

УДК 536.24

Экспериментальное определение постоянной учебного калориметра

Меткурбанов Арсений Владиславович

metkurbanovav@student.bmstu.ru

Меткурбанов Илья Владиславович

metkurbanoviv@student.bmstu.ru

Шевелев Денис Владимирович

denis.v.shevelev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Описана конструкция учебного калориметра, используемого для изучения термодинамических свойств воды и водяного пара. Отмечена важность величины постоянной калориметра для экспериментального определения степени сухости водяного пара. Предложена и апробирована методика определения постоянной учебного калориметра. Исследовано влияние потерь в окружающую среду от наружных стенок калориметра. Установлено, что в диапазоне изменения температур воды в калориметре от 20 до 40 °С влиянием потерь тепла в окружающую среду можно пренебречь.

Ключевые слова: калориметр, тарировка, постоянная калориметра, эксперимент

В ходе проведения термодинамических и химических опытов часто ставится задача экспериментального определения теплоты того или иного процесса. Например, большую практическую ценность имеет экспериментальное определение удельной теплоты конденсации (парообразования) того или иного вещества или теплового эффекта химической реакции.

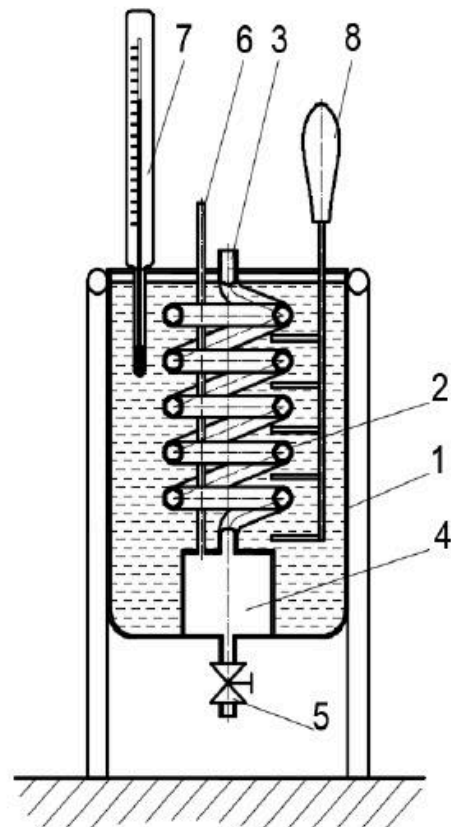
Уже более 200 лет для измерения количества теплоты, выделяющейся или поглощающейся в каком-либо физическом или химическом процессе используется специальный прибор — калориметр. Первый калориметр изобрел английский химик Джозеф Блэк, с помощью которого определил скрытую теплоту плавления льда и испарения воды [1]. Усовершенствованную конструкцию калориметра (ледяной калориметр) предложили французские ученые Антуан Лоран Лавуазье и Пьер Симон Лаплас, данный прибор и эксперименты с ним они описывают в работе [2].

Свое название калориметр получил позже. По предложению французского химика Николя Клемана-Дезорма большой калорией (от латинского слова calor — тепло) стали называть единицу тепловой энергии как количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы нагреть один килограмм воды на один градус Цельсия [3].

В лаборатории термодинамики и тепломассообмена КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана при проведении лабораторных работ используется учебный калориметр (см. рисунок).

Назначение калориметра — изучение свойств водяного пара путем определения степени его сухости. Калориметр представляет собой металлический бак 1, внутри которого располагается змеевик 2, в который через патрубок 3

подается водяной пар. Конденсат собирается в конденсатосборнике 4, откуда может через кран 5 выливаться в мерную емкость. Постоянное давление конденсации водяного пара обеспечивается атмосферной трубкой 6. В ходе конденсации пара благодаря выделению скрытой теплоты парообразования происходит нагрев воды в калориметре, что регистрируется термометром 7. Равномерный прогрев воды обеспечивается ручной мешалкой 8.



Учебный калориметр (калориметр Лавуазье — Лапласа)

В ходе учебного эксперимента повышение температуры воды в калориметре составляет около 5–10 °С. Определение степени сухости водяного пара осуществляется путем решения уравнения теплового баланса:

$$C(t_2 - t_1) = G_k(xr + h_s - h_2), \quad (1)$$

где C — постоянная калориметра; t_1 и t_2 — начальная и конечная температура воды в калориметре; x — степень сухости водяного пара; r — удельная теплота парообразования воды; h_s и h_2 — энтальпия воды при температуре насыщения и t_2 соответственно.

Постоянная калориметра — это константа, которая количественно определяет теплоемкость калориметра. Она представляет собой количество теплоты, необходимое для нагревания калориметрической системы на 1 °С.

В «идеальном» калориметре подобной конструкции константа калориметра будет равна теплоемкости залитой в него воды, т. е. вся подводимая в калориметр теплота идет только на ее нагрев. Однако реальная конструкция калориметра приводит к тому, что часть теплоты идет на нагрев его металлических частей — змеевика, мешалки, стенок бака и конденсатосборника. Некоторое количество теплоты будет теряться в окружающую среду в результате конвективного теплообмена от наружных стенок бака.

