

# Измерение вязкости воздуха по течению в тонких трубках

## 2.2.1

**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

### Теория

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.

$$\tau_{xy} = -\eta \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

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.

Вспомним уравнения, изучавшиеся в первом семестре:

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

(средняя скорость потока)

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

(Формула Пуазейля)

$$l_{уст} \approx 0,2R \cdot Re$$

(коэффициент получен экспериментально)

## Установка

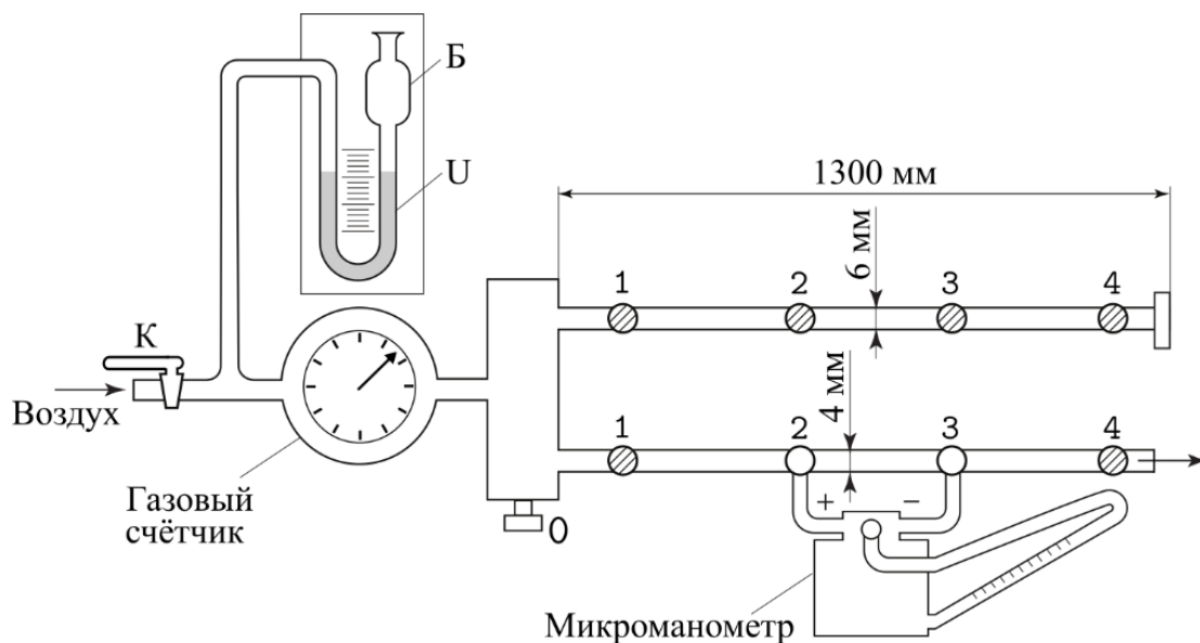


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

## Ход работы

1. Зафиксируем в параметры экспериментальной установки:

Участок трубки	$l$ , см	$\sigma$ , мм
1	11	1
2	30	1
3	40	1
4	50	1

Таблица 1: Длины участков второй трубки между различными точками подключения.

	$d$ , мм	$\sigma$ , мм
Первая трубка	5,25	0,05
Вторая трубка	3,90	0,05

Таблица 2: Внутренние диаметры трубок установки

2. Проведем измерение зависимости разности давлений от расхода воздуха. Для этого будем отмерять объём воздуха, занимающий целое число шкал (для удобства) проходящий через газовый счётчик и засекают продолжительность замера. Результаты занесем в таблицу 3.
3. Построим графики по этим таблицам:
4. Через МНК определим значение и погрешность вязкости воздуха.

