223. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ОТ ЕЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ШАРИКОВОМ ВИСКОЗИМЕТРЕ

Введение

Рассмотрим протекание жидкости по трубе. В том случае, когда соседние слои жидкости (или газа) перемещаются с различной скоростью, между ними действуют силы трения. Вязкостью называется свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Слой жидкости, непосредственно прилегающий к неподвижной плоскости, неподвижен. Линия тока жидкости в центре трубы перемещается с максимально скоростью. В промежуточной области скорость течения жидкости зависит от расстояния.

Основной закон вязкого течения был установлен И. Ньютоном

$$F = -\eta \frac{dv}{dr} S, \qquad (1)$$

где сила трения F пропорциональна площади S плоскостей, перемещающихся относительно друг друга, и градиенту скорости dv/dr. Градиент dv/dr характеризует быстроту изменения скорости от слоя к слою. Коэффициент пропорциональности η называется коэффициентом динамической вязкости. Он характеризует сопротивление жидкости (газа) смещению ее слоев. В системе СИ за единицу вязкости принят Паскаль·секунда, сокращенно – *Па·с*. Жидкость имеет вязкость один *Па·с*, если для сдвига плоскости площадью 1 $м^2$ параллельно другой плоскости, расположенной на расстоянии 1 *м* от первой, со скоростью 1 *м/с* требуется сила 1 *Н*. Если коэффициент динамической вязкости η отнести к плотности жидкости, то получившеюся величину называют коэффициентом кинематической вязкости

$$\nu = \eta / \rho; \; [\nu] = [\eta]/[\rho] = Па \cdot с / (кг / м^3) = м^2 / с.$$

Когда жидкость (газ) перемещается как бы слоями, упорядоченно, течение жидкости называют ламинарным. Ламинарное течение жидкости наблюдается, например, при достаточно медленном течении жидкости в трубе. С увеличением скорости движения ламинарное течение в некоторый момент переходит в турбулентное течение, возникают вихри, происходит интенсивное перемешивание слоев жидкости, сопротивление жидкости изменяется (рис. 1).

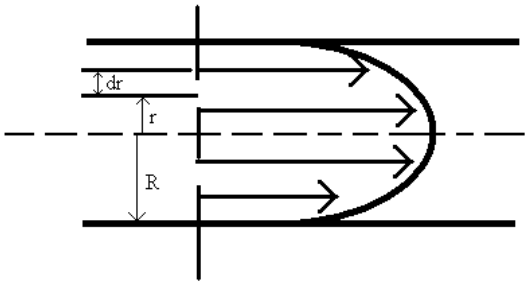


Рис. 1. Распределение скоростей движения жидкости в сечении трубы

Характер течения определяется числом Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = \rho v L_x / \eta , \qquad (2)$$

где ρ – плотность жидкости, η – коэффициент динамической вязкости, v – скорость шарика, L_x – характерный размер тела. При рассмотрении течения жидкости в круглой трубе характерный размер имеет смысл радиуса трубы, а v имеет смысл средней скорости жидкости в сечении трубы. Если число Рейнольдса меньше критического значения $Re_{кр}$, то возможно только ламинарное течение. Если Re больше критического значения, течение может иметь переходный или турбулентный характер. Критическое значение числа Рейнольдса зависит от состояния поверхности и других факторов. Для движения жидкости по трубе, как правило, $Re_{кр}$= 2000 – 2200.

В системе СГС вязкость измеряется в дина-секунда на квадратный сантиметр (*дин·сек/см*^{2}), равная 1 *г/(см·сек)* и названная пуазом (*пз*). Применяют дольные единицы пуаза — сантипуаз (*спз*), миллипуаз (*мпз*) и микропуаз (*мкпз*).

Ньютоновская жи́дкость (названная так в честь Исаака Ньютона) — вязкая жидкость, подчиняющаяся в своём течении закону вязкого трения Ньютона

Примерами ньютоновской жидкости являются все низкомолекулярные вещества в жидком состоянии, их смеси и истинные растворы в них низкомолекулярных веществ (вода, органические жидкости, расплавленные металлы, соли и стекло при температуре выше температуры стеклования).

