законом Ньютона: касательное напряжение между слоями пропорционально перепаду скорости течения в направлении, поперечном к потоку. В частности, если жидкость течёт вдоль оси x , а скорость течения $v_x(y)$ зависит от координаты y в каждом слое возникает направленное по x касательное напряжение.

Величину η называют коэффициентом динамической вязкости (или просто вязкостью) среды.

Объёмным расходом (или просто расходом) Q называют объём жидкости, протекающий через сечение трубы в единицу времени. Величина Q зависит от перепада давления ΔP , а также от свойств газа (плотности ρ и вязкости η) и от геометрических размеров (радиуса трубы R и её длины L). Основная задача данной работы — исследовать эту зависимость экспериментально.

Характер течения в трубе может быть ламинарным либо турбулентным.

Характер течения определяется безразмерным параметром задачи — числом Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho \bar{u} a}{\eta}, \quad (1)$$

где ρ - плотность жидкости, $\bar{u} = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{U_{max}}{2}$ - средняя скорость движения потока, a - характерный размер потока.

Объёмный расход жидкости Q можно найти по формуле:

$$Q = \frac{\pi R^4 \Delta P}{8 \eta l} \quad (2)$$

Длина установления $l_{\text{уст}}$:

$$l_{\text{уст}} = 0,2R \cdot Re \quad (3)$$

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки изображена на Рис. 1. Поток воздуха под давлением, немного превышающим атмосферное, поступает через газовый счётчик в тонкие металлические трубки. Воздух нагнетается компрессором, интенсивность его подачи регулируется краном К. Трубки снабжены съёмными заглушками на концах и рядом миллиметровых отверстий, к которым можно подключать микроманометр. В рабочем состоянии открыта заглушка на одной (рабочей) трубке, микроманометр подключён к двум её выводам, а все остальные отверстия плотно закрыты пробками.

Перед входом в газовый счётчик установлен водяной U-образный манометр. Он служит для измерения давления газа на входе, а также предохраняет счётчик от выхода из строя.

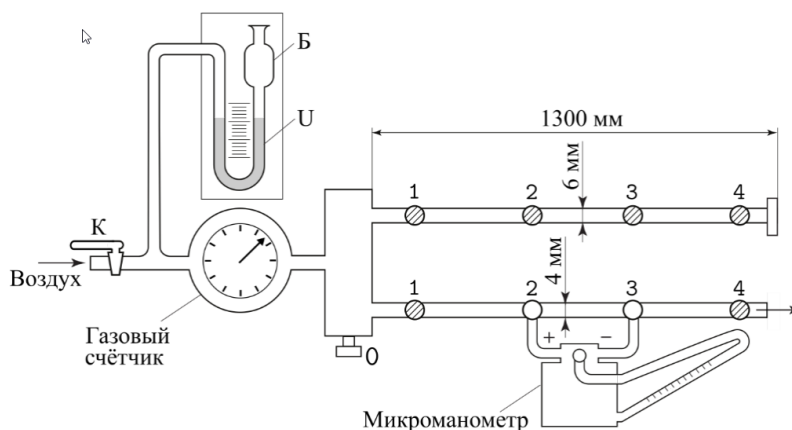


Рис. 1: Экспериментальная установка

Ход работы

1. ΔP будем считать по формуле:

$$\Delta P = 0,2 * 9,8067 * 0,9932 * n,$$

где n - количество делений на микроманометре. Домножаем на 0,9932, так как температура была 24°C .

На Рис. 2 и Рис. 3 изображены графики $Q(\Delta P)$ для трубок с диаметрами $d_1 = 3,90 \pm 0,05$ мм и $d_2 = 5,25 \pm 0,05$ мм.