Исходя из полученных данных, выбирая наиболее линейные участки на графиках, получим с помощью МНК значение вязкости воздуха, определенное по формуле Пуазейля:

$$\eta = 1,9 \cdot 10^{-6}; \quad \sigma_{\eta} = 6 \cdot 10^{-7},$$

№ измерения	$\Delta h$ , дел	$\Delta V$ , л	$\delta V$ , л	$t_1$ , с	$t_2$ , с	$t_3$ , с	$t_4$ , с
1	34	5	0,05	102,8	103,1	102,95	102,9
2	58	5	0,05	74,5	74,8	74,3	74,4
3	65	5	0,05	57,5	57,54	57,63	57,89
4	86	5	0,05	50,36	50,76	51,17	51,34
5	125	5	0,05	45,02	45,2	45,11	45,33
6	166	5	0,05	39,69	39,08	39,5	39,44
7	212	5	0,05	34,75	34,28	34,92	34,65
8	257	7,5	0,05	46,8	46,89	48,91	46,95

Таблица 3: Результаты измерения зависимости перепада давления от расхода воздуха между точками 2 - 3 второй трубки

№ измерения	$\Delta h$ , дел	$\Delta V$ , л	$\delta V$ , л	$t_1$ , с	$t_2$ , с	$t_3$ , с	$t_4$ , с
1	25	5	0,2	171,31	171,98	170,64	171,57
2	55	5	0,2	80,95	81,34	81,12	80,76
3	95	5	0,2	54,96	55,01	55,23	54,81
4	120	5	0,2	49,82	49,48	49,33	49,23
5	150	5	0,2	45,04	44,64	45,01	44,95
6	180	5	0,2	41,79	41,57	41,83	42,38
7	210	5	0,2	39,08	38,59	38,63	38,65
8	240	5	0,2	36,57	36,1	36,16	36,42

Таблица 4: Результаты измерения зависимости перепада давления от расхода воздуха между точками 3 - 4 второй трубки

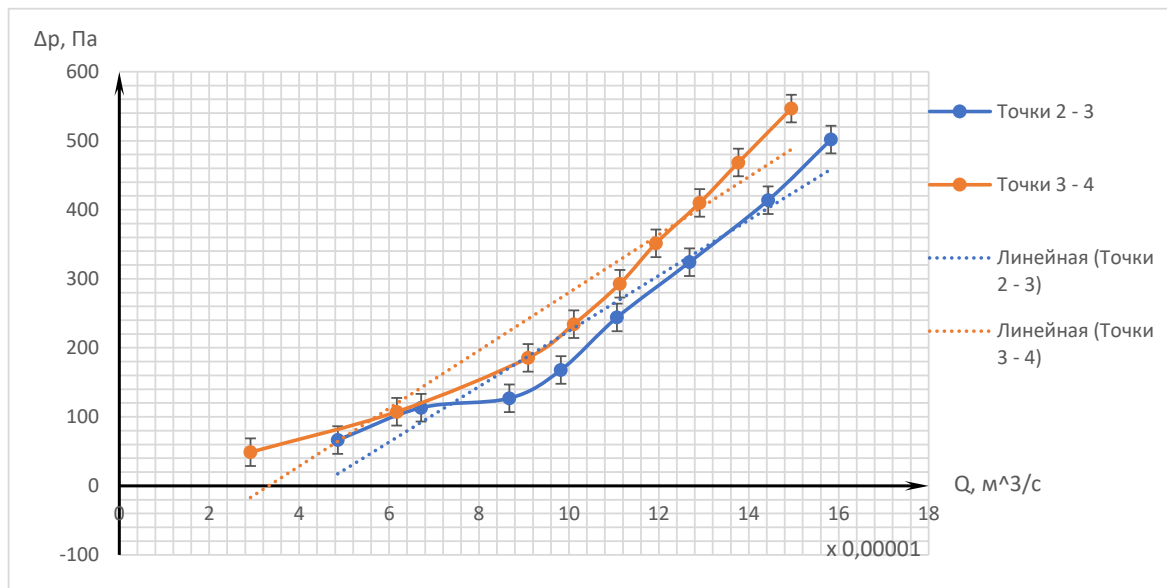


Рис. 2: графики зависимости перепада давления от расхода воздуха для второй трубки и точек 2 - 3, 3 - 4

$$\eta = (1,9 \pm 0,6) \cdot 10^{-6} \text{Па} \cdot \text{с}$$

Построим графики зависимости падения давления от длины трубки (3).

