

### 1.3.3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА ПО СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЧЕРЕЗ ТОНКИЕ ТРУБКИ

*Егор Берсенеv*

## 1 Цель работы

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

## 2 Оборудование

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

## 3 Теоретическая часть

Рассмотрим движение вязкой жидкости по трубке круглого сечения. При малых скоростях потока движение оказывается ламинарным, скорости частиц меняются по радиусу и направлены вдоль оси трубки. С увеличением скорости течение становится турбулентным, и слои перемешиваются. При турбулентном движении скорость в каждой точке быстро меняет величину и направление, сохраняется только средняя величина скорости.

Характер движения газа в трубке определяется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{vr\rho}{\eta}, \quad (1)$$

где  $v$  — скорость потока,  $r$  — радиус трубки,  $\rho$  — плотность движущейся среды,  $\eta$  — вязкость. В гладких трубах круглого сечения переход от ламинарного движения к турбулентному происходит примерно при  $Re \sim 1000$ . При ламинарном течении объем газа  $V$ , протекающий за время  $t$  по трубе длины  $l$ , определяется формулой Пуазейля:

$$Q_V = \frac{\pi r^4}{8l\eta} (P_1 - P_2) \quad (2)$$

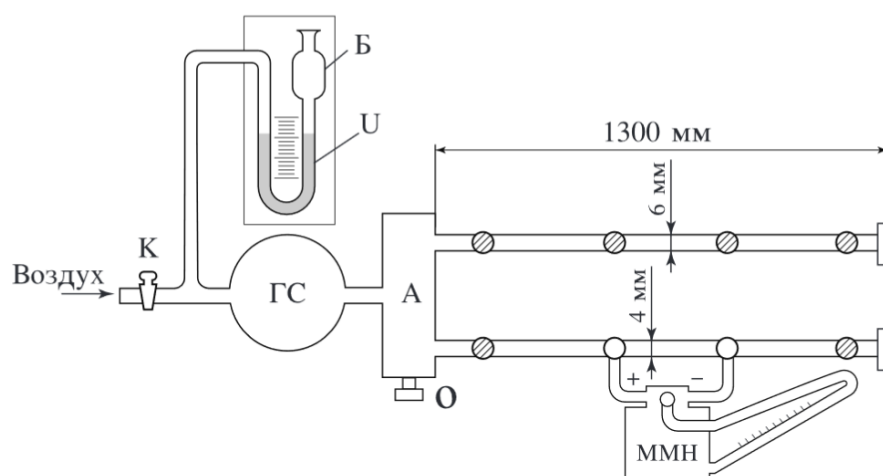
Отметим условия применимости формулы (2). Необходимо чтобы с достаточным запасом выполнялось неравенство  $Re < 1000$ . Также необходимо, чтобы не менялся удельный объем газа. Для жидкости это выполняется всегда, а для газа только в том случае, если перепад давлений вдоль трубки мал по сравнению с самим давлением. В нашем случае давление газа равно атмосферному ( $10^3$  см. вод. ст.), а перепад давлений составляет не более 10 см. вод. ст. Формула (2) выводится для участков трубы, на которых закон распределения скоростей не меняется вдоль потока. При втекании газа в трубку из большого резервуара скорости слоев в начале постоянны по всему сечению, но по мере продвижения по трубке картина распределения скоростей меняется и устанавливается Пуазейлевский профиль скоростей. Этот профиль

устанавливается на некотором расстоянии  $a$  от входа в трубку, которое зависит от радиуса трубки  $r$  и числа Рейнольдса по формуле

$$a \sim 0.2r \cdot Re \quad (3)$$

Градиент давления на участке формирования потока оказывается большим, чем на участке с установившимся ламинарным течением, что позволяет разделить эти участки экспериментально. Формула (3) дает возможность оценить длину участка формирования.