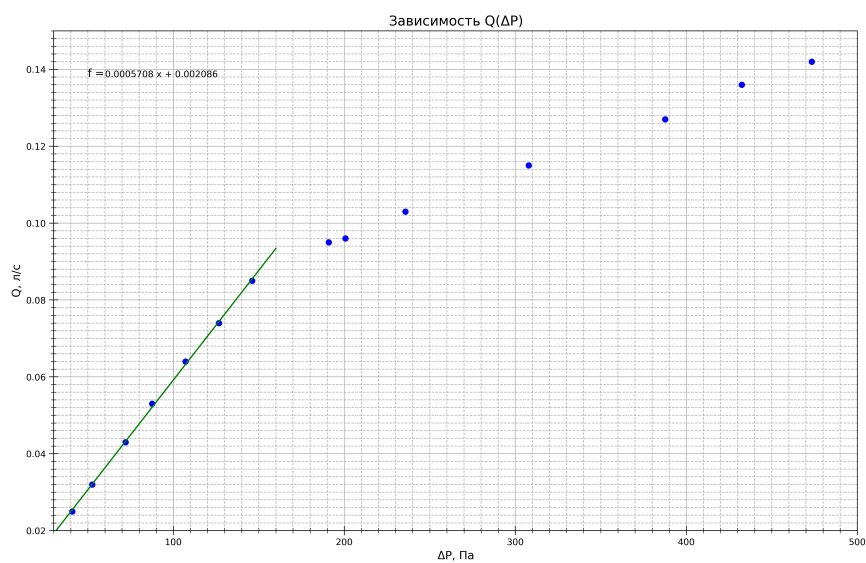


Рис. 2: Зависимость $Q(\Delta P)$ для трубки с диаметром $d_1 = 3,90 \pm 0,05$ мм

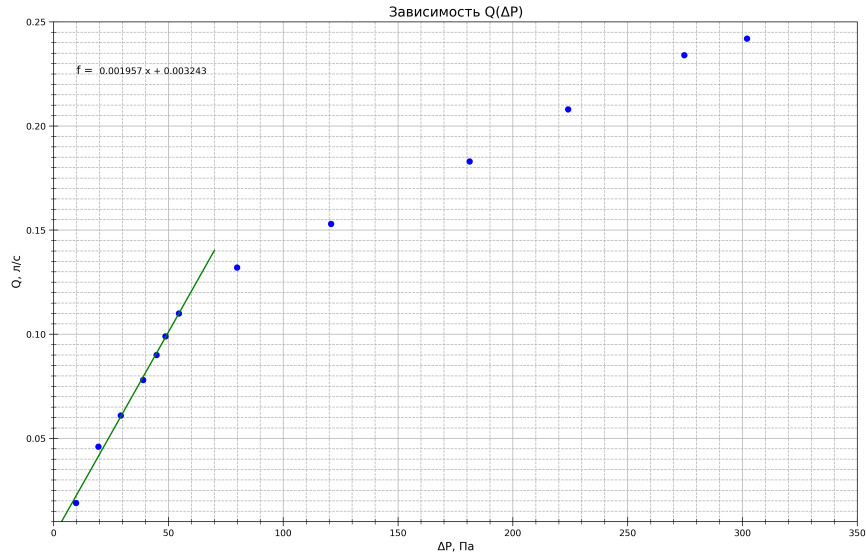


Рис. 3: Зависимость $Q(\Delta P)$ для трубки с диаметром $d_2 = 5,25 \pm 0,05$ мм

На графиках видно, что для первых 7 измерений зависимость линейная. Из первого графика по формуле (1) $\eta = 1,99 \cdot 10^{-5} \pm 0,06 \cdot 10^{-5}$ Па·с. Для второго: $\eta = 1,90 \cdot 10^{-5} \pm 0,07 \cdot 10^{-5}$ Па·с.

Погрешность η находится по формуле:

$$\varepsilon_{\eta} = \sqrt{\varepsilon_k^2 + 4 \cdot \varepsilon_R^2},$$

где относительная погрешность для $\varepsilon_{k1} = 1\%$ и $\varepsilon_{k2} = 2,9\%$.

Как мы видим, η совпадает в пределах погрешности для разных трубок.

2. На Рис. 4 и Рис.5 изображены графики зависимости $P(x)$. Посчитав по формуле длины установления получились $l_{уст1} \approx 0,32$ м и $l_{уст2} \approx 0,39$ м. И это видно на графиках.

