

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Поляков Даниил, 19.Б23-фз

Цель работы: используя вискозиметр Гепплера, определить зависимость коэффициента вязкости воды от температуры, определить энергию активации воды.

Оборудование

- вискозиметр Гепплера;
- термостат;
- набор шариков разного диаметра;
- секундомер;
- щётка;
- поршень;
- пинцет.

Расчётные формулы

- Градуировочная константа:

$$K = \frac{\eta_{\text{эт}}}{(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \tau_{\text{эт}}}$$

$\eta_{\text{эт}}$ — эталонная вязкость жидкости;
 $\rho_{\text{ш}}$ — плотность шарика;
 $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости;
 $\tau_{\text{эт}}$ — время преодоления шариком постоянного расстояния.

- Вязкость жидкости:

$$\eta = K (\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}}) \tau$$

K — градуировочная константа;
 $\rho_{\text{ш}}$ — плотность шарика;
 $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости;
 τ — время преодоления шариком постоянного расстояния.

- Зависимость вязкости жидкости от её температуры и энергии активации:

$$\eta = \eta_{\text{эт}} e^{\frac{W}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{эт}}} \right)}$$

η — вязкость жидкости;
 $\eta_{\text{эт}}$ — эталонная вязкость жидкости;
 T — температура жидкости;
 $T_{\text{эт}}$ — эталонная температура жидкости;
 W — энергия активации жидкости;
 $R = 8.31 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ — универсальная газовая постоянная.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность прямых измерений:

$$\Delta_{\bar{x}} = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} + (\Delta_{x, \text{сист}})^2}$$

n — количество измерений;
 t — коэффициент Стьюдента;
 $\Delta_{x, \text{сист}}$ — систематическая погрешность.

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta_{f(x_1, x_2, \dots)} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots}$$

- $\Delta_K = \left| \frac{\partial K}{\partial x_1} \cdot \Delta_{x_1} \right| = \left| K \cdot \frac{\Delta_{\tau_{\text{эт}}}}{\tau_{\text{эт}}} \right|$

- $\Delta_{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial K} \cdot \Delta_K\right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \tau} \cdot \Delta_{\tau}\right)^2} = |\eta| \sqrt{\left(\frac{\Delta_K}{K}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\tau}}{\tau}\right)^2}$

Порядок измерений

1. Заполняем трубку вискозиметра водой и с помощью пинцета опускаем в неё стеклянный шарик. Вставляем в трубку заглушку и закрываем трубку крышкой. С помощью пузырькового уровня убеждаемся, что прибор установлен горизонтально. Проводить измерения начинаем с температуры 25 °С. Устанавливаем эту температуру на термостате.
2. После того, как температура термостата установилась, переворачиваем трубку. Шарик начинает движение. При пересечении шариком первой метки запускаем секундомер и останавливаем его по пересечении шариком второй метки. Повторяем измерения при этой же температуре ещё 2 раза.
3. Повторяем измерения, описанные в пункте 2, для остальных температур с шагом 5 °С, до 50 °С.

Результаты

Примечание: построение графиков и аппроксимация зависимости выполнены с помощью ПО MATLAB. Погрешности прямых измерений и коэффициента аппроксимации рассчитаны с доверительной вероятностью $P = 95\%$.

Плотность материала шарика: $\rho_{\text{ш}} = 2.217 \text{ г/см}^3$;

Градуировочная константа: $K = (8.4 \pm 0.5) \cdot 10^{-3} \text{ мПа} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$.

Градуировочная константа K рассчитана по времени, измеренному при температуре $T_{\text{эт}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ и эталонным значениям вязкости и плотности воды для этой температуры (см. **Приложение**). Соответственно, (см. **Таблица 1**) вязкость при температуре $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ соответствует эталонной.

