

Работа 1.3.3

Измерение вязкости воздуха по течению в тонких трубках

Белинский Тимофей

3 апреля 2023 г.

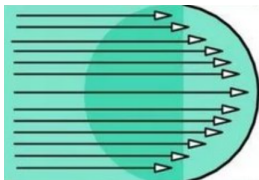
Цель работы

- исследовать свойства течения газов по тонким трубкам при различных числах Рейнольдса
- выявить область применимости закона Пуазейля
- определить коэффициент вязкости воздуха



- система подачи воздуха
- газовый счетчик
- спиртовой микроманометр
- набор трубок различного диаметра

Рис.: Экспериментальная установка



Течение Пуазейля

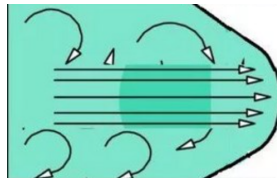
$$F_{1x} = -dP \cdot \pi r^2; \quad F_{2x} = \eta \frac{du}{dr} \cdot 2\pi r dx; \quad F_{1x} + F_{2x} = 0$$

$$\Rightarrow Q = \int_0^R u(r) \cdot 2\pi r dr = \frac{\pi \Delta P R^4}{8\eta l}$$

Турбулентное течение

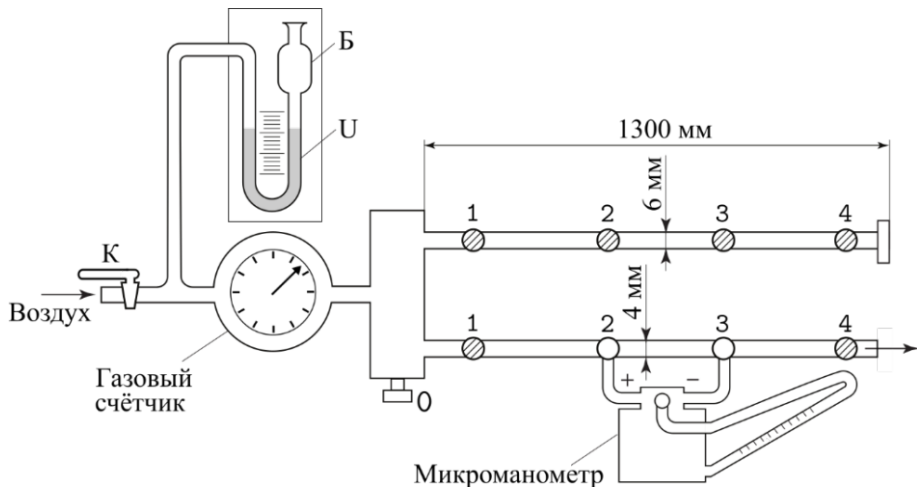
$$\Delta \bar{u} \sim \bar{u}; \quad \eta_{\text{турб}} \sim \rho \bar{u} R; \quad \eta_{\text{турб}} \frac{\bar{u}}{R} \cdot 2\pi R l \sim \Delta P \pi R^2$$

$$\Rightarrow Q \sim R^{5/2} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho l}}$$



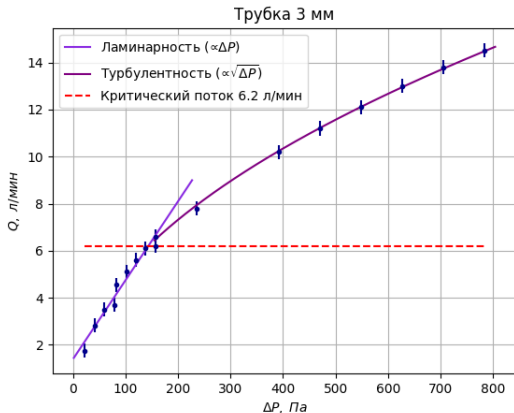
Внешние условия:

$$P_0 = 99800 \text{ Па} \quad T = 298.9 \text{ К}$$



Зависимость объемного расхода от давления I

Из формулы Пуазейля: $k = \frac{\pi d^4}{128 \eta l}$, k – угловой коэффициент, d – диаметр



По МНК

$$k = (34 \pm 2) \cdot 10^{-3} \text{ л/мин} \cdot \text{Па}$$

Длина участка для измерений:

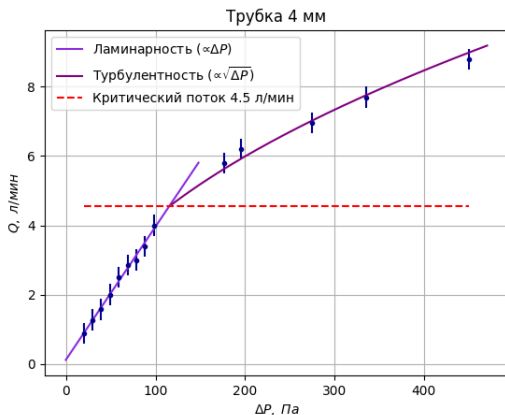
$$l = (20.0 \pm 0.5) \text{ см}$$

Соответствующие значение вязкости:

$$\eta_3 = (1.8 \pm 0.2) \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критическое значение потока: $Q_{кр3} = (6.2 \pm 0.3) \text{ л/мин}$

