

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Л. В. Абрамович

Белорусский государственный университет, Минск;

larysa.abramovich@mail.ru;

науч. рук. – И. В. Васаренко

Представлены описания калориметрического метода определения теплоемкости жидкостей и проведения опыта в калориметрах переменной температуры с изотермической оболочкой. Рассмотрены теплообмен калориметра с окружающей средой и закон, описывающий полный теплообмен калориметра, а также условия, необходимые для записи общего закона теплообмена калориметра. Представлено описание и принцип работы лабораторной установки по определению теплоемкости жидкостей. Приведены формулы, позволяющие рассчитать теплоемкость жидкостей, используя полученные в ходе эксперимента данные. Определены оптимальные параметры лабораторной установки, а также приведены результаты экспериментов по определению теплоемкости жидкостей.

Ключевые слова: теплоемкость; калориметр с изотермической оболочкой; теплообмен калориметра; поправка на теплообмен.

ВВЕДЕНИЕ

Теплоемкость – физическая величина, характеризующая количество теплоты, которое вещество должно получить от окружающей среды при определенных условиях, чтобы его температура поднялась на один градус. Это одна из важнейших теплофизических характеристик вещества, знание которой совершенно необходимо при инженерных расчетах любых тепловых процессов. Необходимость знания теплоемкости веществ определяется научной и практической значимостью. Измерение теплоемкости осуществляется с помощью калориметра.

Целью данной работы является изучение принципа работы установки по определению теплоемкости жидкостей, создание лабораторной работы по определению теплоемкости жидкостей калориметрическим методом с использованием данной установки, определение оптимальных параметров работы установки, теплоемкости калориметрического сосуда и теплоемкости жидкостей.

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТИ

Калориметрический эксперимент состоит в измерении количества теплоты Q , сопровождающей проводимую в калориметре химическую реакцию или какой-либо иной процесс.

Величина Q рассчитывается из эксперимента по формуле:

$$Q = C_i \times \Delta t,$$

где Δt – изменение температуры калориметрической системы, C_i – ее тепловое значение, или энергетический эквивалент калориметра.

Численное значение C_i определяют опытным путем, сообщая калориметру известное количество энергии и измеряя вызванный этим подъем температуры Δt . Величину Δt (истинное изменение температуры) нельзя измерить непосредственно, т.к. на эту величину неизбежно накладывается теплообмен калориметрической системы с окружающей средой. Чтобы получить истинное изменение температуры Δt , необходимо ввести поправку на теплообмен и побочные тепловые эффекты:

$$\Delta t = \Delta t' - \delta,$$

где δ – поправка на теплообмен, $\Delta t'$ – наблюдаемое в опыте изменение температуры.

ТЕПЛООБМЕН КАЛОРИМЕТРА

Теплообмен калориметра с окружающей средой осуществляется тремя механизмами – теплопроводностью, излучением и конвекцией. Строгий учет теплообмена в калориметрическом опыте практически невозможен, поэтому необходимо соблюдать условия, при которых упрощенный расчет поправки на теплообмен не искажает результат:

1. Разность температур калориметра и окружающей его оболочки не должна превышать 2–3 градуса.
2. Внешняя поверхность калориметра и внутренняя поверхность оболочки должны обладать хорошей отражательной способностью.
3. Расстояние между стенками калориметрического сосуда и оболочки должно составлять около 10 мм; при этом конвекция практически исключается, а теплотери, обусловленные теплопроводностью воздуха, невелики.
4. Подъем температуры в опыте не должен превышать 4°C.

В этих условиях полный теплообмен описывается законом охлаждения Ньютона:

$$q = K \times (T_{об} - T_k),$$

где K – константа охлаждения калориметра, $T_{об}$ – температура оболочки, T_k – температура калориметра.

ОПИСАНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка предназначена для определения теплоемкости жидкостей в лабораторных условиях. Внешний вид установки представлен на рис. 1. Калориметрический сосуд 7 помещен в цилиндрическую оболочку 9. Небольшой зазор между калориметрическим сосудом и цилиндрической оболочкой заполнен теплоизоляционным материалом 8. Калориметрический сосуд закрывается крышкой с установленными в нее трубчатым электронагревателем (ТЭН) 2 и измерителями температуры 3, 4 (термометры Т1 и Т2). Цилиндрическая оболочка помещается на магнитную мешалку 10 с регулируемой скоростью перемешивания.