$\Delta P$ , Па	$\sigma_{\Delta P}$ , Па	$Q \cdot 10^5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$\sigma_Q \cdot 10^5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$\Delta P$ , Па	$\sigma_{\Delta P}$ , Па	$Q \cdot 10^5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$	$\sigma_Q \cdot 10^5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$
66	2	4,857	0,005	49	22	2,92	0,01
113	4	6,711	0,007	107	10	6,17	0,02
127	4	8,675	0,009	185	7	9,09	0,04
168	9	9,822	0,010	234	10	10,11	0,04
244	3	11,071	0,011	293	7	11,13	0,04
324	5	12,682	0,013	351	14	11,94	0,05
414	5	14,430	0,014	410	9	12,91	0,05
502	20	15,827	0,011	469	9	13,77	0,06
				547	8	14,95	0,00

Таблица 5: Результаты измерения перепадов давления, расхода, а также погрешности данных измерений

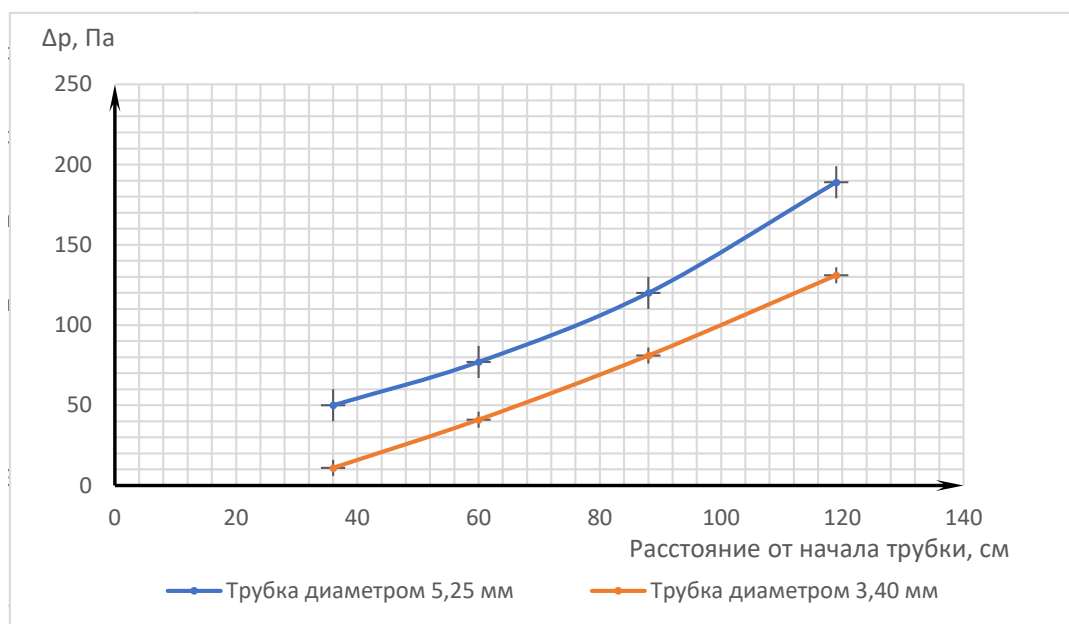


Рис. 3: графики зависимости перепада давления от расстояния до начала трубки

## Вывод

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 :  $\eta_{\text{экс}} = (1,9 \pm 0,6) \cdot 10^{-6}$  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.
7. Подтверждена формула Пуазейля для расхода газа при прохождении через трубку.