1. Зависимость коэффициента вязкости воды от температуры

Таблица 1. Зависимость времени движения шарика и вязкости воды от температуры

$T, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{с}$	$\bar{\tau}, \text{с}$	$\eta, \text{мПа} \cdot \text{с}$
25.00	87.46	87 ± 5	0.8929
	89.24		
	85.29		
30.00	78.77	78 ± 2	0.80 ± 0.05
	77.17		
	78.18		
35.00	71.11	70 ± 3	0.72 ± 0.05
	69.02		
	70.10		
40.00	64.28	63 ± 2	0.65 ± 0.04
	63.16		
	62.80		
45.00	57.90	57.4 ± 1.4	0.59 ± 0.04
	56.81		
	57.62		
50.00	51.71	52.3 ± 1.4	0.54 ± 0.03
	52.69		
	52.64		

При расчёте погрешностей времени τ систематической погрешностью пренебрегалось.

Полученные значения вязкости воды совпадают с табличными в пределах погрешности.

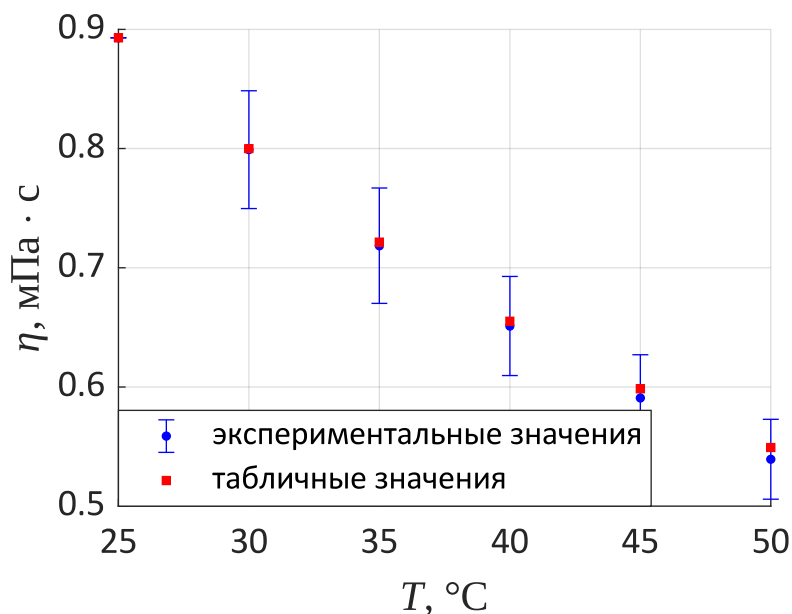


График 1.

Зависимость вязкости воды от температуры

2. Энергия активации воды

Для нахождения энергии активации воды линеаризуем зависимость $\eta(T)$:

$$\eta = \eta_{\text{эт}} e^{\frac{W}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{эт}}} \right)} \Leftrightarrow \ln \left(\frac{\eta}{\eta_{\text{эт}}} \right) = \frac{W}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{эт}}} \right) \Leftrightarrow y = Wx, \quad x \equiv \frac{1}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\text{эт}}} \right), \quad y \equiv \ln \left(\frac{\eta}{\eta_{\text{эт}}} \right)$$

Отсюда найдём энергию активации как коэффициент аппроксимации $y(x)$.

