

Лабораторная работа

Определения коэффициента внутреннего трения жидкости

ВВЕДЕНИЕ.

При течении слоёв жидкости с различными скоростями (рис 1), между ними возникает сила внутреннего трения, которую можно вычислить по закону Ньютона:

$$F = \mu \cdot \frac{\Delta V}{\Delta y} \cdot \Delta S \quad (1)$$

где $\frac{\Delta V}{\Delta y}$ - градиент скорости, ΔS - площадь соприкасающихся слоёв,

μ - коэффициент внутреннего трения или коэффициент динамической вязкости.

Из формулы (1)

$$\mu = \frac{F}{\frac{\Delta V}{\Delta y} \cdot \Delta S}$$

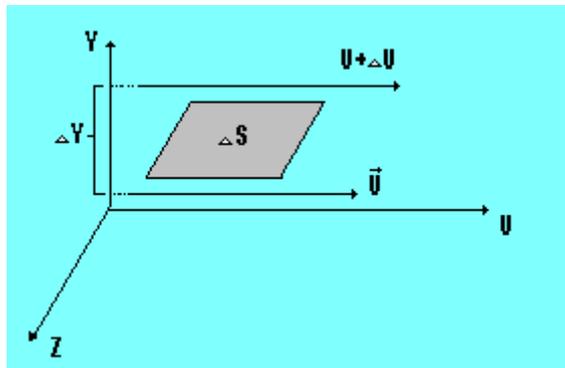


Рис 1.

Коэффициент динамической вязкости численно равен силе внутреннего трения, возникающей на каждой единице поверхности соприкосновения двух слоёв, движущих один относительно другого с градиентом скорости, равным единице.

В системе СИ коэффициент динамической вязкости измеряется в $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Коэффициент динамической вязкости зависит от природы жидкости и температуры. С увеличением температуры коэффициент динамической вязкости уменьшается.

В гидравлике и аэродинамике пользуются понятием кинематической вязкости:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

где ρ - плотность жидкости.

В системе СИ единица кинематической вязкости имеет размерность: $[\nu] = \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.
 Определение коэффициента динамической вязкости может быть выполнено различными методами.

МЕТОД СТОКСА

Для определения коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса в реальных условиях падение металлического шарика наблюдают в стеклянном цилиндре, наполненном исследуемой жидкостью. Диаметр шарика очень мал и поэтому определяется с помощью специальной шкалы встроенной в окуляр микроскопа. На цилиндре нанесены две горизонтальные метки 1 и 2 (рис 3), расположенные друг от друга на расстоянии $l = 0,2 \text{ м}$.

При движении шарика в вязкой среде, слой жидкости, непосредственно прилегающий к шарика, прилипает к его поверхности и увлекается им полностью. Остальные слои двигаются с все уменьшающейся скоростью (рис 2). Если шарик падает равномерно в жидкости, простирающейся безгранично по всем направлениям, не оставляя за собой завихрений (малая скорость, малые размеры шарика), то сила сопротивления, обусловленная внутренним трением жидкости и действующая на шарик, определяется по закону Стокса:

$$F_c = 6\pi\mu Vr = 3\pi\mu \cdot VD, \quad (3)$$

где V – скорость падения шарика, r – его радиус, D – диаметр шарика, μ – коэффициент динамической вязкости.

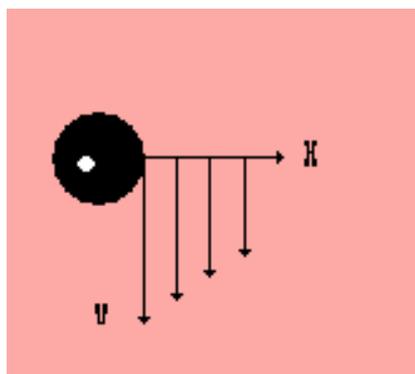


Рис 2.

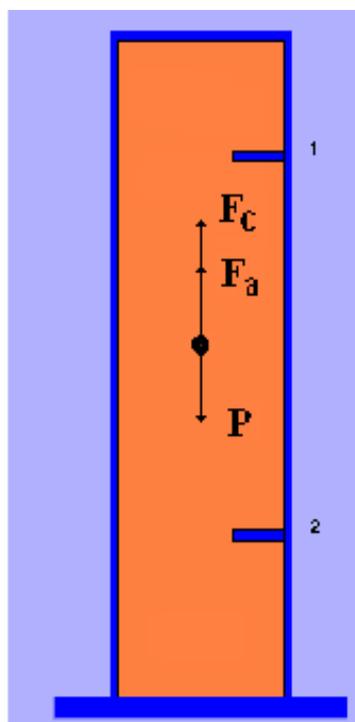


Рис 3.

