

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ И ЭНТАЛЬПИЯ

Е.И. Скворцова¹, А.С. Ягодкин¹, Д.М. Охрименко¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматриваются основные положения первого начала термодинамики, которое устанавливает закон сохранения энергии в термодинамических системах. Обсуждается, как это начало связывает работу, тепло и внутреннюю энергию, а также его значение для понимания процессов, происходящих в различных физических системах. Особое внимание уделяется понятию энтальпии как важной термодинамической функции, которая позволяет анализировать процессы при постоянном давлении. Статья акцентирует внимание на практическом применении первого начала термодинамики и энтальпии в химических реакциях, теплообменных процессах и инженерных расчетах.

Ключевые слова: энтальпия, первое начало термодинамики, внутренняя энергия, эндотермические реакции, экзотермические реакции.

THE FIRST LAW OF THERMODYNAMICS AND ENTHALPY

E.I. Skvortsova¹, A.S. Yagodkin¹, D.M. Ohrimenko¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article considers the basic principles of the first law of thermodynamics, which establishes the law of conservation of energy in thermodynamic systems. It discusses how this law relates work, heat and internal energy, as well as its importance for understanding the processes occurring in various physical systems. Particular attention is paid to the concept of enthalpy as an important thermodynamic function, which allows analyzing processes at constant pressure. The article focuses on the practical application of the first law of thermodynamics and enthalpy in chemical reactions, heat exchange processes and engineering calculations. It also considers modern approaches to the study of thermodynamic properties of substances and their application in the development of new technologies, such as alternative energy sources and heat management systems. The importance of a deep understanding of the first law of thermodynamics and enthalpy for the further development of the theory of thermodynamics and its practical application in science and technology is emphasized.

Key words: enthalpy, first law of thermodynamics, internal energy, endothermic reactions, exothermic reactions.

Рассмотрим закон сохранения энергии – одно из фундаментальных законов природы. Он гласит, что суммарная энергия системы остается постоянной, и она переходит из одних форм в другие. Например, теплота может переходить в различные виды энергии и наоборот.

В термодинамике нельзя не сказать о таком понятии, как система. Система – некоторая совокупность тел, заключенных в объем. Системами могут быть разные вещи (колба, реактор, организм человека, планета, отдельная молекула или отдельный атом), это именно то место, где протекает термодинамическая реакция.

Вся энергия, заключенная в некоторой системе, системе тел или в одном теле называется внутренней энергией. Это понятие относится только к системе без относительно того что с системой происходит вокруг.

$$E_{\text{внутренняя}} = U,$$

где $E_{\text{внутренняя}}$ – внутренняя энергия системы;

U – внутренняя энергия.

Зачастую бессмысленно говорить о самом назначении внутренней энергии системы (энергия взаимодействия тел, взаимодействие отдельных молекул друг с другом, взаимодействие атомов в каждой молекуле и т. д), гораздо более удобно говорить об изменении внутренней энергии, так проще описывать протекающие процессы. Была начальная внутренняя энергия, затем прошел какой-то процесс, внутренняя энергия в результате этого процесса изменилась и стала конечной:

$$\Delta U = U_{\text{к}} - U_{\text{н}},$$

где ΔU – изменение внутренней энергии;

$U_{\text{к}}$ – конечное изменение внутренней энергии;

$U_{\text{н}}$ – начальное изменение внутренней энергии.

Первое начало термодинамики – распространение закона сохранения энергии на все ее виды. Изначально формулировался как невозможность создания вечного двигателя первого рода. В химических процессах важно учитывать теплоту, а также работу:

$$\Delta U = Q - A,$$

где ΔU – внутренняя энергия;

Q – теплота, которую поглотила система из окружающего мира;

A – работа, которую совершила система. Система совершила положительную работу, а окружающий мир, наоборот совершил отрицательную работу.

В свою очередь, химические реакции делятся на два типа: экзотермические и эндотермические реакции.

Экзотермические реакции являются реакциями, при которых выделяется тепло. Получается, что наша система из отдельных реагентов, она теряет тепло, отдавая ее окружающей среде, тогда Q берется со знаком минус:

$$A + B = C + D + (Q),$$

где A – внутренняя энергия системы;

B – работа, совершаемая системой или над системой;

C – внутренняя энергия после процесса;

D – работа, совершаемая над системой в процессе;

Q – тепло, передаваемое в систему или из нее, в термодинамике может быть положительным, если тепло поступает в систему, и отрицательным, если тепло уходит из системы.