Экспериментальное изучение строения жидкостей показало, что в отличие от газов, жидкости обладают определенной структурой, называемой ближним порядком. Это означает, что число ближайших соседей отдельно выбранной молекулы, а также их взаимное расположение в среднем для всех молекул одинаковы. Подобно твердым телам жидкости мало сжимаемы, обладают большой плотностью; подобно газам – принимают форму сосуда, в котором находятся. Такой характер свойств жидкостей связан с особенностями теплового движения их молекул. По теории Я. Френкеля, молекулы жидкости, подобно частицам твердого тела, колеблются около положения равновесия, однако эти положения не являются постоянными. По

истечении некоторого времени, называемого временем оседлой жизни, молекула скачком переходит в новое положение равновесия на расстояние, равное среднему расстоянию между соседними молекулами. Для того чтобы молекула жидкости «перескочила» из одного положения равновесия в другое, должны нарушиться связи с окружавшими ее молекулами и образоваться связи с новыми соседями. Для разрыва межмолекулярных связей требуется энергия Еа (энергия активации), выделяемая при образовании новых связей. Такой переход молекулы из одного положения равновесия в другое является переходом через потенциальный барьер высотой Еа. Энергию для преодоления потенциального барьера молекула получает за счет энергии теплового движения соседних молекул. Зависимость среднего времени свободной жизни молекулы (τ) от температуры жидкости и энергии активации выражается формулой, вытекающей из распределения Больцмана:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right), \qquad (3)$$

где τ_0 – средний период колебаний молекулы около положения равновесия, k – постоянная Больцмана. Чем чаще молекулы меняют свои положения равновесия, тем более текуча и менее вязка жидкость, т.е. вязкость прямо пропорциональна τ. Учитывая формулу (3), получим выражения для температурной зависимости вязкости:

$$\eta = A\exp\left(\frac{E_a}{kT}\right), \qquad (4)$$

где A - const. Из графика температурной зависимости вязкости можно определить энергию активации. Для этого удобно прологарифмировать уравнение (4) $\ln\eta = \ln A + \frac{E_a}{kT}$ и построить график в координатах $ln\eta$ и $1/T$. Тангенс угла наклона этого графика будет равен энергии активации, поделенной на постоянную Больцмана.

Вязкость жидкостей и газов измеряют приборами, называемыми вискозиметрами. В представленной работе вязкость жидкостей и газов определяется сравнительным методом, в котором вязкость жидкости определяется по формуле:

$$\eta = K \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot t, \qquad (5)$$

где ρ_1 – плотность шарика, ρ_2 – плотность жидкости, K – коэффициент, зависящей от размеров и плотности конкретного шарика, t – время падения шарика в жидкости между двумя метками.

Цель работы

- ✓ Изучение вискозиметра Гепплера с падающим шариком
- ✓ Определение вязкости жидкости и энергии активации

Решаемые задачи

- ✓ Калибровка вискозиметра
- ✓ Измерение температурной зависимости динамической вязкости ньютоновской жидкости
- ✓ Определение энергии активации внутреннего трения жидкости

Техника безопасности

- ✓ **Внимание: не включайте нагреватель при отсутствии воды в емкости нагревателя.**

Экспериментальная установка

<u>Приборы и принадлежности</u>

- ✓ Шариковый вискозиметр (Гепплера)
- ✓ циркуляционный термостат 20÷+100ºС
- ✓ секундомер
- ✓ силиконовые шланги, 7 мм Ø

Таблица 1. Масса и диаметр шариков

Номер шарика	Масса (грамм)	Диаметр (мм)	Материал
1	11.6918	14.280	сталь
2	4.45	15.647	стекло
3	4,61	15,81	стекло

Таблица 2. Вязкость и плотность жидкостей

	Жидкость	Вязкость при 25^0С (мПа·сек)	Вязкость при 30^0С (мПа·сек)	Плотность (кг/м^3)
1	вода	0.895	0.803	998.23
2	глицерин	945	600	1261

