

Лабораторная работа 1.3.3

**ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ВОЗДУХА ПО ТЕЧЕНИЮ В ТОНКИХ
ТРУБКАХ**

Тимонин Андрей

Б01-208

Содержание	
1) Аннотация	2
2) Теоретические сведения	2
3) Используемое оборудование	3
4) Результаты измерений и обработка данных.....	5
5) Заключение	7

1) Аннотация

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.

2) Теоретические сведения

Работа посвящена изучению течения воздуха по прямой трубе круглого сечения. Движение жидкости или газа* вызывается перепадом внешнего давления на концах ΔP 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 xx , а скорость течения $v_x(x,y)$ зависит от координаты y , в каждом слое возникает направленное по xx касательное напряжение

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

Величину η 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 ΔP , а также от свойств газа (плотности ρ и вязкости η) 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**. При ламинарном течении поле скоростей $\mathbf{u}(\mathbf{r})$ образует набор непрерывных линий тока, а слои жидкости не перемешиваются между собой. **Турбулентное течение** характеризуется **образованием вихрей** и активным перемешиванием слоев, при этом даже в стационарном течении в каждой точке имеют место существенные флуктуации скорости течения и давления.

Характер течения определяется безразмерным параметром задачи — числом Рейнольдса:

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

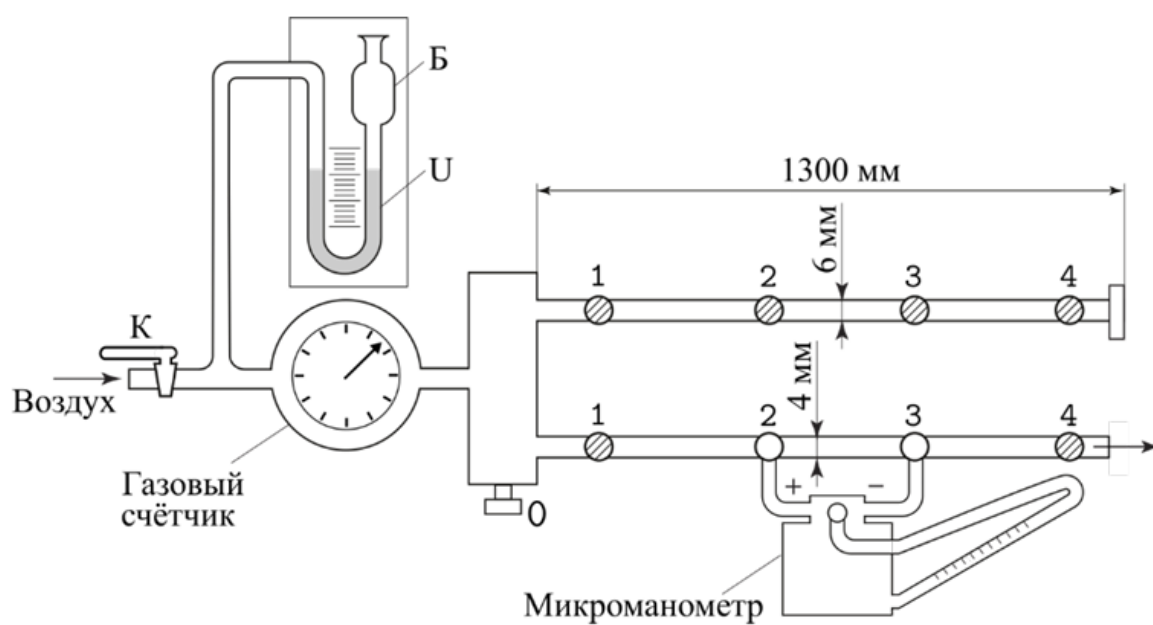
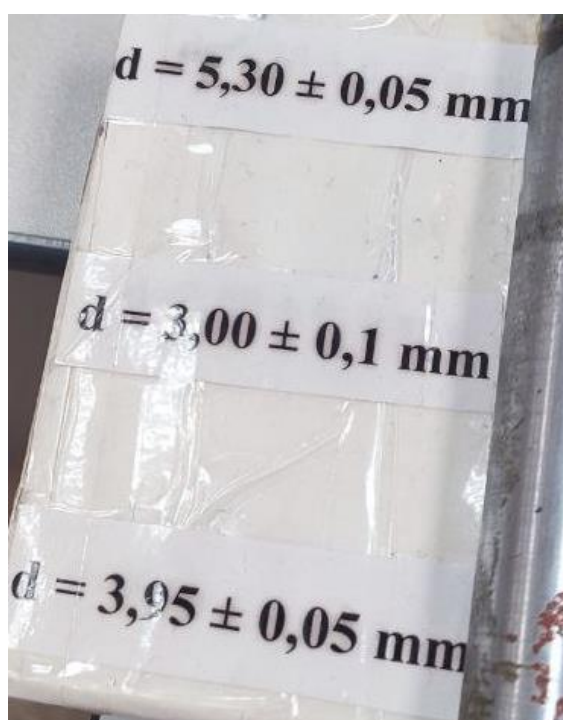
где ρ — плотность среды, u — характерная скорость потока, η — коэффициент вязкости среды, a — характерный размер системы (размер, на котором существенно меняется скорость течения). Это число имеет смысл отношения кинетической энергии движения элемента объёма жидкости к потерям энергии из-за трения в нём $Re \sim K/\Delta p$. При достаточно малых Re в потоке доминируют вязкие силы трения и течение, как правило, является ламинарным. С ростом числа Рейнольдса может быть достигнуто его критическое значение $Re_{кр}$, при котором характер течения сменяется с ламинарного на турбулентный. Из опыта известно, что переход к турбулентному течению по трубкам круглого сечения наблюдается при $Re_{кр} \approx 10^3$.