Эндотермические реакции – реакции, в которых тепло поглощается:

$$A + B = C + D - (Q),$$

A – внутренняя энергия системы до изменения состояния;

B – работа, совершаемая над системой, например, механическая работа, которая выполняется системой при расширении;

C – внутренняя энергия системы после изменения состояния;

D – работа, выполненная системой в результате изменения состояния;

Q – представляет тепло, передаваемое из системы. В этом контексте знак минус указывает на то, что система теряет тепло. Если положительно, это значит, что система теряет тепло, а если отрицательно, то система получает тепло.

В экзотермических реакциях система теряет тепло, а значит, теряет часть энергии, поэтому ставим знак минус. В эндотермических наоборот, система поглощает тепло из окружающей среды, значит, ставим знак плюс.

Работа – действие против внешних сил. Большая часть химических реакций протекает при атмосферном давлении. Исходя из этого, химические реакции делятся на два типа:

1) Расширение – система выделяет газ, который вынужден занимать тот объем, который он занимает при атмосферном давлении. Система вынуждена освободить себе место в окружающем мире, тратя при этом энергию:

$$A + B = C + D_{\text{газ}},$$

где A – внутренняя энергия газа до изменения состояния (например, до термодинамического процесса). Внутренняя энергия зависит от температуры, объема и количества вещества газа;

B – работа, совершенная газом или над газом. Например, если газ расширяется, он выполняет работу над окружающей средой. Если газ сжимается, работа совершается над газом;

C – внутренняя энергия газа после изменения состояния. Она зависит от новых условий, таких как температура и объем после процесса;

$D_{\text{газ}}$ – работа, выполненная газом в результате изменения состояния. Например, если газ расширяется, он выполняет работу.

2) Сжатие – окружающий мир сжимает систему, а значит, A совершает отрицательную работу, увеличивается энергия.

$$A + B_{\text{газ}} = C + D,$$

где A – внутренняя энергия газа до изменения состояния (например, до термодинамического процесса). Внутренняя энергия зависит от температуры, объема и количества вещества газа;

$B_{\text{газ}}$ – работа, совершаемая газом или над газом. Это может быть работа, которую система выполняет при расширении (например, против внешнего давления) или работа, которую мы прикладываем к газу при его сжатии;

C – внутренняя энергия газа после изменения состояния. Она зависит от новых условий, например, от температуры и объема газа после процесса;

D – работа, выполненная газом в результате изменения состояния. Например, если газ расширяется, он выполняет работу против внешнего давления, и эта работа будет равна D .

Энтальпия – это энергия, которая доступна для преобразования в теплоту при постоянном давлении. Энтальпия напрямую связана с изменением давления. Химические реакции, проводимые в открытых системах, сообщены с атмосферой, и давление постоянное, то есть атмосферное:

$$H = U + A,$$

где H – энтальпия системы, представляет собой термодинамическую функцию состояния, которая учитывает, как внутреннюю энергию системы, так и работу, связанную с изменением объема при постоянном давлении. Энтальпия используется для описания тепловых процессов, особенно в химических реакциях и фазовых переходах;

U – внутренняя энергия системы, отражает суммарную кинетическую и потенциальную энергию молекул в системе. Внутренняя энергия зависит от состояния системы, включая температуру, объем и количество вещества;

A – работа, связанная с изменением объема системы.

В контексте термодинамики работа может быть связана с изменением объема системы при постоянном давлении:

$$\Delta H = \Delta Q + V\Delta p \text{ если } p = \text{const то } \Delta p = 0,$$

где ΔH – изменение энтальпии системы;

ΔQ – количество тепла, переданного в систему;

V – объем системы;

Δp – изменение давления в системе, это разница между начальным и конечным давлением.

Поскольку энтальпия зависит от давления и температуры, то для энтальпии образования принимают значения энтальпий образования при стандартных условиях:

$$H = H(p, T)$$

Стандартная энтальпия простых веществ равна нулю при условиях стандартного состояния этих веществ. Например, если водород газообразный, он же при нормальных условиях существует в виде газа, значит, его энтальпия равняется нулю, а вот энтальпия жидкого водорода уже не равна нулю.