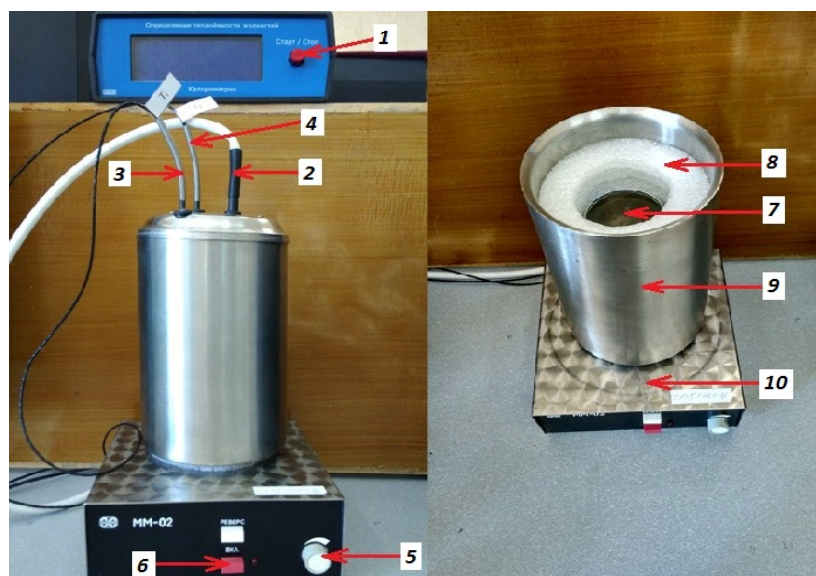


Рис. 1. Экспериментальная установка

1 – блок управления, 2 – ТЭН, 3 – термометр 1, 4 – термометр 2, 5 – устройство регулировки скорости перемешивания, 6 – кнопка «ВКЛ» для включения мешалки, 7 – калориметрический сосуд, 8 – теплоизоляционный материал, 9 – калориметрическая оболочка, 10 – магнитная мешалка

ФОРМУЛЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭКВИВАЛЕНТА КАЛОРИМЕТРА

Энергетический эквивалент калориметра и исправленный подъем температуры рассчитываются по формулам:

$$C_i = Q \div \Delta t, \quad (1)$$

$$\Delta t = t_n - t_0 + \delta, \quad (2)$$

где t_n – показания термометра, соответствующие конечной температуре главного периода ($^{\circ}\text{C}$), t_0 – показания термометра, соответствующие конечной температуре начального периода ($^{\circ}\text{C}$), δ – поправка на теплообмен калориметрического сосуда с окружающей средой.

Поправка на теплообмен калориметрического сосуда с окружающей средой рассчитывается по формуле:

$$\delta = K \times [(t_n + t_0) \div 2 + \sum t_{ir} - n \times t_{cp}] + n \times V_n, \quad (3)$$

где n – число измерений в главном периоде, K – константа охлаждения калориметра, $\sum t_{ir}$ – сумма значений промежуточных отсчетов измерителя температуры (t_{ir}) в главном периоде ($^{\circ}\text{C}$), t_{cp} – средняя температура конечного периода ($^{\circ}\text{C}$), V_n – средний ход изменения температуры в конечном периоде.

Т.к. общая теплоемкость системы состоит из теплоемкости калориметрического сосуда и теплоемкости вещества, находящегося в нем, для того, чтобы рассчитать неизвестную теплоемкость вещества, необходимо из энергетического эквивалента вычесть известное значение теплоемкости калориметрического сосуда:

$$C_{\text{в-ва}} = C_i - C_c, \quad (4)$$

где $C_{\text{в-ва}}$ – теплоемкость вещества ($\text{Дж}/^{\circ}\text{C}$), C_c – теплоемкость калориметрического сосуда ($\text{Дж}/^{\circ}\text{C}$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для равномерного распределения температуры в системе в начальном и конечном периодах, а также для оптимального подъема температуры в главном периоде, необходимо правильно установить их длительность в настройках прибора перед началом эксперимента.

После проведения ряда экспериментов с водой было определено, что для того, чтобы подъем температуры не превысил 4°C , наиболее оптимальным является длительность:

- начального периода – 300 с;
- главного периода – 120 с;
- конечного периода – 600 с.