3) Используемое оборудование

Прибор	Цена деления	Погрешность

Схема установки

Параметры установки



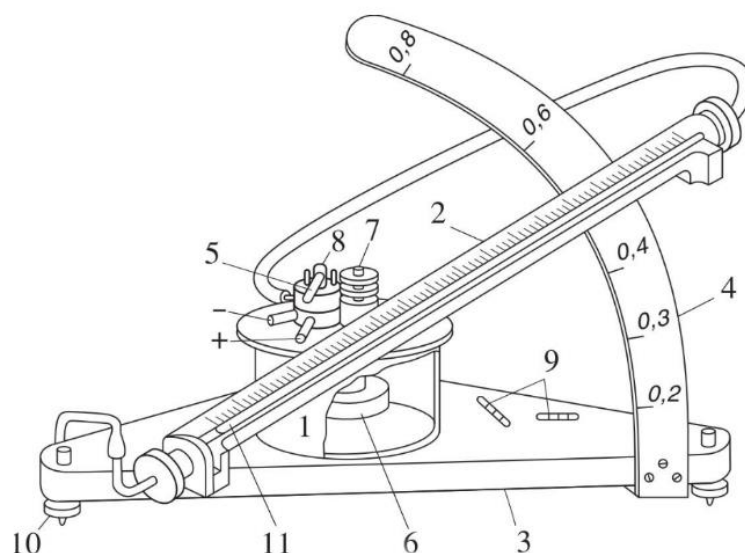


Рис. 2: Подробная схема микроманометра

!Параметр установки $L \cdot 0.2 \cdot 9,80665 \text{ Па!}$

Газовый счётчик. В работе используется газовый счётчик барабанного типа, позволяющий измерять объём газа ΔV , прошедшего через систему. Измеряя время Δt при помощи секундомера, можно вычислить средний объёмный расход газа $Q = \Delta V / \Delta t$ (для получения массового расхода $[\text{кг/с}]$ результат необходимо домножить на плотность газа ρ).

Работа счётчика основана на принципе вытеснения: на цилиндрической ёмкости жёстко укреплены лёгкие чаши (см. Рис. 6, где для упрощения изображены только две чаши), в которые поочередно поступает воздух из входной трубки расходомера. Когда чаша наполняется, она всплывает и её место занимает следующая и т.д. Вращение оси передаётся на счётно-суммирующее устройство.

Для корректной работы счётчика он должен быть заполнен водой и установлен горизонтально по уровню (подробнее см. техническое описание установки).

