

# МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №1.3.3

---

## Определение вязкости воздуха по скорости течения через тонкие трубки

---

*Автор:* Алексей Домрачев 615 группа



1 апреля 2017 г.

## Начальные сведения

### Цель работы

1. Экспериментально выявить участок сормированного течения;
2. Определить режимы ламинарного и турбулентного течения;
3. Определить число Рейнольдса

### В работе используются

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

### Экспериментальная установка

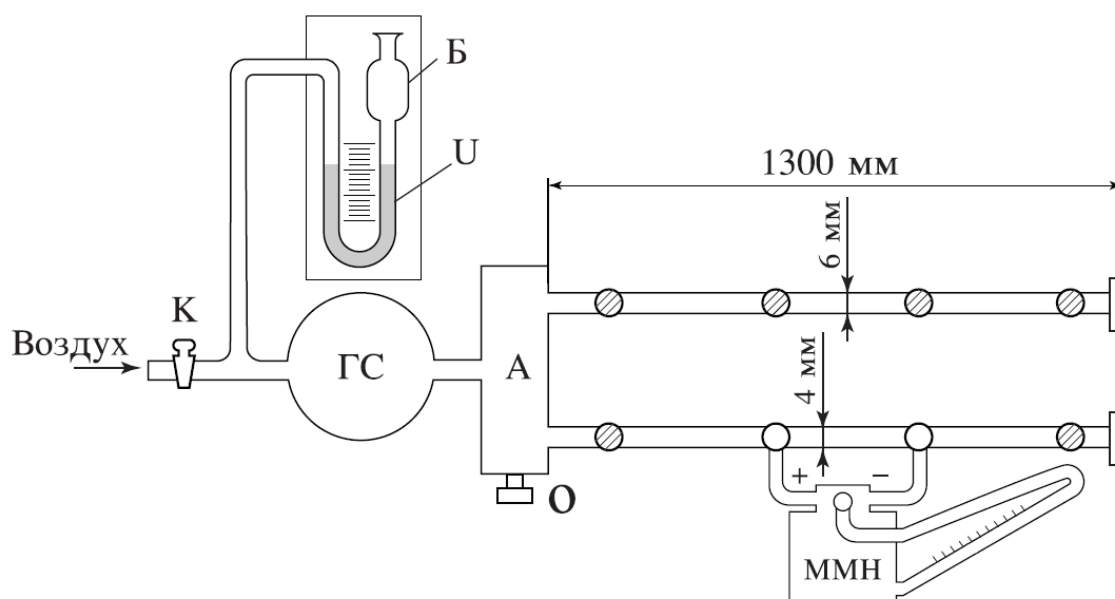


Рис. 1: Схема установки для определения вязкости воздуха

Данная работа предусматривает следующую методику измерений в несколько этапов:

1. Измерение вязкости воздуха: выбирается труба, на которой будут производиться измерения, к двум соседним участкам выбранной трубы, которые выбираются при условии того, что на них успевает сформироваться

воздушный поток, подключается микроанометр. Далее снимается зависимость разности давлений  $\Delta P$  от расхода воздуха  $Q$ .

2. При расходе, заведомо обеспечивающем ламинарность потока, измеряется распределение давления вдоль всех трех трубок.
3. Для всех трубок на участках со сформированным течением в ламинарном режиме снимаются зависимости  $Q = f(P)$ .

## Измерения и расчеты

Оценим расстояние, на котором происходит формирование потока при ламинарном течении для выбранной трубки:  $a = 0.2r \cdot Re = 390$  мм.

Таблица 1: Расход воздуха и разность давлений в режиме ламинарного течения

№	1	2	3	4	5	6
$\Delta V$ , л	5	5	5	8	10	10
$\Delta t$ , с	113.92	80.74	67.74	97.63	106.33	96.79
$Q \cdot 10^2$ , л/с	4.39	6.19	7.38	8.19	9.40	10.33
$\Delta P \cdot 0.2$ , дел.	6.0	8.4	10.2	11.8	14.0	17.8
$\Delta P$ , Па	11.78	16.48	20.01	23.14	27.46	34.91