## 4 Устройство установки



Поток воз-

духа под давлением, несколько превышающим атмосферное (на 5–7 см вод. ст.), через газовый счетчик ГС поступает в резервуар А, к которому припаяны тонкие металлические трубки. Обе трубки на концах снабжены заглушками, не пропускающими воздух. Во время измерений заглушка открывается только на рабочей трубке; конец другой трубки должен быть плотно закрыт. Перед входом в газосчетчик поставлена U-образная трубка, наполовину заполненная водой. Она выполняет две задачи. Первая — измерение давления газа на входе в газосчетчик. Вторая — предохранение газосчетчика от выхода из строя. Дело в том, что газосчетчик устойчиво работает, если давление газа на его входе не превышает 600 мм водяного столба. Высота U-образной трубки примерно 600 мм, поэтому, когда давление на входе в счетчик превышает 600 мм водяного столба, жидкость с шумом выплескивается в баллон.

## 5 Ход работы

### 5.1 Парметры установки

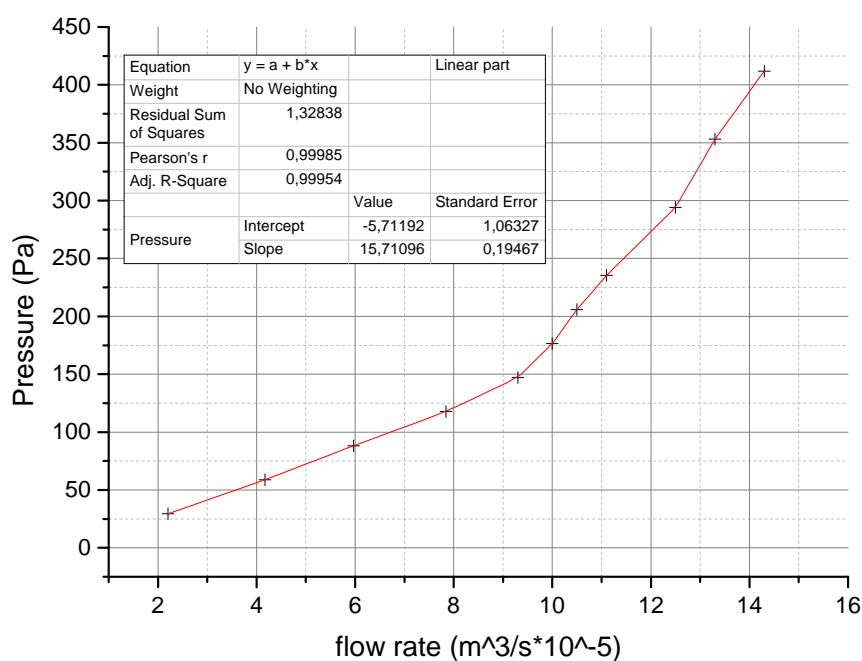
$$d_1 = 5.255 \pm 0.005 \text{ мм} \quad d_2 = 3 \pm 0.1 \text{ мм} \quad d_3 = 3.855 \pm 0.005 \text{ мм}$$

$$P = p_{\text{дел}} \cdot 0.2 \cdot 9.80665$$

## 5.2 Измерения

Измерим зависимость расхода от перепада давления.

$\Delta P$ , дел	$\Delta V$ , л	$\Delta t$ , с	$Q \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \cdot 10^{-5}$
15	4	182	2.2
30	4	96	4.17
45	4	67	5.97
60	4	51	7.84
75	4	43	9.3
90	4	40	10
105	4	38	10.5
120	4	36	11.1
150	4	32	12.5
180	4	30	13.3
210	4	28	14.3



Вязкость воздуха

$$\eta = (1.86 \pm 0.02) \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Это значение в пределах погрешности сходится с табличным:

$$\eta_T = 1.85 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}, \quad T = 25^\circ \text{C}$$

