

УДК 37.022

DOI: 10.25629/НС.2022.03.08

## МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД УГЛУБЛЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

Половникова Л.Б.

Тюменский индустриальный университет

**Аннотация.** В статье предлагается методическое решение углубленного изучения основополагающих положений термодинамики в рамках пропедевтического курса по физике. Особенность изложения определена изучением физики в рамках довузовской подготовки и призвана решить задачу преемственных связей между ВУЗом и средней школой. Кроме того, предлагаемый подход выступает мотивационным фактором к изучению физических теорий, ведет в дальнейшем к сокращению адаптационного периода при обучении в ВУЗе. Так, например, демонстрация применения основных положений термодинамики в работе тепловых машин и электроустановок формирует интерес к инженерному образованию. В статье представлены цель, методы и результаты педагогического исследования влияния предлагаемого содержания на качество знаний, полноту усвоения концептуальных положений термодинамики. Для исследования достоверности выводов об эффективности предлагаемого содержания использовались эмпирические методы исследования: опросы, диагностирующие контрольные работы, электронное тестирование в системе поддержки учебного процесса Eduson. Для классов физико-математического профиля предполагалось углубленное изучение физики, что приводит к необходимости высокой научности изложения учебного материала, в частности, концептуальных положений термодинамики. Результаты проведенного педагогического эксперимента могут использоваться учителями школ, преподавателями средних профессиональных учреждений при преподавании физики, а также преподавателями ВУЗа при реализации профориентационных проектов.

**Ключевые слова:** физика, профессиональная подготовка инженера, преемственность, энтропия, энергия, законы термодинамики.

### Введение в проблему

С целью повышения интереса и популярности инженерных профессий, а также ориентирясь на современные запросы рынка труда, Тюменский индустриальный университет реализует комплекс профессионально ориентационных проектов: Школа абитуриента; Профильные и Индустриальные классы.

Задачи, реализуемые в ходе проектов: улучшение результатов ЕГЭ и привлечение молодежи из других регионов Тюменской области в Тюменский индустриальный университет (ТИУ), тем самым сохранение кадрового потенциала, а также создание системы целенаправленной довузовской подготовки обучающихся для сокращения адаптационного периода при переходе от средней школы в ВУЗ. Заключение договора с Центром выявления и поддержки одаренных детей в Ямало-Ненецком автономном округе стало крупным профессионально ориентационным образовательным проектом за пределами Тюмени. К проведению занятий по предметам математика, физика для обучающихся 10-11 классов в городе Когалым были привлечены преподаватели филиала ТИУ в г. Тобольске [14, 15]. Занятия проходили с применением дистанционного обучения, представленного компонентами развитой онлайн-инфраструктуры ТИУ. Это система поддержки учебного процесса Eduson 2.0 с сочетанием таких средств, как Zoom и электронная почта. Заметим, что система Eduson 2.0 позволяет реализо-

вать современные требования к электронной информационной образовательной среде. Она информационно безопасна, а также совместима с другими системами и применима на мобильных устройствах, имеет целый ряд преимуществ в плане интерфейса [1, 2, 7].

В соответствии с программой курса физики при работе со старшеклассниками основная цель – показать значение физики для инженерного образования, ее мировоззренческое назначение как составляющей формирования научного мышления будущего инженера

### **Цель исследования**

Оценка эффективности предлагаемого углубленного изложения концептуальных положений термодинамики для обучающихся классов физико-математического профиля [3, 5, 8].

### **Материал и методы исследования**

В педагогическом исследовании исследовалось влияние предлагаемого содержания на качество знаний, полноту усвоения концептуальных положений термодинамики.

Для исследования достоверности выводов об эффективности предлагаемого содержания использовались эмпирические методы исследования: опросы, диагностирующие контрольные работы, электронное тестирование.

Для классов физико-математического профиля предполагалось углубленное изучение физики, что приводит к необходимости высокой научности изложения учебного материала [12,13]. Остановимся на основных методических подходах углубленного изучения концептуальных положений термодинамики.

Изложение учебного материала для достижения высокой научности невозможно без учета специфической методологии феноменологического и статистического метода познания природы и углубления основных понятий термодинамики.

При статистическом методе познания природы рабочее тело (газ) принимается как общность микрочастиц, а их характеристики, такие как энергия или скорость описываются с применением законов математической статистики. При методологии феноменологического метода рабочее тело оценивают по взаимодействию с внешними сигналами без его учета строения. Феноменологический подход используется в технической термодинамике это и обусловило её применения в инженерной практике [9].

Термодинамика является фундаментальной физической теорией и имеет в составе теоретического ядра четыре закона термодинамики, именуемые нулевым, первым, вторым и третьим началами.

Отметим особенность законов термодинамики в их эмпирическом характере, например, в основе первого закона лежат опыты определения механического аналога теплоты – опыты Джоуля, опыты определения при постоянных объемах и давлении теплового эффекта химических реакций – опыты Гесса (1836г.). Первый закон или первое начало термодинамики позволяет решить важные методические задачи: 1) показать содержательное различие между понятиями *функции состояния* и *функции процесса* 2) показать различие между двумя способами изменения энергии.