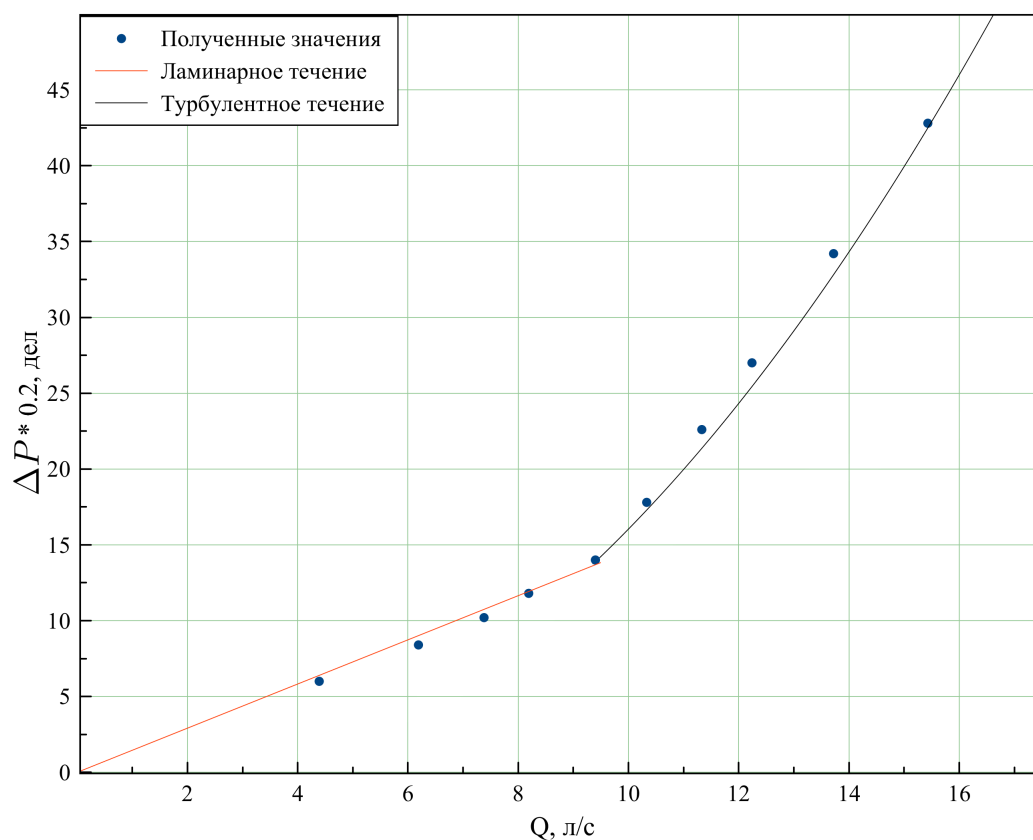
Таблица 2: Расход воздуха и разность давлений в режиме турбулентного течения

№	1	2	3	4
$\Delta V$ , л	10	13	14	16
$\Delta t$ , с	88.24	106.24	102.06	103.70
$Q \cdot 10^2$ , л/с	11.33	12.24	13.72	15.43
$\Delta P \cdot 0.2$ , дел.	22.6	27	34.2	42.8

С помощью полученных данных и МНК рассчитаем угловой коэффициент наклона линейной части графика.

$$k = \frac{\langle xy \rangle}{\langle x^2 \rangle} = \frac{7.49 \cdot 10^{-3}}{6.24 \cdot 10^{-9}} = 1200173 \quad (1)$$

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - k^2} = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{9060.95}{6.24 \cdot 10^{-9}} - 1200173^2} = 45538 \quad (2)$$

Рис. 2: График зависимости  $\Delta P$  от  $Q$ 

Коэффициент вязкости воздуха вычислим с помощью формулы Пуазейля

$$\eta = \frac{\pi r^4 k}{8l} = \frac{\pi \cdot 3.90^4 \cdot 1200173}{8 \cdot 0.5 \cdot 2^4 \cdot 10^{12}} = 13.6 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (3)$$

Подсчитаем ошибку:

$$\sigma_\eta = \eta \sqrt{16 \left( \frac{\sigma_r}{r} \right)^2 + \left( \frac{\sigma_k}{k} \right)^2} = 0.9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с} \quad (4)$$

ИТОГ:  $\boxed{\eta = 13.6 \pm 0.9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}}$

