

1.3.3.

## Измерение вязкости воздуха по течению в тонких трубках

Семёнов Андрей Б02-016

25 марта 2021г.

**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 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

## 1 Теоретический материал

Работа посвящена изучению течения воздуха по прямой трубе круглого сечения. Движение жидкости или газа вызывается перепадом внешнего давления на концах  $\Delta P$  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  $\eta$  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  $\Delta P$ , а также от свойств газа (плотности  $\rho$  и вязкости  $\eta$ ) 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

$$Re = \frac{\rho u a}{\eta}$$

, где

$\rho$  - плотность жидкости,  $u$  - скорость движения потока,  $a$  - характерный размер потока.

Выпишем некоторые теоретические зависимости:

$$P(x) = P_0 - \frac{\Delta P}{l} x$$

$$u = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{U_{max}}{2}$$

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

$$a_{уст} \approx 0,2 R \cdot Re$$

## 2 Экспериментальная установка

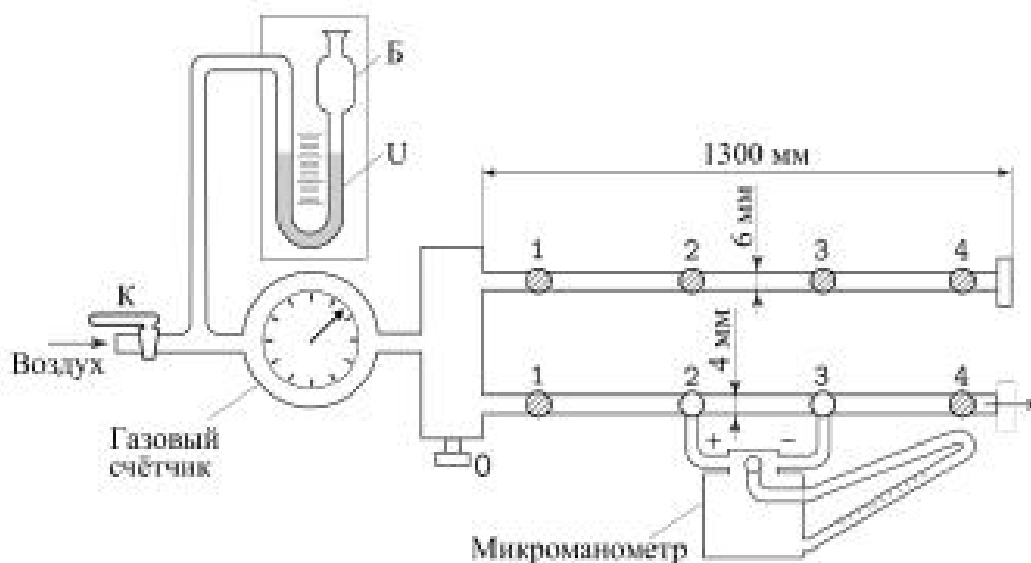


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

## 3 Выполнение работы

Оценим расстояние, на котором происходит формирование потока при ламинарном течении.  $a \approx 0,2r * Re = 0,2 * 1,95 * 10^{-2} * 1000 \approx 40$  (см)

Давление, измеряемое микроманометром, определяется по формуле:

$$P = K * h * 9,80665$$

где

$P$  — давление в Паскалях

$h$  — число делений

$K = 0,2$  — постоянная угла наклона

	$d$ , мм	$\sigma$ , мм
Первая трубка	5,25	0,05
Вторая трубка	3,00	0,05
Третья трубка	3,95	0,05

Таблица 1: Внутренние диаметры трубок установки

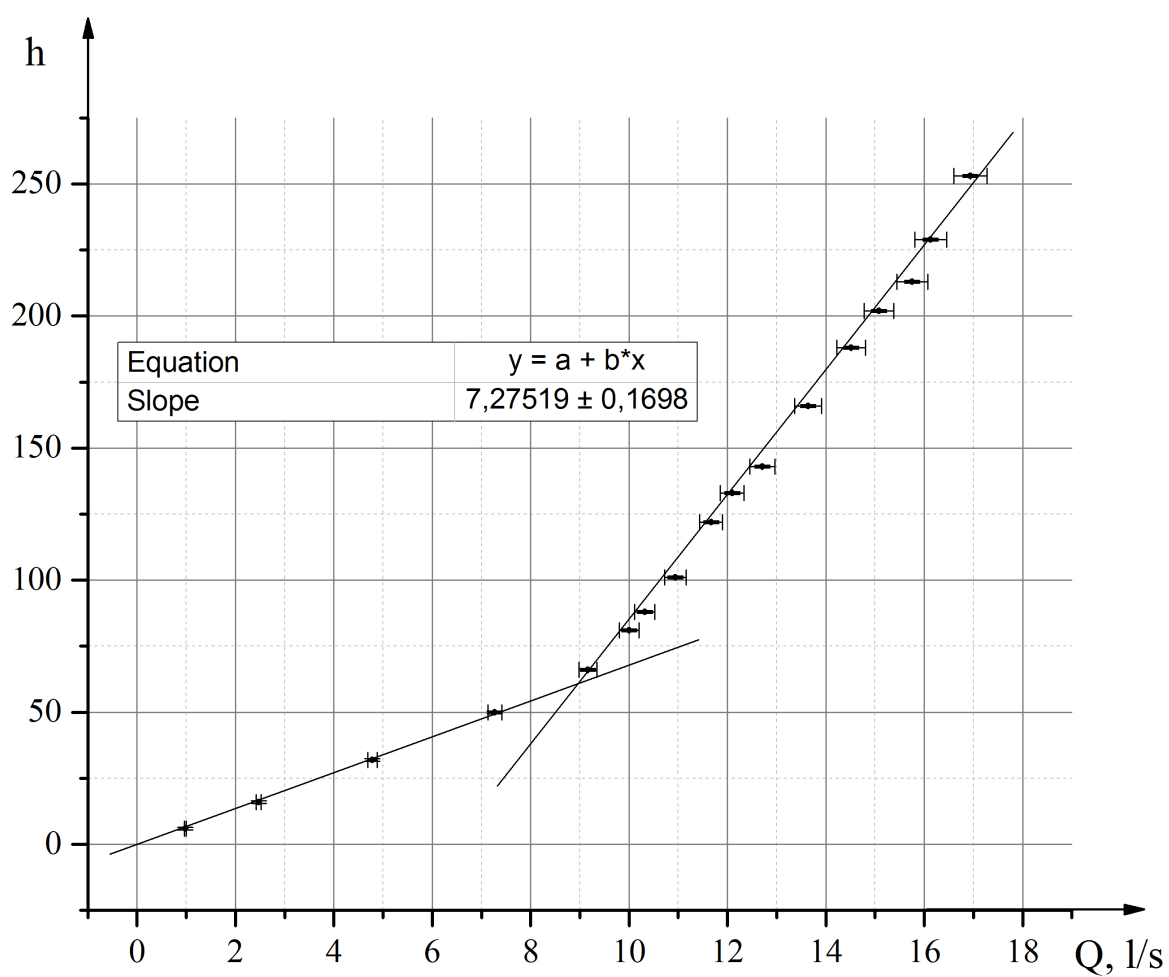
Построим график зависимости давления от расхода:

