

## Лабораторная работа № 12

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ПАДАЮЩЕГО ШАРИКА

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить значения коэффициента внутреннего трения по скорости падающего шарика в этой исследуемой жидкости.

### ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Прибор для определения коэффициента внутреннего трения, набор шариков, микрометр, секундомер.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

При движении жидкости между слоями возникают силы внутреннего трения, которые стремятся уровнять скорости всех слоев жидкости.

Пусть два ближайших слоя жидкости, находящихся на расстоянии  $\Delta z$  друг от друга, движутся по оси  $X$  с различными скоростями, отличающимися на величину  $\Delta V$  (рис.1).

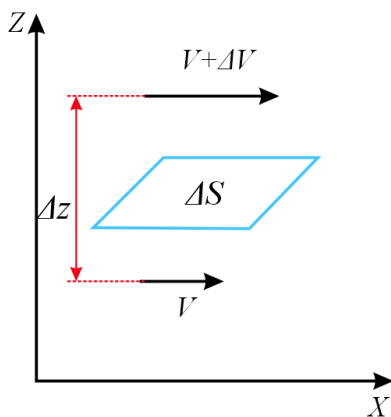


Рис.1

Тогда на площадку  $\Delta S$  между этими слоями будет действовать сила внутреннего трения (вязкости), величина которой равна:

$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta z} \Delta S, \quad (1)$$

где  $\eta$  – так называемый **динамический коэффициент внутреннего трения** или просто коэффициент вязкости, значение которого зависит от свойств жидкости и от температуры.

$\frac{\Delta v}{\Delta z}$  – так называемый **поперечный градиент скорости**, он пока-

зывает, как изменится скорость потока в направлении оси  $Z$ .

Решая уравнение (1) относительно  $\eta$ , находим:

$$\eta = \frac{F}{\frac{\Delta v}{\Delta z} \cdot \Delta S} \quad (2)$$

Следовательно, коэффициент внутреннего трения численно равен силе, действующей на единицу площади при градиенте скорости, равном единице. Размерность коэффициента внутреннего трения в системе СИ следующая:

$$[\eta] = \left[ \frac{H \cdot c}{m^2} \right] = Pa \cdot c = 10 \text{ Пуаз}$$

Единица коэффициента внутреннего трения в системе СИ – **пуаз**. Один пуаз равен 0,1 Па·с.

Коэффициент вязкости является одной из важнейших характеристик смазочных материалов. Существует много способов определения коэффициента вязкости. Одним из наиболее простых и распространенных является способ, основанный на измерении скорости падения шарика в жидкости, который получил название **метода Стокса**.

На шарик, находящийся в жидкости, действуют:

1. **Сила тяжести**, направленная вертикально вниз, равная:

$$P = m_{ш} \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_{ш} \cdot g$$

2. **Архимедова сила**, направленная вертикально вверх, равная:

$$Q = m_{ж} \cdot g = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \rho_{ж} \cdot g ,$$

где  $r$  – радиус шарика,

$g$  – ускорение силы тяжести,

$\rho_{ш}$  – плотность материала шарика,

$\rho_{ж}$  – плотность исследуемой жидкости.

Шарик под действием разности этих сил придет в ускоренное движение, так как сила тяжести больше выталкивающей силы.

3. **Сила сопротивления**, направленная вертикально вверх, вызванная вязкостью жидкости.

Для малых скоростей и для малых размеров тел эта сила выражается **формулой**, выведенной **Стоксом**:

$$F = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \tag{3}$$

Таким образом, величина силы сопротивления зависит от скорости: чем больше скорость движения, тем больше сила сопротивления. При падении шарика в жидкость его движение будет увеличиваться до тех пор, пока сила сопротивления не станет равной разности сил тяжести и архимедовой силе:

$$F = P - Q$$

$$6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \rho \cdot g - \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \rho_{ж} \cdot g \tag{4}$$

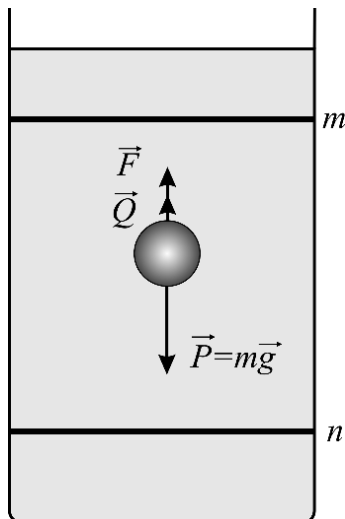
Начиная с этого момента, шарик начинает двигаться равномерно с некоторой постоянной скоростью. Решая написанное уравнение относительно  $\eta$ , находим:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho_{ш} - \rho_{ж}}{\nu} \cdot g \cdot r^2 \quad (5)$$

## ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Основной частью прибора является высокий стеклянный цилиндр, наполненный исследуемой жидкостью (глицерин), **рис.2**. На стенках цилиндра нанесены две кольцеобразные метки  $m$  и  $n$  на некотором расстоянии друг от друга, соответствующие равномерному движению шарика в жидкости.

На дне цилиндра лежит металлическая сетка, на которую падают шарики. Эту сетку вместе с шариками можно вынуть из жидкости с помощью длинной ручки.



**Рис. 2**

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измеряют микрометром диаметр шарика и находят его радиус, выражая в метрах.
2. Измеряют расстояние между метками на стенках цилиндра, выражая его в метрах.
3. Опустить шарик в жидкость как можно ближе к оси цилиндра.
4. Определить время  $t$  прохождения шариком расстояния между метками с помощью секундомера с точностью до 0,2 сек.
5. Найти скорость падения шарика в этом интервале

$$v = \frac{l}{t},$$

где  $l$  – расстояние между метками,  $t$  – время прохождения между метками.

6. Результаты измерений записать в таблицу.
7. Найти значение коэффициента вязкости исследуемой жидкости (5).
8. Аналогичные опыты проводят три раза, наблюдая падения 3-х шариков с различными диаметрами. По трем найденным значениям определить средний результат коэффициент внутреннего трения.
9. Относительная погрешность для одного из опытов определяется по следующей формуле:

$$E = \frac{\Delta\eta}{\eta_{cp}} = \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta\rho_{ш} + \Delta\rho_{ж}}{\rho_{ш} - \rho_{ж}}$$

10. Определить абсолютную погрешность одного измерения:

$$\Delta\eta = E \cdot \eta_{cp}$$

Значение коэффициента внутреннего трения  $\eta$  значительно меняется с изменением температуры. По тому, чтобы иметь возможность сравнивать найденное значение со справочными, необходимо измерить и записать температуру жидкости.

**Таблица**

№	Диаметр шарика $D, м$	Радиус шарика $r, м$	Расстояние между метками $l, м$	Время падения шарика $t, с$	Скорость падения шарика $v, м/с$	Коэффициент вязкости $\eta, \frac{Н \cdot с}{м^2}$
1						
2						
3						
Среднее значение						

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется коэффициентом вязкости?
2. Как зависит точность измерения от высоты столба жидкости?
3. Как зависит скорость падения шарика от плотности материала из которого изготовлен шарик?
4. Какие силы действуют на шарик, движущегося в жидкости?
5. При каких условиях шарик начинает равномерно двигаться в жидкости?
6. Явления переноса.
7. Вязкость (как явление переноса).
8. Формула Стокса (физический смысл).