Перед проведением эксперимента необходимо определить теплоемкость калориметрического сосуда. Это постоянная величина. Для ее нахождения используется жидкость с известной теплоемкостью. После проведения шести экспериментов с водой ($c_{\text{в-ва}} = 4200 \text{ Дж}/\text{кг} \times ^{\circ}\text{C}$) был рассчитан энергетический эквивалент C_i по формулам 1–3, а затем и теплоемкость сосуда: $C_c = C_i - C_{\text{в-ва}}$. Среднее значение теплоемкости калориметрического сосуда $C_c = 245 \text{ Дж}/^{\circ}\text{C}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены эксперименты по определению теплоемкости спирта, воды, а также раствора воды и спирта. Расчет теплоемкости веществ производился по формуле 4. Были получены следующие результаты: удельная теплоемкость спирта $c=2651 \text{ Дж/кг}\times^{\circ}\text{С}$, воды $c=4354 \text{ Дж/кг}\times^{\circ}\text{С}$, раствора воды (50 %) и спирта (50 %): $c=3606 \text{ Дж/кг}\times^{\circ}\text{С}$. Проанализировав полученные результаты и сравнив их с табличными данными, можно сделать вывод, что параметры работы лабораторной установки были определены верно. Несущественное отклонение от табличных значений обусловлено тем, что строгий учет теплообмена при проведении калориметрического эксперимента невозможен.

В ходе проведения экспериментов были построены графики зависимости температуры в калориметрическом сосуде от времени (рис. 2, а, б). Как видно из графиков (для наглядности приведены графики для воды и раствора воды и спирта), подъем температуры не превысил 4°С , что свидетельствует о правильном определении времени нагрева.

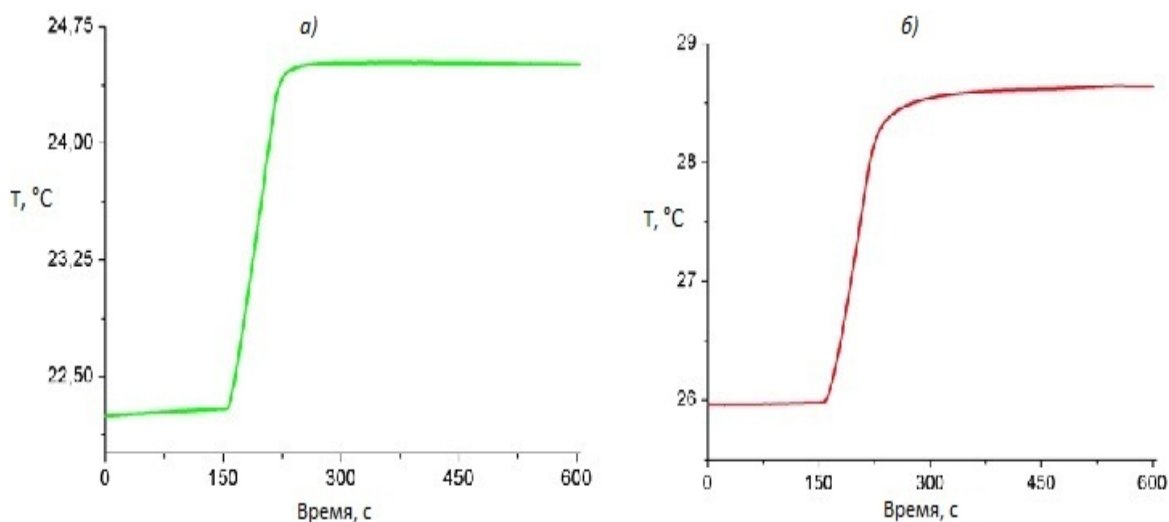


Рис. 2. Зависимость температуры в сосуде от времени
(а) – для воды, (б) – для раствора воды и спирта

По результатам работы были написаны методические указания к лабораторной работе по определению теплоемкости жидкостей калориметрическим методом. Определенные параметры работы установки, а также рассчитанная теплоемкость калориметрического сосуда могут быть использованы в дальнейших экспериментах.

Библиографические ссылки

1. Походун А. И., Шарков А. В. Экспериментальные методы исследования. Измерения теплофизических величин. СПб., 2006.
2. Колесов В. П. Основы термохимии. М. : Издательство МГУ, 1996.
3. Хеммингер В., Хене Г. Калориметрия. Теория и практика. М. : Химия, 1989.