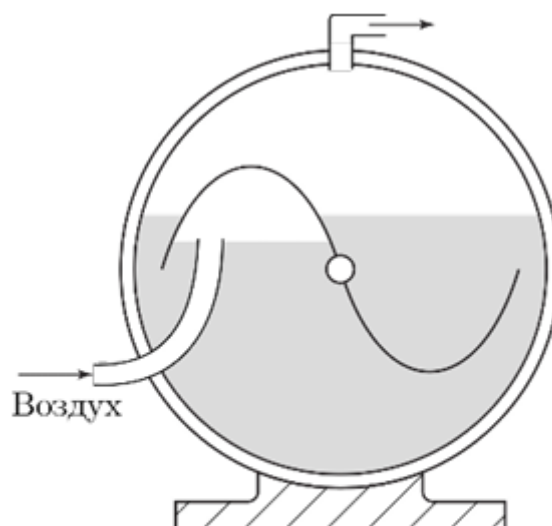
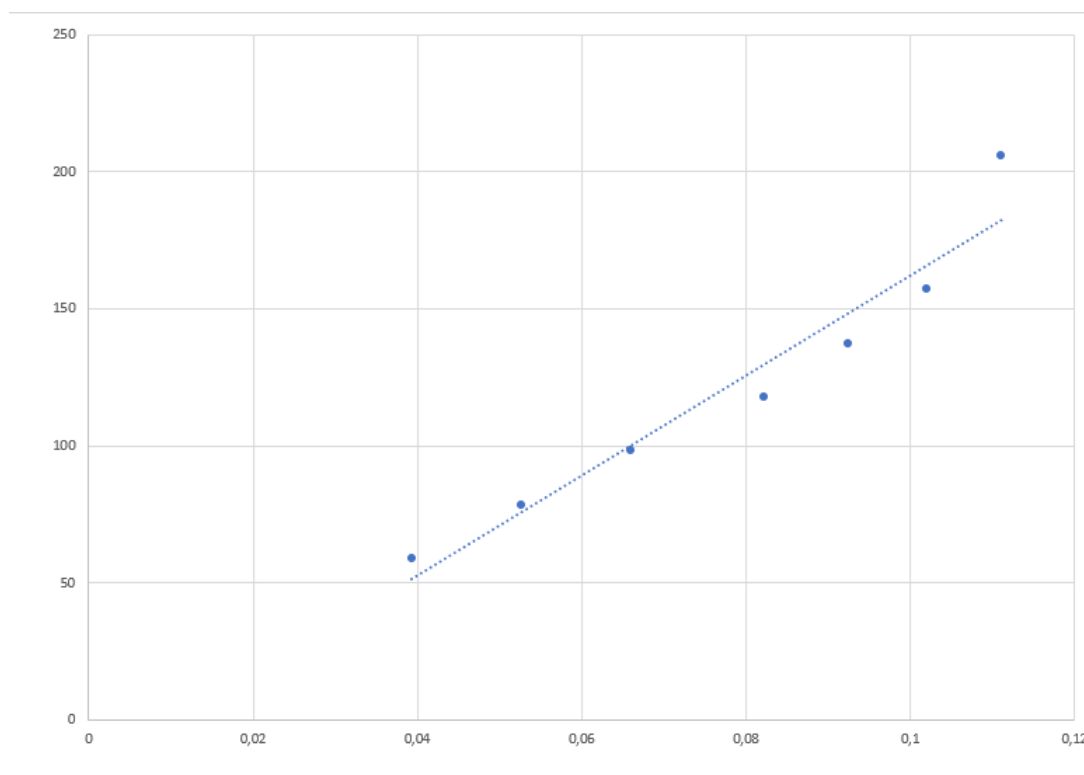


Рис. 6. Принцип работы барабанного газосчётчика

4) Результаты измерений и обработка данных

Задание 7, пункт а							
№	1	2	3	4	5	6	7
Время расхода 1литра/с	25,42	18,98	15,17	12,15	10,82	9,8	9
Давление в микроманометре	30	40	50	60	70	80	105

Построим график зависимости давления от времени расхода 1 литра



Коэффициент наклона графика равен $k = 1830,1 \text{ Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$

Попробуем найти вязкость воздуха по формуле:

$$\eta = \frac{\pi r^4 k}{8l}$$

Получаем вязкость = 0.0000156 Па * с.

Из графика видно, что режим переходит в турбулентный при $Q = 90 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$