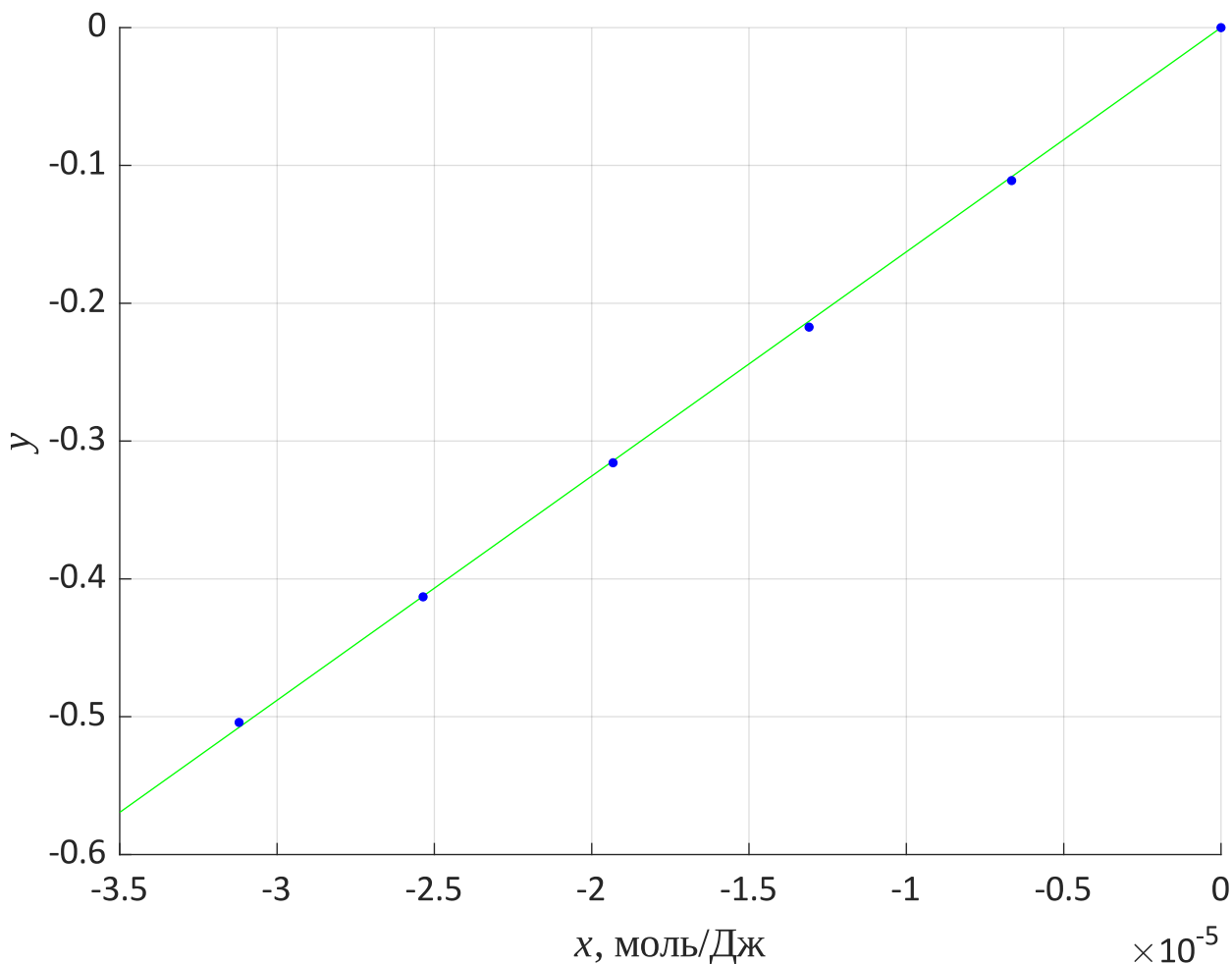


График 2. Линеаризованная зависимость вязкости воды от температуры

Получаем:

$$W = 16300 \pm 200 \text{ Дж/моль}$$

Выводы

Проведено исследование зависимости вязкости дистиллированной воды от температуры (**График 1**). При увеличении температуры воды её вязкость уменьшается. Полученные значения вязкости совпадают с табличными в пределах погрешности. Полученное значение энергии активации воды (**График 2**):

$$W = 16300 \pm 200 \text{ Дж/моль}$$

Приложение

Таблица 2. Вязкость и плотность воды при различных температурах

$T, ^\circ\text{C}$	$\eta, \text{мПа} \cdot \text{с}$	$\rho, \text{г/см}^3$
20	1.005	0.9982
25	0.8929	0.9974
30	0.8000	0.9956
35	0.7215	0.9940
40	0.6551	0.9922
45	0.5985	0.9902
50	0.5492	0.9880
55	0.5064	0.9857
60	0.4683	0.9832