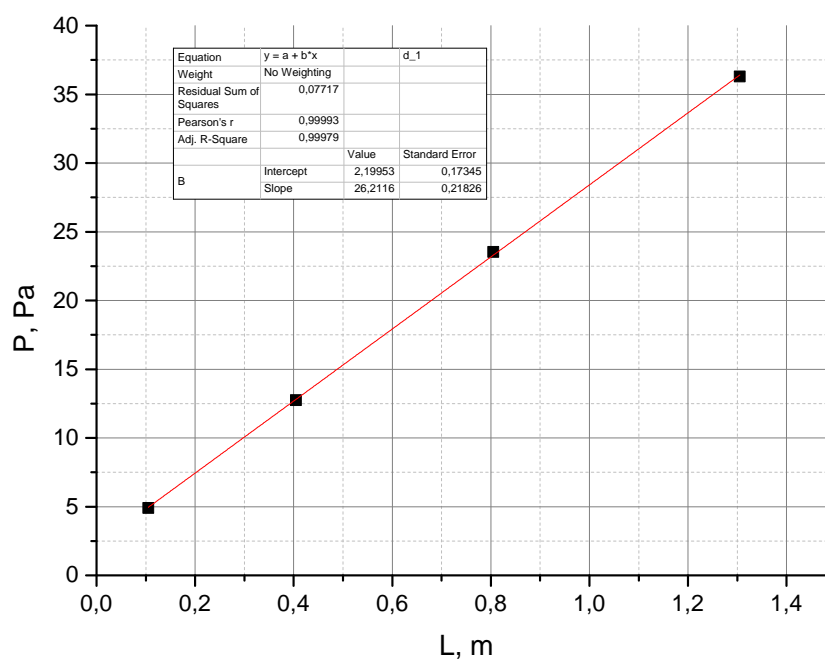
Оценим число Рейнольдса, при котором происходит переход к турбулентному течению. Поскольку  $V_{\text{ср}} = \frac{Q}{\pi r^2}$ .

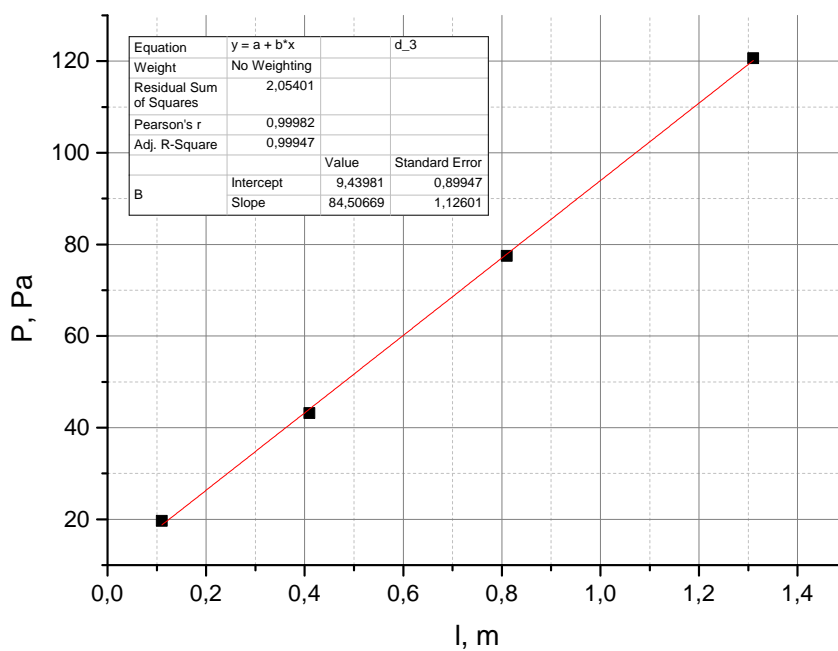
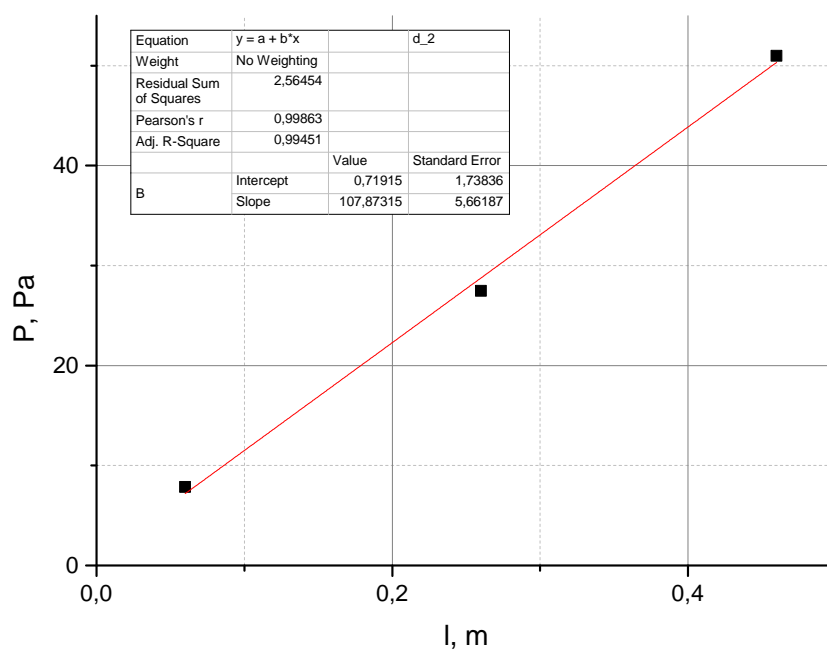
$$Re = \frac{Q \rho r}{\pi r^2 \eta} = \frac{r \Delta P}{8 l \eta^2}$$