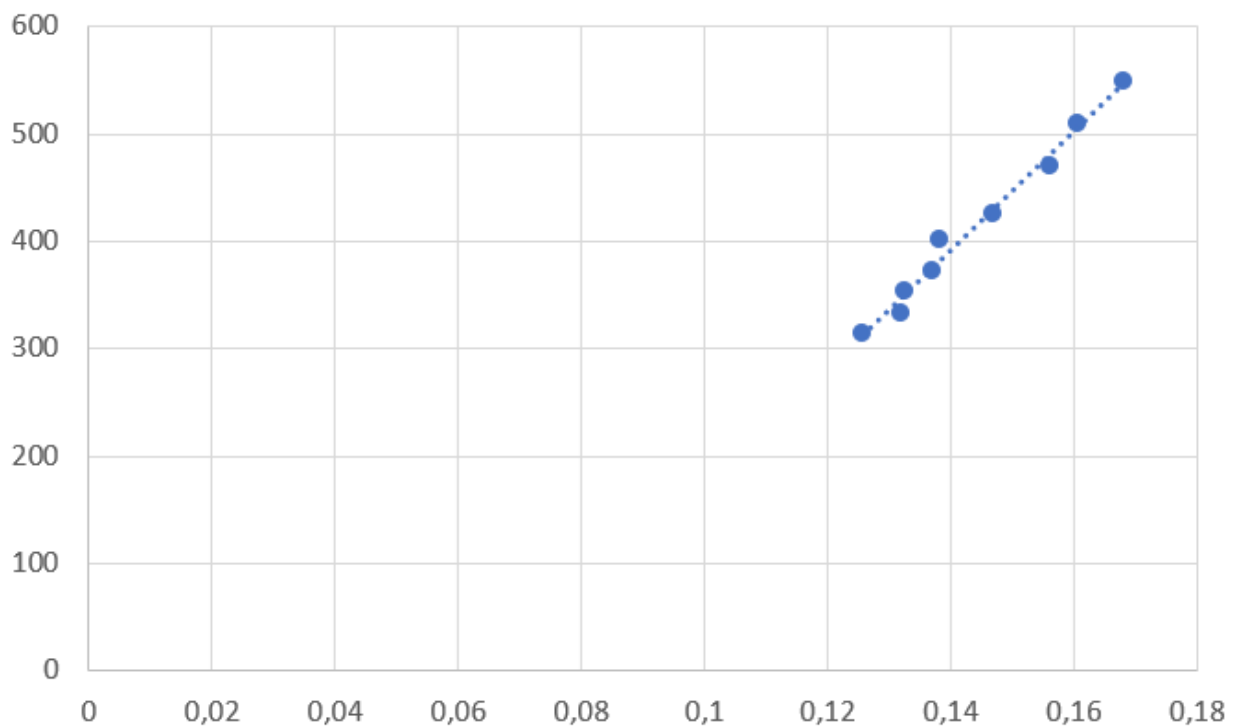
Отсюда найдем число Рейнольдса по формуле

$$Re = \frac{vr\rho}{\eta} = \frac{Q\rho}{\pi r\eta}$$

$Re = 1020$ – что является достаточно точным значением Re критического, так как при критическом значении в течении начнутся переходные процессы.

Задание 7, пункт б									
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Время расхода 1 литра/с	7,95	7,58	7,54	7,3	7,24	6,81	6,4	6,23	5,95
Даление в микроманометре	160	170	180	190	205	217	240	260	280

Прделаем тоже самое для трубки в турбулентном режиме



Здесь уже угловой коэффициент равен $k = 5537 \text{ Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$

Отсюда снова найдем вязкость по формуле Пуазейля:

