

РАБОТА 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Цель работы: определить вязкость глицерина и масла методом Стокса.

Приборы и принадлежности: две крупногабаритные мензурки, наполненные глицерином и маслом, пластмассовые шарики диаметром около 5 мм, микрометр, секундомер.

Введение.

При движении реальной жидкости в ней возникают силы внутреннего трения, оказывающие сопротивление движению. Эти силы действуют между соседними слоями жидкости, перемещающимися друг относительно друга.

Вязкостью называется свойство текучих тел (жидкостей или газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

При невысокой скорости течения вязкие жидкости характеризуются свойством «прилипания» к поверхности - скорость движения частиц жидкости вблизи поверхности практически равна скорости движения этой поверхности. Медленные течения вязкой жидкости можно рассматривать как слоистые (ламинарные). Если при движении жидкости возникают завихрения, то такое течение не является ламинарным и называется турбулентным.

При обтекании тел потоком вязкой жидкости происходит ее торможение на твердых стенках, и благодаря вязкости это торможение, ослабевая, распространяется от стенки вглубь потока на некоторое расстояние, за пределами которого жидкость движется без значительных деформаций, и вязкие силы там не играют существенной роли.

Рассмотрим одномерное ламинарное течение вязкой жидкости между двумя параллельными пластинами, одна из которых движется относительно другой со скоростью V (рис. 6.1). Чтобы поддерживать скорость, к пластине должна быть приложена сила F . Площадь пластин S много больше ширины зазора d между пластинами. Более удаленные от неподвижной поверхности слои движутся быстрее, чем близлежащие.

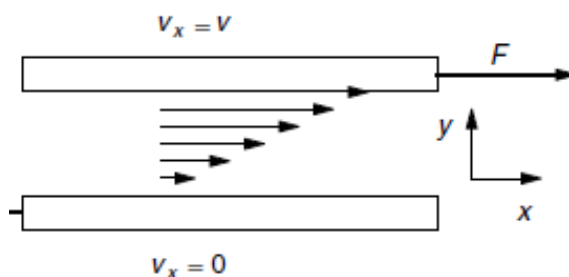


Рис. 6.1

Экспериментально установлено, что величина силы F зависит от площади пластин, расстояния между ними и скорости верхней пластины по следующему закону

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{V}{d}, \quad (6.1)$$

где η - коэффициент, зависящий от свойств жидкости, называемый коэффициентом внутреннего трения или динамическим коэффициентом вязкости (далее - коэффициент вязкости).

Приведенное соотношение называется законом вязкости Ньютона.

Указанное соотношение можно распространить на силы сопротивления, возникающие между близлежащими слоями жидкости. Для этого отношение $\frac{V}{d}$ следует заменить величиной $\frac{dv}{dy}$, которая называется градиентом скорости.

Градиент скорости определяет величину изменения скорости на единицу расстояния при переходе от одного слоя жидкости к другому в направлении оси OY , перпендикулярном направлению скорости движения слоев вдоль оси OX . Сила внутреннего трения между слоями направлена противоположно направлению скорости более быстрого слоя и составляет:

$$F = \eta S \left| \frac{dv}{dy} \right|, \quad (6.2)$$

Поскольку η определяется соотношением $\eta = \frac{F_T}{S \left| \frac{dv}{dy} \right|}$, коэффициент вязкости численно равен силе трения, которая возникает между слоями жидкости единичной площади при градиенте скорости, равной единице.

Размерность коэффициента вязкости η в системе СИ - Па·с, а в системе СГС - Пуаз (пз).

Вязкость жидкости обычно сильно зависит от температуры. Так для воды вязкость при 20°C равна 1,0, при 0°C – 1,8, а при 100°C – 0,3 Па·с.

Жидкость, для которой коэффициент динамической вязкости не зависит от скорости течения, называется ньютоновской. К ньютоновским жидкостям относятся большинство привычных нам жидкостей и газов – вода, масло, воздух. Существуют, однако, жидкости, для которых вязкость значительно увеличивается с ростом скорости частиц жидкости. При желании по такой жидкости можно будет бегать, если движения ваших ног будут достаточно быстрыми. Такие необычные свойства неньютоновских жидкостей объясняются структурой их молекул, которые при больших скоростях слипаются и образуют кластеры молекул, существенно изменяющие свойства сомой жидкости. К неньютоновским жидкостям относятся, например, раствор крахмала и кровь.

Несмотря на то, что рассмотренная сила называется силой вязкого трения, эта сила имеет мало общего с привычной силой сухого трения. Причиной возникновения этой силы является переход быстрых молекул из слоя воды, движущегося с большей скоростью, в слой жидкости с меньшей скоростью. Более медленные молекулы жидкости медленного слоя переходят в более быстрый слой. Это приводит к уменьшению скорости движения более быстрого слоя и увеличению средней скорости молекул более медленного слоя. Такое явление называется явлением переноса импульса - молекулы переносят импульс в поперечном движении жидкости направлении.

Вязкость влияет на движение тел в жидкости. При движении тела в жидкости слои жидкости увлекаются этим телом, что приводит к взаимному движению и торможению слоев жидкости вблизи движущегося тела. Результатом чего является возникновение силы сопротивления движению тела – силы вязкого тела.

Выражение для величины этой силы зависит от размеров, формы тела и его скорости, но имеет простой вид для тела сферической формы, движущейся в жидкости с относительно небольшой скоростью (так, чтобы течение жидкости вблизи тела было ламинарным):

$$F = 6\pi r\eta v, \quad (6.3)$$

где F — сила трения, так же называемая силой Стокса, r — радиус сферического тела, η — динамическая вязкость жидкости, v — скорость тела.