Зависимость объемного расхода от давления II



По МНК

$$k = (38 \pm 1) \cdot 10^{-3} \text{ л/мин} \cdot \text{Па}$$

Длина участка для измерений:

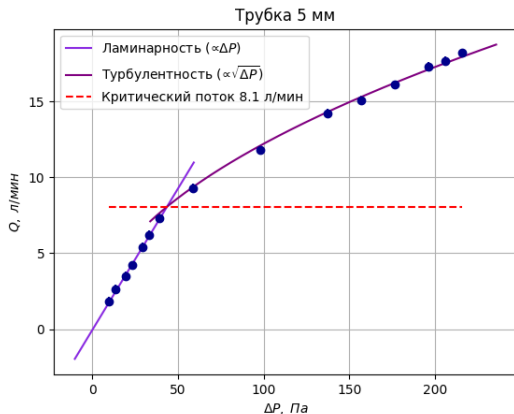
$$l = (50.0 \pm 0.5) \text{ см}$$

Соответствующие значение вязкости:

$$\eta_4 = (1.8 \pm 0.2) \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критическое значение потока: $Q_{\text{кр}4} = (4.5 \pm 0.3) \text{ л/мин}$

Зависимость объемного расхода от давления III



По МНК

$$k = (186 \pm 3) \cdot 10^{-3} \text{ л/мин} \cdot \text{Па}$$

Длина участка для измерений:

$$l = (40.0 \pm 0.5) \text{ см}$$

Соответствующие значение вязкости:

$$\eta_5 = (1.5 \pm 0.1) \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критическое значение потока: $Q_{кр5} = (8.1 \pm 0.3)$ л/мин

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho d \bar{u}}{2\eta}$$

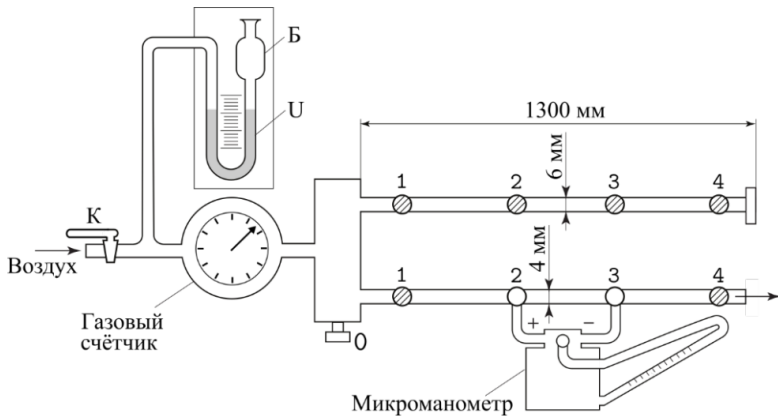
Приняв $u = 4Q/\pi d^2$ и $\rho = P_0\mu/RT$, получим выражение для переходного течения

$$Re = \frac{2Q_{кр}P_0\mu}{\pi dRT\eta}$$

Рассчитаем значения Re для каждой трубки

$$Re_3 = (1432 \pm 212); \quad Re_4 = (811 \pm 102); \quad Re_5 = (1268 \pm 116).$$

Распределение давления в трубке I

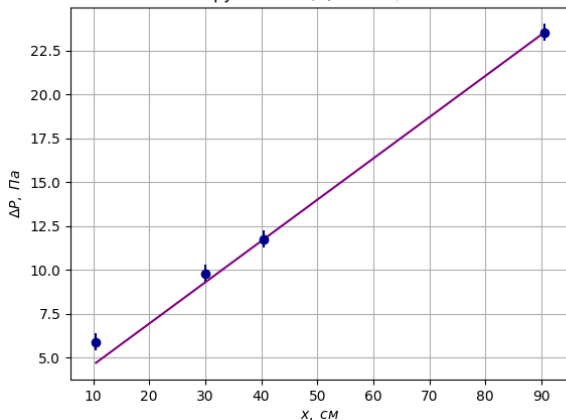


$$K \sim \frac{1}{2} \rho u^2 \pi R^2 dx; \tau_p \sim \eta \frac{du}{dr} 2\pi R l dx$$

$$\Rightarrow l_{уст} \sim R \cdot Re; \quad l_{уст} \approx 0.2 R Re$$

Распределение давления в трубке II

Трубка 5 мм, $Q = 1.6$ л/мин



Теоретически оценное значение

$$l_{уст0} \approx 60 \text{ см}$$

При $x \in [10 \text{ см}; 30 \text{ см}]$ градиент давления чуть больше, чем следует из формулы Пуазейля. То есть получаем

$$10 \text{ см} \leq l_{уст} \leq 30 \text{ см}$$

Вязкость

Значения вязкости воздуха измеренные при помощи разных трубок почти не отличаются, что и ожидалось. Полученное нами среднее значение

$$\eta = (1.5 \pm 0.1) \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Отличается от табличного

$$\eta = 1.9 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

на 10 %

Распределение давления

Оценные экспериментально значения длины установления потока совпадает по порядку величины со значением полученным теоретически

$$l_{\text{уст}} \in [10 \text{ см}; 30 \text{ см}]; \quad l_{\text{уст}0} \approx 60 \text{ см}$$