Значения  $Q = 9.40 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$  и  $\Delta P = 111.14 \text{ Па}$  соответствуют значениям переходной области между ламинарным и турбулентным течением. Значение плотности воздуха возьмем  $1.184 \text{ кг}/\text{м}^3$ , т.к. это значение соответствует воздуху при нормальных условиях при  $25^\circ\text{C}$ . Рассчитаем значение числа  $Re$  при этих данных:

$$v = \frac{Q}{S}; Re = \frac{vr\rho}{\eta} = \frac{2Q\rho}{\eta\pi d} = \frac{2 \cdot 9.40 \cdot 10^{-5} \cdot 1.184}{13.6 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot 3.90 \cdot 10^{-3}} = 1335 \quad (5)$$

Таблица 3: Зависимость давления от длины трубки при ламинарном течении

$l$ , см	$Q_1 \cdot 10^2$ , л/с	$\Delta P_1$ , дел
10.5	6.39	32
40.5	7.12	71
80.5	6.64	107
130.5	6.92	155

Таблица 4: Зависимость давления от длины трубки на границе

$l$ , см	$Q_2 \cdot 10^2$ л/с	$\Delta P_2$ , дел
10.5	10.06	74
40.5	10.91	151
80.5	10.47	239
130.5	9.48	264

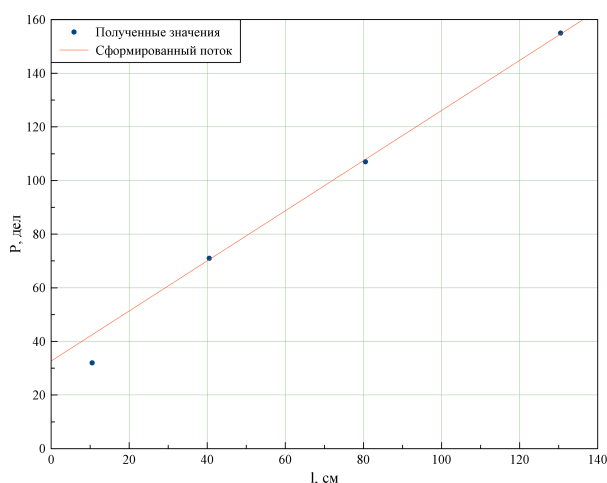


Рис. 3: График зависимости  $\Delta P$  от  $l$

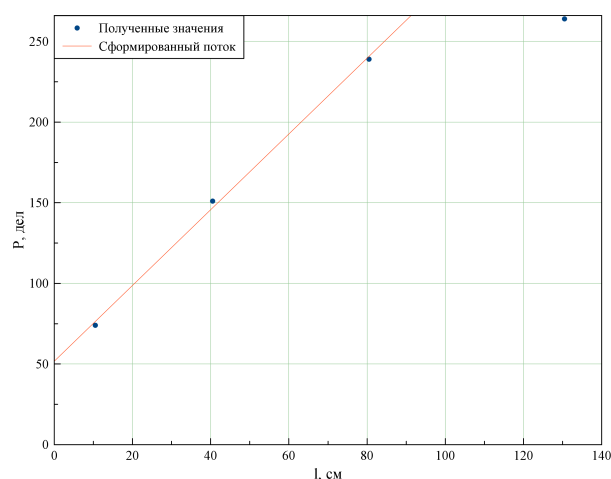


Рис. 4: График зависимости  $\Delta P$  от  $l$

Из рисунка 3 мы видим, что поток воздуха сформировывается при  $l \geq 40$  см, что соответствует полученным теоретическим вычислениям:  $a = 390$  мм.

Таблица 5

	$Q \cdot 10^2$ , л/с	$\Delta P$ , дел	$r$ , мм	$\ln r$	$\ln r^n$
Труба 1	3.33	26	3.00	5.8091	15.0898
	5.91	54			15.2481
	8.53	88			15.3695
Труба 2	4.11	8	5.90	5.1328	13.5680
	9.85	12			13.2333
	18.25	55			14.1899

С помощью полученных данных и МНК рассчитаем угловой коэффициент графика:

$$b = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} = 2.35; \sigma_b = 0.33 \quad (6)$$

$b \neq 4 \Rightarrow$  экспериментальное значение степени  $r$  не совпало с теоретическим.