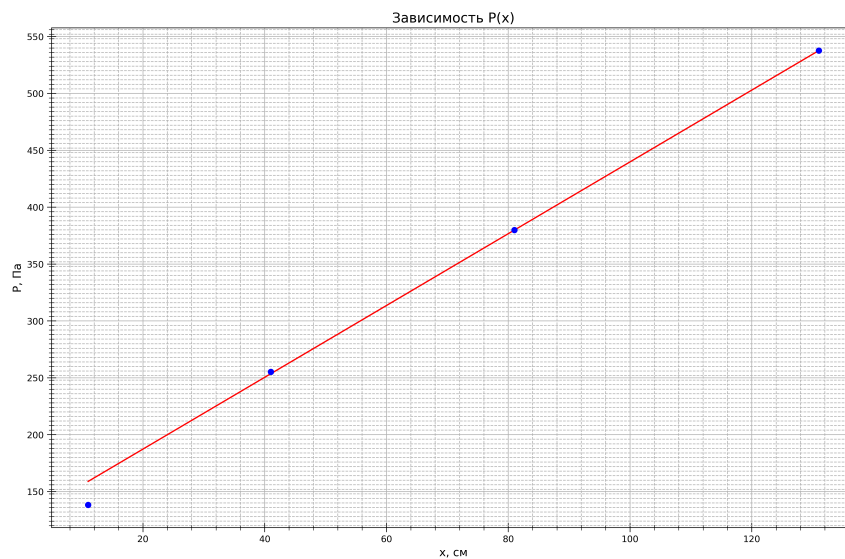


Рис. 4: Зависимость $P(x)$ для трубки с диаметром $d_2 = 5,25 \pm 0,05$ мм

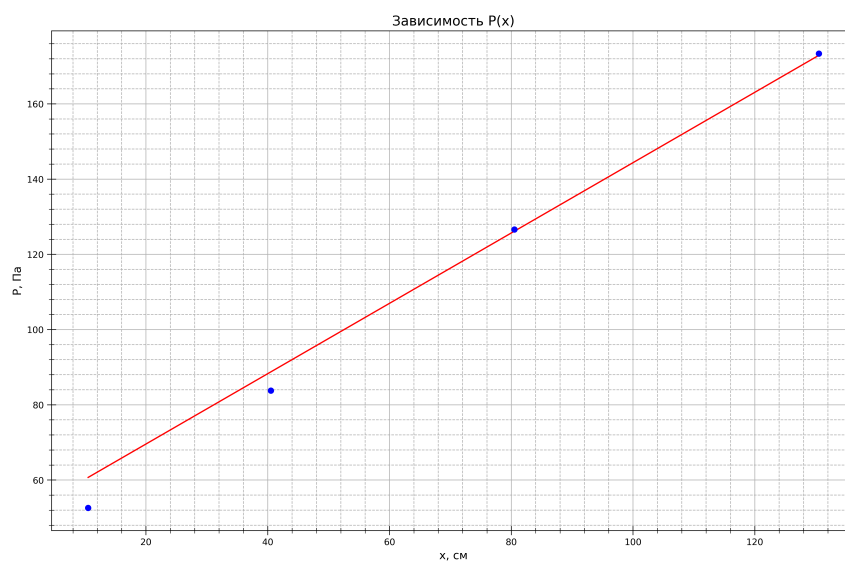


Рис. 5: Зависимость $P(x)$ для трубки с диаметром $d_2 = 5,25 \pm 0,05$ мм

3. Рассмотрим зависимость $\ln Q$ от $\ln R$. Она изображена на Рис. 6. С её помощью мы можем найти β в $Q \propto R^\beta$. Получилось, что $\beta = 4,05 \pm 0,13$. Так как расход был в ламинарном режиме, то результат близок к теории.

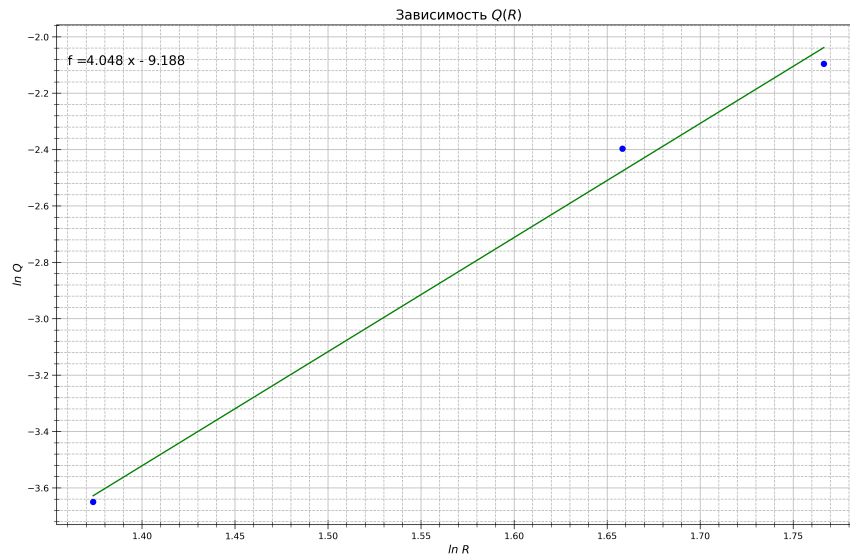


Рис. 6: Зависимость $\ln Q$ от $\ln R$

Вывод: в данной лабораторной работе мы нашли коэффициент вязкости воздуха $\eta = 1,99 \cdot 10^{-5} \pm 0,06 \cdot 10^{-5}$ Па \cdot с и $\beta = 4,05 \pm 0,13$. Также мы рассмотрели зависимость $P(x)$.