Для корректной работы с калориметром требуется его тарировка — экспериментальное определение его постоянной C . Известны различные способы тарировки калориметров различной конструкции [4].

Для описанного выше учебного калориметра, рациональным оказался метод, при котором нагрев воды в калориметре осуществлялся с помощью помещенного в него электрического нагревательного устройства. В ходе эксперимента засекалось время работы нагревателя τ , с, и, потребляемая им мощность с помощью ваттметра N , кВт. Измерение температуры воды проводилось два раза, перед включением нагревателя t_1 , °C и после его работы t_2 , °C. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные неизолированного калориметра

Номер опыта	Начальная температура воды t_1 , °C	Конечная температура воды t_2 , °C	Время нагрева τ , с	Потребляемая мощность электрического нагревателя $N_{эл}$, кВт
1	23	29	240	0,600
2	29	36	240	0,604

Для оценки потерь тепла в окружающую среду наружные стенки калориметра теплоизолировались с помощью отражающей теплоизоляции ВПЭ/Лавсан толщиной 5 мм. Результаты повторного эксперимента с теплоизолированным корпусом калориметра приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные изолированного калориметра

Номер опыта	Начальная температура воды t_1 , °C	Конечная температура воды t_2 , °C	Время нагрева τ , с	Потребляемая мощность электрического нагревателя $N_{эл}$, кВт
3	26	33	240	0,599
4	33	39	240	0,600

Обработка результатов эксперимента с целью определения постоянной калориметра осуществлялось по следующей методике.

1. Количество подведенного в калориметр тепла:

$$Q = N_{эл} \tau, \text{ кДж.} \quad (2)$$

2. Постоянная «идеального» калориметра:

$$C_{\text{ид}} = \frac{(h_2 - h_1)V\rho}{(t_2 - t_1)}, \text{ кДж/}^\circ\text{С}, \quad (3)$$

где h_1 и h_2 — энтальпия воды при температуре t_1 и t_2 ; $V = 0,00445 \text{ м}^3$ — внутренний объем калориметра; ρ — плотность воды при температуре t_1 , кг/м^3 . Термодинамические свойства веществ в выражении (3) определялись с помощью сервиса [4].

3. Экспериментально определенная постоянная калориметра:

$$C = \frac{Q}{t_2 - t_1}, \text{ кДж/}^\circ\text{С}. \quad (4)$$

Результаты обработки экспериментальных данных приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты обработки экспериментальных данных

Номер опыта	Q, кДж	C _{ид} кДж/°C	C, кДж/°C
Без теплоизоляции			
1	144	18,6	24
2	145		21
C теплоизоляцией			
3	144	18,6	21
4	144		24

Обработка экспериментальных данных показала, что теплоемкость учебного калориметра больше «идеального» на 2–5 кДж/°С. Это объясняется поглощением теплоты его конструктивными элементами — стенками, змеевиком, мешалкой. Разброс определенных величин постоянной калориметра объясняется, по-видимому, погрешностями выполненных измерений — прежде всего термометра с ценой деления 1 °С.

Выводы. Выполнена тарировка учебного калориметра, в результате которой была определена его постоянная $C_{\text{ср}} = 22,5 \text{ кДж/}^\circ\text{С}$. Установлено, что в условиях проводимого эксперимента в диапазоне изменения температуры воды от 20 до 40 °С, потерями теплоты в окружающую среду можно пренебречь. Их влияние зарегистрировать не удалось. Точность экспериментального определения постоянной калориметра можно увеличить путем его тарировки с помощью термометра с меньшей ценой деления шкалы. Полученные результаты могут быть полезны в учебном процессе при экспериментальном определении степени сухости водяного пара.

Литература

- [1] Chisholm H. Encyclopædia Britannica. Cambridge University Press, 1911, vol. 4.
- [2] Memoire sur la chaleur, par Lavoisier et de Laplace. Memoires de l'Academie des sciences, 1780, 355 p.
- [3] Marks P.L. The Two Calories. Nature, 1928, vol. 121 (3037), no. 58.
<https://doi.org/10.1038/121058d0>
- [4] CoolProp. Кроссплатформенная библиотека термодинамических свойств веществ. URL: <http://www.coolprop.org/> (дата обращения 04.01.2024).

Experimental determination of the constant of the educational calorimeter

Metkurbanov A.V.	metkurbanovav@student.bmstu.ru
Metkurbanov I.V.	metkurbanoviv@student.bmstu.ru
Shevelev D.V.	denis.v.shevelev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The design of an educational calorimeter used to study the thermodynamic properties of water and steam is described. The importance of the value of the calorimeter constant for the experimental determination of the degree of dryness of water vapor is noted. A method for determining the constant of the educational calorimeter is proposed and tested. The effect of environmental losses from the outer walls of the calorimeter has been investigated. It has been established that in the range of water temperatures in the calorimeter from 20 to 40 °C, the effect of heat loss to the environment can be ignored.

Keywords: calorimeter, calibration, calorimeter constant, experiment