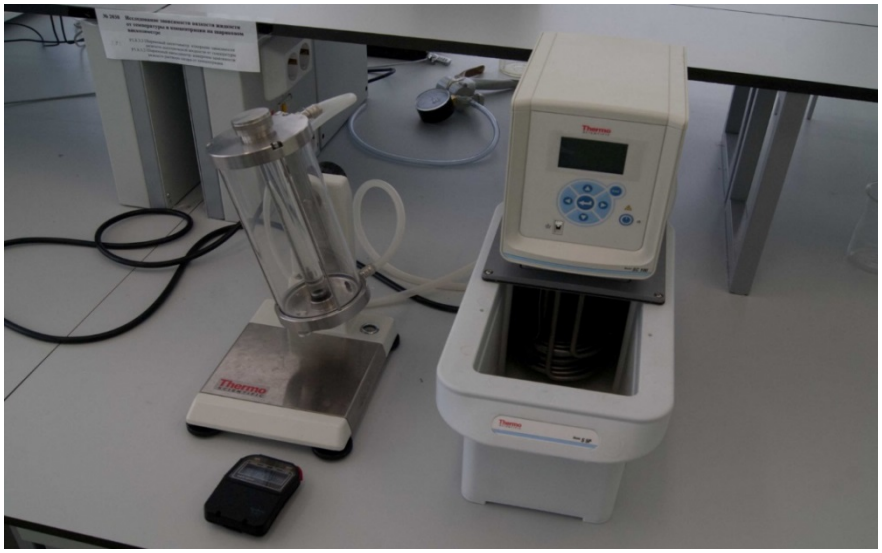
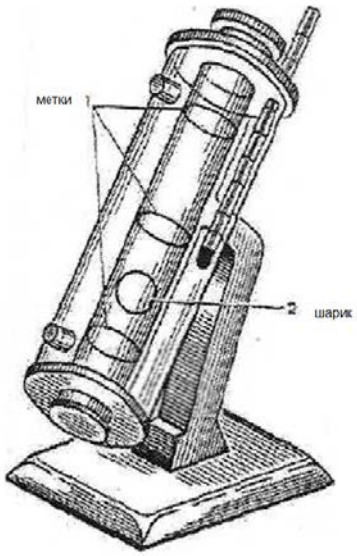


Рис.1. Лабораторная установка 1)Шариковый вискозиметр; 2)Нагреватель

Порядок выполнения работы

Упражнение №1 Калибровка вискозиметра

1. Шарик (стальной или стеклянный) помещен в измерительную трубку вискозиметра, куда налита исследуемая жидкость (глицерин или вода). Калибровочный коэффициент *K* (постоянная вискозиметра) зависит от типа шарика. По данным таблицы 1 рассчитайте плотность шарика, который используется в данной установке.
2. Переверните вискозиметр и измерьте время падения шарика в жидкости *t* между двумя крайними метками. Для этого включите секундомер когда нижняя часть шарика коснется верхней метки, и остановите, когда шарик достигнет нижней метки. Для более точного определения времени эксперимент следует проводить 4-6 раз.



3. Рассчитайте постоянную вискозиметра (калибровочный коэффициент шарикового вискозиметра) *K* по формуле:

$$K = \frac{\eta}{(\rho_1 - \rho_2)\cdot t},$$

где ρ_1 – плотность шарика; ρ_2 – плотность жидкости; η - динамическая вязкость известной жидкости, приведённая в таблице 2.

Упражнение №2 Измерение температурной зависимости динамической вязкости жидкости

1. Включите нагреватель. Установите на дисплее термостата температуру на 5 градусов выше комнатной. Для этого, используя клавишу «вверх» выделите вторую строчку. Нажмите «Enter» для редактирования. Перемещайте курсор клавишами «вправо» и «влево» и изменяйте цифры с помощью клавиш «вверх» и «вниз». Установите нужное значение температуры. Зафиксируйте установленное значение клавишей «Enter». Далее выделите третью строчку со значком и включите термостат нажав клавишу «Enter».
2. Дождитесь повышение температуры на 5 градусов и, не выключая термостат, измерьте время падения шарика в жидкости *t* между двумя крайними метками. Для более точного определения времени эксперимент следует проводить 4-6 раз.
3. Рассчитайте динамическую вязкость жидкости по формуле:

$$\eta = K\cdot(\rho_1 - \rho_2)\cdot t,$$

где ρ_1 – плотность шарика; ρ_2 – плотность жидкости; K - индивидуальная константа, зависящая от типа шарика, рассчитанная в первом упражнении.

4. Проведите измерения при различных температурах (5-6 значений) до 60°С. Каждый раз, устанавливая значение температуры как в пункте 1. После каждого увеличения температуры ждите несколько минут, пока полностью прогреется исследуемая жидкость.

Упражнение №3 Определение энергии активации внутреннего трения жидкости

1. Постройте график зависимости коэффициента вязкости жидкости от абсолютной температуры в координатах η и T.
2. Постройте график зависимости коэффициента вязкости жидкости от абсолютной температуры в координатах $\ln\eta$ и $1/T$. По тангенсу угла его наклона определите энергию активации внутреннего трения E_a.