$$\eta = \frac{\pi r^4 k}{8l}$$

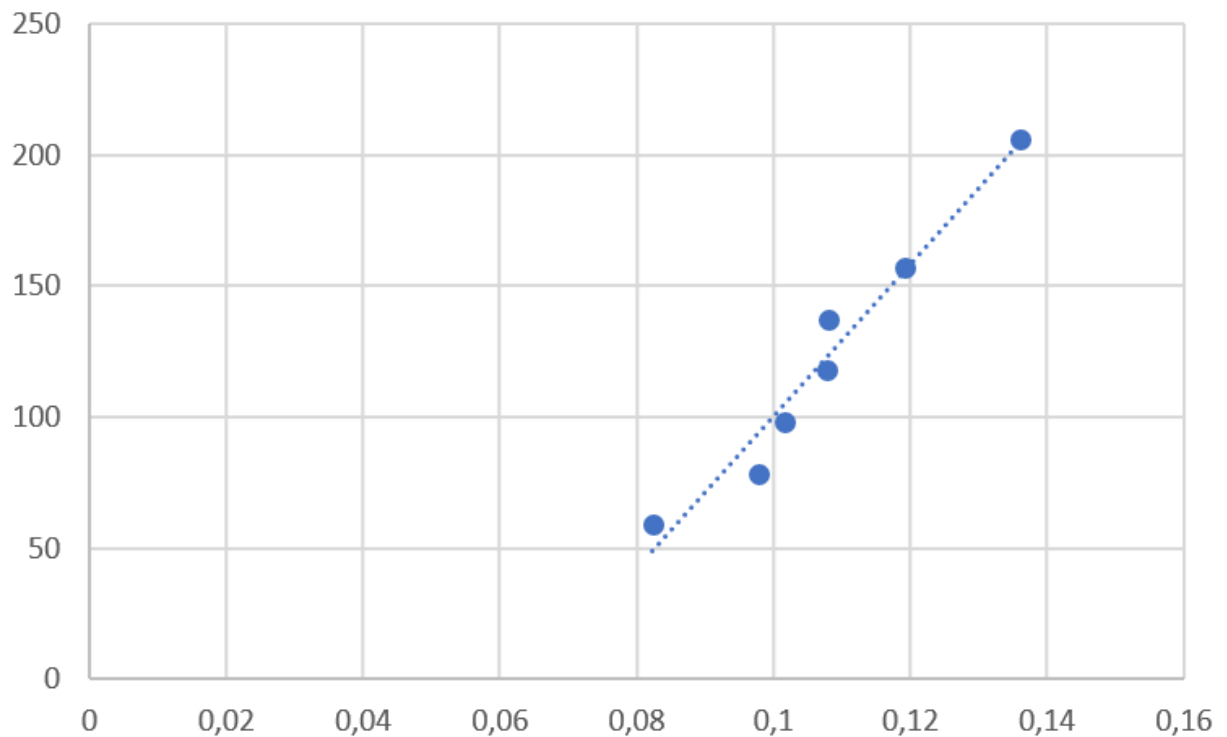
Вязкость = 0.000047 Па * с

Найдем число Рейнольдса:

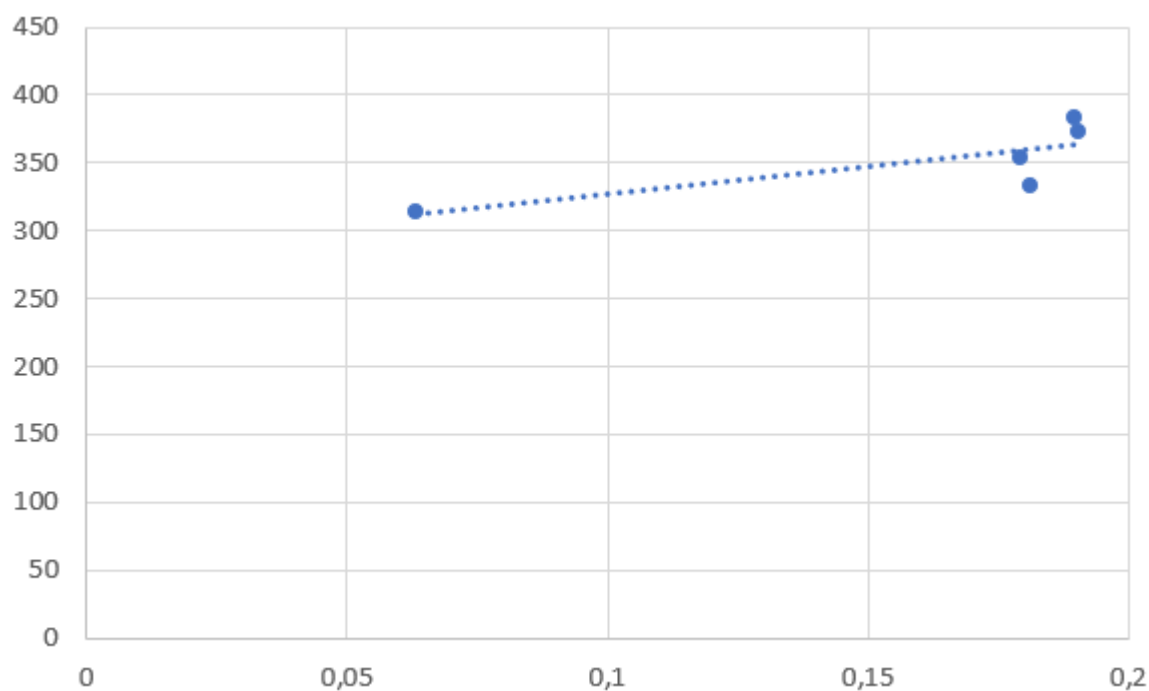
$$Re = \frac{vr\rho}{\eta} = \frac{Q\rho}{\pi r\eta}$$

Отсюда получаем $Re = 2941$ – это число и соответствует турбулентному режиму в трубке манометра. Значит граница (Re критическое) была определена нами правильно

Аналогические вычисления для трубки большего диаметра:



$k = 2895,8 \text{ Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$



$$k = 405,88 \text{ Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$$

!Тут чувствительности манометра не хватает на установленной длине! Поэтому и настолько большая погрешность и кучность точек возле крит. Значения.

5) Заключение

При выполнении работы необходимо учитывать точность измерительных приборов, так как их недостаточная чувствительность может привести к появлению больших погрешностей. В работе была экспериментально установлена динамическая вязкость воздуха - $0.0000156 \text{ Па} \cdot \text{с}$, что является достаточно точной оценкой.