Данное выражение было теоретически получено в 1851 году Джорджем Стоксом и носит его имя.

Как видно, сила сопротивления линейно зависит от скорости и возрастает к увеличению с ростом скорости. Именно это приводит к тому, что падающее в жидкости тело довольно быстро начинает двигаться с постоянной скоростью. Измерив эту скорость,

зная радиус, мы можем определить вязкость жидкости. Именно это и лежит в основе одного из методов определения вязкости.

Методика выполнения работы

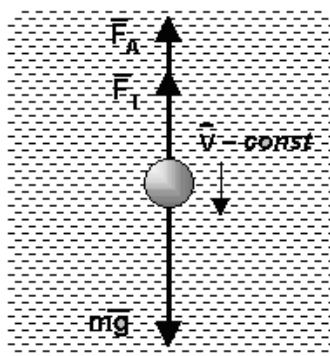


Рис. 6.2

При движении сферической частицы в вязкой жидкости возникают силы сопротивления. При небольших скоростях, сила сопротивления обусловлена вязкостью жидкости. Согласно закону Стокса при сила сопротивления равна:

$$F = 6\pi\mu vR \quad (6.4)$$

На частицу, движущуюся в жидкости в поле силы тяжести, действуют следующие силы: сила тяжести, выталкивающая сила и сила сопротивления (рис. 6.2) Причем направление силы сопротивления противоположно направлению движения частицы.

При равномерном движении в соответствии с первым законом Ньютона:

$$\rho_1 \frac{4}{3} \pi R^3 g - \rho_2 \frac{4}{3} \pi R^3 g - 6\pi\eta Rv = 0$$

или

$$\eta = \frac{2R^2 g \cdot (\rho_1 - \rho_2)}{9v} = \frac{D^2 g \cdot (\rho_1 - \rho_2)}{18v} \quad (6.5)$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотности материала частицы и жидкости.

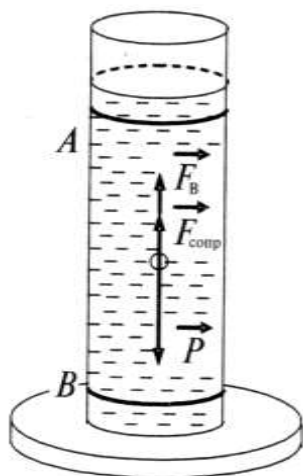


Рис. 6.3

Для определения вязкости по методу Стокса берут высокий цилиндрический сосуд (мензурку) с исследуемой жидкостью (рис. 6.3). Диаметр сосуда должен быть таким, чтобы шарик при падении не касался стенок и не возникали завихрения. На сосуде имеются две метки А и В. Метка А соответствует той высоте, где движение шарика становится равномерным, а нижняя метка В нанесена для удобства отсчета времени.

Бросая шарик в сосуд, отмечают по секундомеру время t прохождения шариком расстояния L между метками. Так как

$$v = \frac{L}{t}, \text{ то формула (6.5) принимает вид}$$

$$\mu = \frac{D^2 g \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t}{18L}, \quad (6.6)$$

где D – диаметр шарика, $\rho_1 = 1,82 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность материала, из которого изготовлен шарик; $\rho_2 = 0,91 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ($\rho_2 = 1,261 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) – плотность масла (глицерина) при комнатной температуре.

Порядок выполнения работы

1. Определение диаметра шарика.

Отберите 5 шариков, имеющих форму близкую к сферической.

С помощью микрометра измерьте диаметр шариков три раза, каждый раз располагая шарик относительно микрометра по-другому, чтобы учесть несферичность шарика. Полученные значения занесите в таблицу.

2. Определение скорости движения шарика.

Приготовьте секундомер. Проверьте его работоспособность. Бросьте шарик в мензурку без начальной скорости так, чтобы он падал вдоль оси мензурки. В момент прохождения шарика около верхней метки включите секундомер, а при прохождении около нижней – выключите. Результат измерения занесите в таблицу.

Проделайте измерения для оставшихся 4 шариков.

1. Вычислите среднее значение и погрешность диаметров всех пяти шариков. Результат занесите в таблицу 6.1.

Таблица 6.1.

	$d_1, \text{см}$	$d_1, \text{см}$	$d_1, \text{см}$	$\bar{d}, \text{см}$	$t, \text{с}$	$\eta, \text{Па} \cdot \text{с}$
1						
2						
3						
4						
5						

2. Вычислите скорость движения каждого из шариков, а также погрешность скорости.

3. Для каждого из шариков определите по формуле коэффициент вязкости.

4. Используя полученные значения вязкости для пяти шариков, определите среднее значение вязкости.

5. Рассчитайте погрешность полученного коэффициента вязкости.

6. Прodelайте пункты 1-5 для масла. Данные занесите во вторую таблицу.
7. Сравните полученные значения с табличным значением вязкости глицерина 1,48 Па·с и масла 0,23 Па·с.
8. Запишите заключение к работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое сила внутреннего трения?
2. Чем обусловлена вязкость жидкости и от каких параметров она зависит?
3. Укажите единицу СИ коэффициента вязкости.
4. Что такое градиент скорости? В каких единицах он изменяется?
5. Напишите уравнение Ньютона для течения вязкой жидкости.
6. Что такое ньютоновская и неньютоновская жидкости?
7. Выведите формулу для определения вязкости по методу Стокса.
8. Какие условия должны выполняться при измерении вязкости методом Стокса?
9. Какие силы действуют на шарик, движущийся в вязкой жидкости?
10. С какой скоростью всплывает пузырек воздуха диаметром D в сосуде, наполненном глицерином? Динамическая вязкость глицерина η , плотность ρ . Считать плотность глицерина много больше плотности воздуха.