Стандартная энтальпия образования веществ есть энтальпия их соединения из простых веществ. Для примера приведем закон Гесса: тепловой эффект химической реакции определяется разностью энергетических состояний продуктов и реагентов и не зависит от пути реакции.

Первый закон термодинамики – фундамент для понимания законов сохранения энергии в термодинамических системах. Это начало не только связывает такие понятия, как работа, тепло и внутренняя энергия, но и служит основой для анализа многих процессов, происходящих в различных областях физики и техники. В статье подчеркивается значимость энтальпии как ключевой термодинамической функции, которая помогает исследовать реакции и процессы, происходящие при постоянном давлении.

Таким образом, глубокое понимание первого начала термодинамики и концепции энтальпии является необходимым условием для дальнейшего развития теории термодинамики и ее применения в науке и инженерии. Эти знания имеют не только теоретическую ценность, но и практическое значение, способствуя развитию инноваций в различных технических сферах.

Список литературы

1. Формализация верификации топологии и электрической схемы для систем автоматизированного проектирования / Т. В. Скворцова, К. В. Зольников, А. М. Плотников, И. В. Скоркин // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 61-70.
2. Система мониторинга и оповещения о проникновении на территорию биосферного заповедника / А. С. Ягодкин, А. В. Ачкасов, Т. В. Скворцова [и др.] // Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry – 2023 : материалы Международного лесного форума, Воронеж, 13 октября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 631-637.
3. Разработка системы предупреждения водителей о возможном появлении животных на автомобильных дорогах / А. С. Ягодкин, Т. В. Скворцова, А. В. Ачкасов [и др.] // Охрана, инновационное восстановление и устойчивое управление лесами. Forestry – 2023 : материалы Международного лесного форума, Воронеж, 13 октября 2023 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2023. – С. 638-643.
4. Цифровое устройство мониторинга и анализа общего состояния дерева "Happytree" / А. С. Ягодкин, Т. В. Скворцова, А. В. Ачкасов, Д. В. Никитин // СПОСОБЫ, МОДЕЛИ и АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ : сборник статей Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции с международным участием, Киров, 22 мая 2023 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2023. – С. 51-55.
5. Компьютерное моделирование работоспособности финишных процедур и паразитных элементов в программно-аппаратном комплексе проектирования микросхем / А. С. Ягодкин, Н. Н. Литвинов, П. С. Иванин, А. С. Грошев // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 106-115.
6. Бантюков, С. М. Создание интеллектуальной системы управления качеством предприятия «Эталон» в авиационной промышленности / С. М. Бантюков // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23. – EDN YHXUPY.

References

1. Formalization of verification of topology and electrical circuit for computer-aided design systems / T. V. Skvortsova, K. V. Zolnikov, A. M. Plotnikov, I. V. Skorkin // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 61-70.
2. Monitoring and warning system for intrusion into the territory of a biosphere reserve / A. S. Yagodkin, A. V. Achkasov, T. V. Skvortsova [et al.] // Protection, innovative restoration and sustainable management of forests. Forestry – 2023: materials of the International Forestry Forum, Voronezh, October 13, 2023. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2023. – P. 631-637.
3. Development of a system for warning drivers about the possible appearance of animals on roads / A. S. Yagodkin, T. V. Skvortsova, A. V. Achkasov [et al.] // Protection, innovative restoration and sustainable management of forests. Forestry – 2023: materials of the International Forestry Forum, Voronezh, October 13, 2023. – Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2023. – P. 638-643.
4. Digital device for monitoring and analyzing the general condition of a tree "Happytree" / A. S. Yagodkin, T. V. Skvortsova, A. V. Achkasov, D. V. Nikitin // METHODS, MODELS and ALGORITHMS FOR MANAGING MODERNIZATION PROCESSES: collection of articles from the National (All-Russian) scientific and practical conference with international participation, Kirov, May 22, 2023. – Ufa: Limited Liability Company "OMEGA SCIENCES", 2023. – P. 51-55.
5. Computer modeling of the performance of finishing procedures and parasitic elements in the hardware and software complex for designing microcircuits / A. S. Yagodkin, N. N. Litvinov, P. S. Ivanin, A. S. Groshev // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 3. – P. 106-115.
6. Bantyukov, S. M. Creation of an intelligent quality management system of the Etalon enterprise in the aviation industry / S. M. Bantyukov // Modeling of systems and processes. – 2024. – Vol. 17, No. 2. – pp. 15-23. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-15-23. – EDN YHXUPY.