Кроме сил сопротивления на шарик действует сила тяжести:

$$P = m_1 g,$$

где $m_1 = \rho_1 \cdot V$, ρ_1 - плотность шарика, V – объём шарика, и архимедова сила, численно равная весу вытесненной жидкости в объёме погруженного в неё тела:

$$F_a = m_2 g,$$

где $m_2 = \rho_2 V$, ρ_2 - плотность жидкости.

$$F_a = \frac{1}{6} \pi \cdot D^3 \rho_2 g.$$

Все три силы направлены по вертикали: сила тяжести P – вниз, архимедова сила F_a и сила сопротивления F_c - вверх.

В начале падения шарика $P > F_a + F_c$ и его движение ускоренное. С увеличением скорости растёт сила сопротивления, и спустя некоторое время сила тяжести уравновешивается архимедовой силой и силой сопротивления:

$$P = F_a + F_c. \quad (4)$$

В результате движение становится равномерным с постоянной скоростью v . Такое движение шарика называется установившемся.

Выражение (4) можно записать в виде:

$$\frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D^3 \rho_1 g = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot D^3 \rho_2 g + 3\pi \cdot \mu \cdot VD,$$

откуда коэффициент трения:

$$\mu = \frac{1}{18} \frac{(\rho_1 - \rho_2) D^2 g}{V} \quad (5)$$

Принять значение $\rho_1 = 7800 \text{ кг/м}^3$ - плотность стали, из которой изготовлен шарик, $\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$ - плотность масла.

Для определения коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса в реальных условиях используются следующие приборы и принадлежности.

Приборы и принадлежности: стеклянный цилиндр с жидкостью, микроскоп, секундомер, металлическая дробь, масштабная линейка.

В предлагаемой нами лабораторной работе используется компьютерная модель.

Выполнение работы.

Упражнение 1. Определение коэффициента внутреннего трения жидкости при изменении диаметра шарика.

1. Запустите программу.
2. После запуска программы появится окно (рис 4).
3. Выберите рекомендуемый диаметр шарика, выраженный в деления шкалы микроскопа - 14, 15 или 16 делений (1 деление микроскопа равно 100мкм) и выберите температуру, данные занесите в таблицу 1.
4. Включите секундомер, нажатием на кнопку с надписью "ВКЛ" и при прохождении шариком метки 2 выключить его нажатием на кнопку с надписью "ВЫКЛ".
5. Время прохождения шариком расстояния ℓ , между метками занесите в таблицу 1.
6. Изменяя значение диаметра шарика при неизменной температуре провести эксперимент еще 2 раза. Перед началом нового эксперимента нажать на кнопку с надписью СБРОС.
7. Вычислить скорость падения шарика по формуле $v = \frac{\ell}{\tau}$.
8. Рассчитать коэффициент внутреннего трения по формуле (5).
9. Данные экспериментов занести в таблицу.

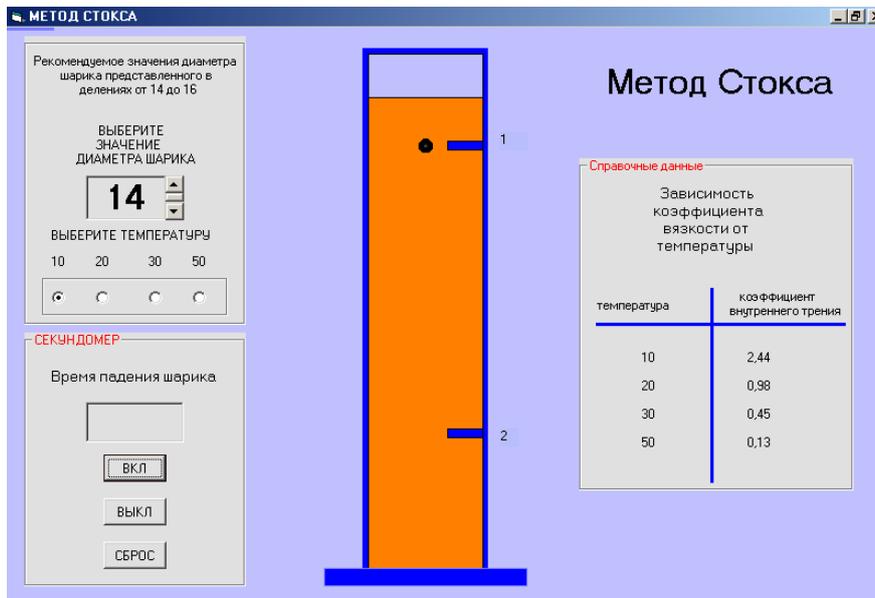


Рис 4.

Таблица 1

D 10^{-3}	τ , с	l , м	p_1 10^3 кг/м ³	p_2 10^3 кг/м ³	v , м/с	μ , Па·с	$\bar{\mu}$ Па·с

Список литературы для подготовки

1. Зисман А.Г., Тодес О.М. Курс общей физики т.1. М., 1969
2. Трофимова Е.И. Курс физики М., «Высшая школа» 2002
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики М., «Высшая школа» 2002
4. Лозовский В.Н. Курс физики Санкт-Петербург 2001