№ измерения	$\Delta V$ , л	$t$ , с	$\Delta P$ , дел
1	2	80	20
2	3	78	30
3	5	99	40
4	6	94	50
5	7	99	55
6	8	104	60
7	9	108	65
8	10	112	70

Таблица 2: Результаты измерения зависимости перепада давления от расхода воздуха, ламинарный режим

№ измерения	$\Delta V$ , л	$t$ , с	$\Delta P$ , дел
1	7	67	95
2	10	88	127
3	11	92	151
4	12	92	182
5	12	83	214
6	15	99	243
7	20	122	277

Таблица 3: Результаты измерения зависимости перепада давления от расхода воздуха, турбулентный режим



Выразим искомую вязкость через коэффициент наклона прямой  $\alpha$

$$h = \eta * \frac{8l}{\pi r^4 K * 8,80665} Q = \alpha Q$$

$$\eta = \frac{\pi r^4 K * 9,80665 \alpha}{8l}$$

$$l = (50,0 \pm 0,1) \text{ см}$$

$$\epsilon_\eta = \sqrt{4\epsilon_R^2 + \epsilon_\alpha^2 + \epsilon_l^2} = 0,03$$

$$\eta = (1,61 \pm 0,05) * 10^{-5} \text{ кг*м/с}$$

Из графика видно, что ламинарный режим переходит в турбулентный на значениях  $(8 - 9) * 10^2 \text{ м}^3/\text{с}$

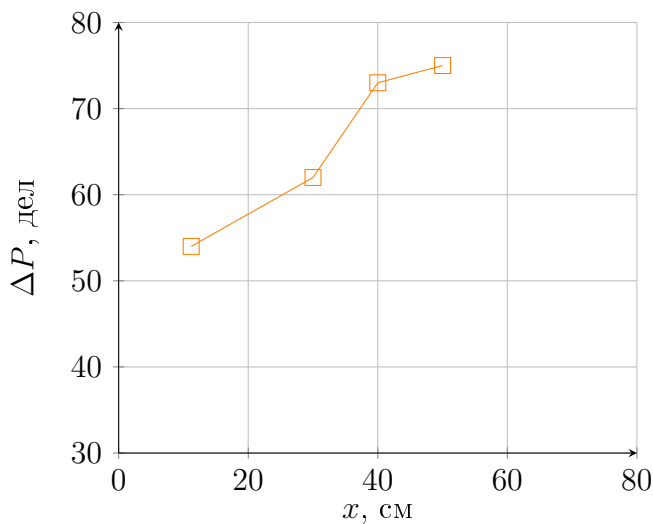
$$Re = \frac{Qr\rho}{S\eta}$$

$$Re = (980 - 1100)$$

При расходе, заведомо обеспечивающем ламинарность потока измерим распределение давления вдоль трубки:

l, см	11,2	30	40	50
$\Delta P$ , дел	54	62	73	75

Построим график зависимости давления от расстояния:



## 4 Выводы

1. При выполнении данной работы были исследованы различные режимы течения газа по трубкам. На практике получена экспериментальная зависимость разницы давления в различных точках трубки в зависимости от расхода воздуха, идущего через трубку.

2. Исследовались условия перехода течения из одного режима (ламинарного) в другой (турбулентный).
3. Полученные зависимости разницы давлений от расхода воздуха согласуются с существующей теорией, описывающей движение газов и жидкостей в различных режимах.
4. Определено значение вязкости воздуха :  $\eta_{\text{эксп}} = (1,6 \pm 0,6) \cdot 10^{-6}$  Па·с, при табличном значении  $\eta_{\text{табл}} = (1,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-6}$  Па·с. Полученные значения равны в пределах погрешности.
5. Основной вклад в погрешность итогового значения вязкости внесла погрешность измерения времени, а так же погрешности измерения давлений. Погрешности, связанные с установкой (погрешность линейных размеров установки, диаметра трубок) внесли меньший вклад в итоговое значение погрешности.
6. Частично подтверждена теоретическая линейная зависимость падения давления с изменением расстояния от края трубки. Также необходимо уточнить, что за время выполнения лабораторной работы температура в комнате понизилась на несколько градусов.
7. Подтверждена формула Пуазейля для расхода газа при прохождении через трубку.