$$Re = \frac{130 \cdot (9 \cdot 10^{-5})^3}{8 \cdot 0.5 \cdot (1.86 \cdot 10^{-5})^2} = 670$$

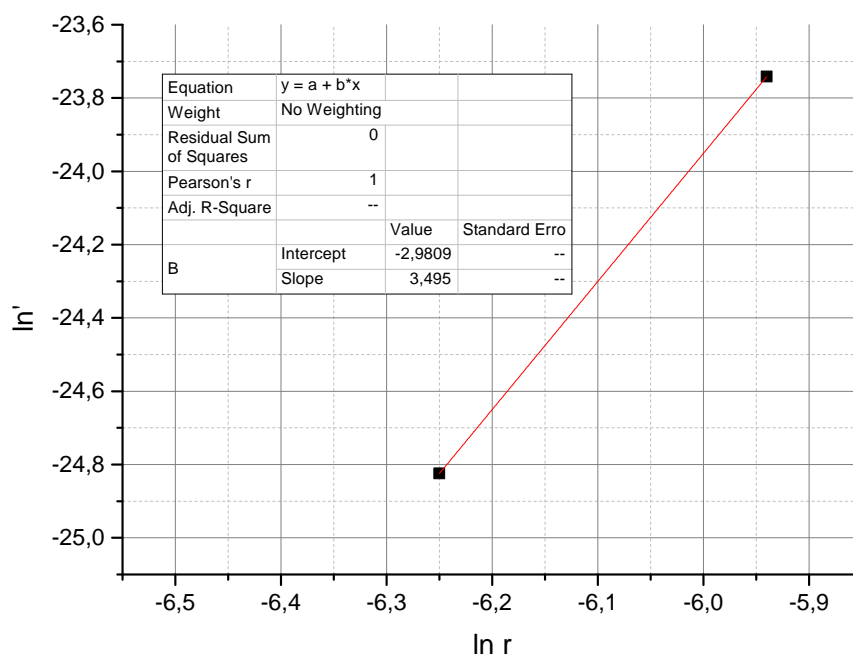
Измерим распределение давления длине трубы.  $V = 5\text{л}, t = 179\text{с}$

$d_1$		$d_2$		$d_3$	
P, дел	L, см	P, дел	L, см	P, дел	L, см
2.5	10.5	4	6	10	11
6.5	40.5	14	26	22	41
12	80.5	21	46	39.5	81
18.5	130.5			61.5	131





Построим график в двойном логарифмическом масштабе: по оси ординат отложим  $\ln \frac{8\eta Q}{\pi \Delta P}$ , а по оси абсцисс  $\ln r$ . Угол наклона прямой, очевидно, должен быть равен 4.



## 6 Вывод

Измеряя расход газа при течении через тонкие трубки можно установить ламинарность течения, вычислить число Рейнольдса и коэффициент вязкости. Полученный нами коэффициент вязкости сходится с табличным в пределах погрешности, что говорит о высокой точности метода.