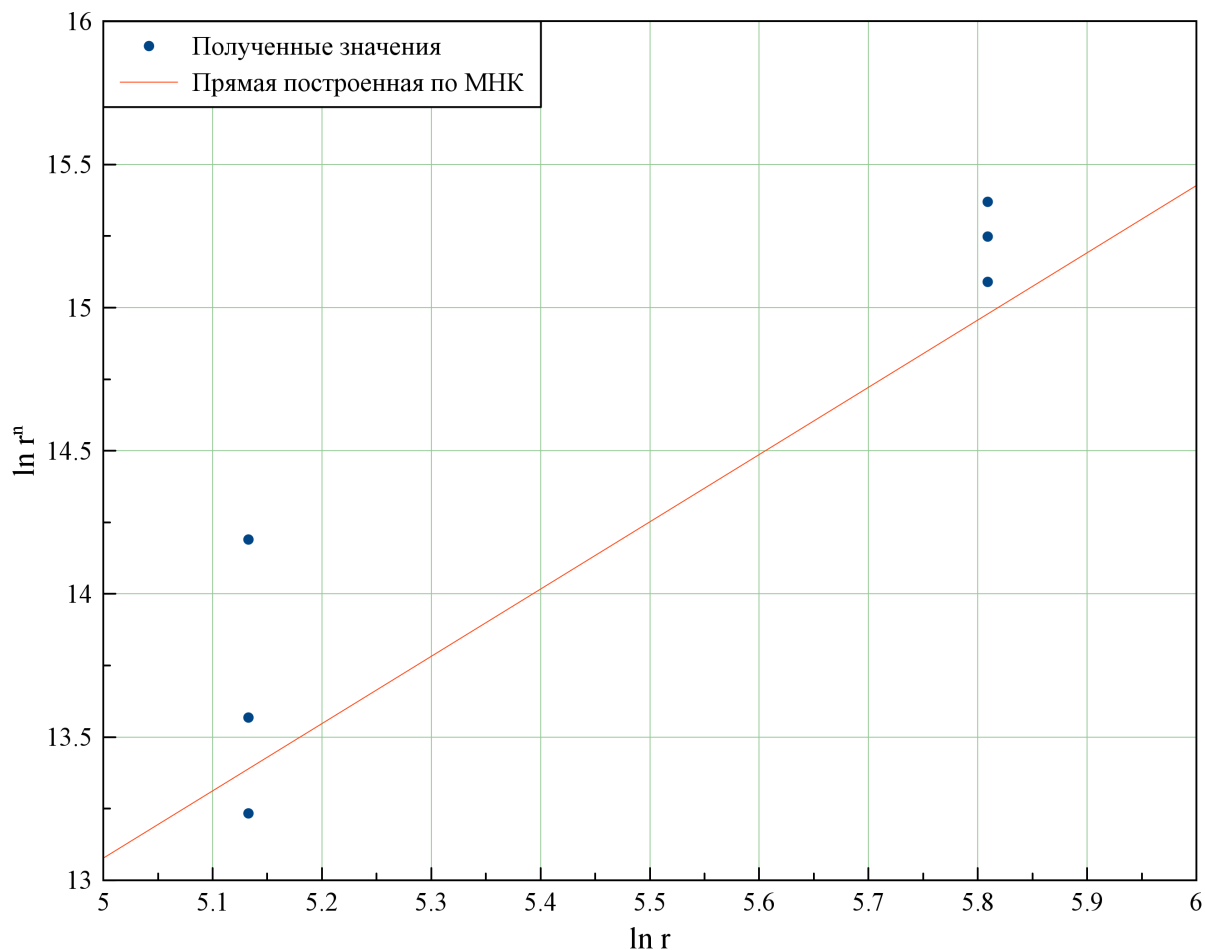


Рис. 5: График зависимости  $\ln r^n$  от  $\ln r$

## Вывод

1. Практическое значение вязкости воздуха отличается от теоретического на 31%.
2. Мы проверили на практике, что режим воздушного потока устанавливается при длине трубы  $> 40$  см, что соответствует теоретическому значению 390 мм.
3. Практическое значение  $n$  не сошлось с теоретическим 4. Так как эксперимент был проведен правильно, считаю что это неполадка оборудования.