Особенность первого начала в том, что он вводит в структуру термодинамики внутреннюю энергию  $U$ . При определении этого понятия следует особо подчеркнуть, что её величина не зависит от предыстории термодинамической системы, а определяется параметрами состояния системы в данный момент времени и поэтому является функцией состояния системы.

Следовательно, ее изменение, а задается

Итак, изменение внутренней энергии :  $\Delta U = U_1 - U_2$  задается значениями энергии в начальном и конечном состоянии системы не зависит от вида термодинамического процесса. В основе работы и не всех тепловых машин лежат замкнутые круговые процессы которые определяются условием:  $\Delta U = 0$ .

*Теплота и работа – два способа изменения внутренней энергии, но они неэквивалентны.* Например, затраченная механическая работа может пойти на увеличение любого вида энергии, например, при трении механическая работа легко превращается в теплоту.

Если теплоту предварительно не превращать в работу, то она идет только на нарастание внутренней энергии термодинамической системы. При этом превращение теплоты в механическую работу связано с энергетическими затратами и определёнными трудностями. Теплота и работа характеризуют термодинамический процесс, поэтому их считают функциями процесса и не являются функциями состояния системы, так как зависят вида термодинамического процесса.

Решение проблемы эффективного превращения теплоты в работу привело к открытию трех начал термодинамики. Первый закон термодинамики – математическое описание закона сохранения и превращения энергии применительно к тепловым процессам:  $\Delta U = Q - A$  или  $Q = \Delta U + A$ .

В технических устройствах процесс превращения теплоты в работу происходит так, что рабочее тело совершает замкнутый термодинамический процесс и возвращается в исходное состояние. Следовательно  $\Delta U = 0$ , а значит в этом случае первый закон термодинамики трансформируется к виду:  $A = Q$ . Итак, периодически действующая тепловая машина может совершать полезную механическую работу только за счет подводимого к ней количества теплоты.

С дальнейшим изучением проблемы превращения теплоты в работу с помощью действующих тепловых машин связано открытие второго фундаментального закона термодинамики [10].

В первом фундаментальном законе термодинамики нет четкого указания о направлении теплообмена. Как передается энергия? Важно условие: чтобы  $Q_1 = Q_2$ , где  $Q_1$  – отданное количество теплоты одним телом и  $Q_2$  – принятое количество теплоты другим телом. Эмпирически доказана односторонняя направленность теплообмена к телам с более низкой температурой и прекращение теплообмена при равенстве температур теплообменивающихся сред. Но при определенных условиях возможен обратный переход передачи тепла от менее нагретых к более нагретым. Для такого перехода потребуется подвод энергии извне, как бы для компенсации протекания процесса. Примером таких противоестественных процессов может быть процессы в холодильных установках.

Эта особенность теплоты зафиксирована во втором законе термодинамики: *теплота не может сама собой переходить от менее нагретого тела к более нагретому, т. е. некомпенсированный переход теплоты от тела с меньшей температурой невозможен самопроизвольно.*

Первый и второй законы термодинамики выведены на основе эмпирических фактов и таким образом показывают возможности осуществления естественных процессов.

Опыт показывает, что превращение теплоты в полезную работу в тепловых двигателях может происходить только при переходе теплоты от нагретого тела к холодному, то есть при наличии разности температур между теплоотдатчиком (нагревателем) и теплоприемником (холодильником). При этом вся теплота не может быть превращена в работу.

Устройство, которое без компенсации полностью превращало бы в работу теплоту какого-либо источника, называется вечным двигателем второго рода.

Таким образом, второй закон термодинамики утверждает, что создание вечного двигателя второго рода невозможно.

Открытие второго закона термодинамики связано с анализом работы тепловых машин. Впервые сущность этого закона изложил в 1824 г. французский инженер С. Карно в работе «Размышление о движущей силе огня и машин, способных развивать эти силы». С. Карно впервые указал на возможность превращения теплоты в полезную работу в двигателях лишь при наличии двух источников теплоты: одного с более высокой температурой (нагреватель с температурой  $T_1$ ) и другого с меньшей температурой (холодильник с температурой  $T_2$ ).

Позднее Р. Клаузиус и В. Томсон (Кельвин) дали наиболее общие формулировки второго закона термодинамики, из которых следует, что:

1. *Невозможен процесс, при котором теплота переходила бы самопроизвольно от холодных тел к телам нагретым.*

2. *Не вся теплота, полученная от теплоотдатчика, может перейти в работу, а только часть ее. Часть теплоты должна перейти в теплоприемник.*

Как показал С. Карно, максимальный КПД идеальной машины не зависит от рода рабочего тела и полностью определяется:  $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ . Так как  $T_2 < T_1$ , то КПД также меньше единицы. Если в качестве холодильника использовать тело имеющее температуру  $T_2 = 0$ , то КПД идеальной машины Карно будет равен  $\eta = 1$ . Однако это запрещает третье начало термодинамики – тепловая теорема Нернста, из которой следует недостижимость абсолютного нуля температуры.

На основе анализа круговых процессов в 1865 г. Клаузиусом был введен параметр состояния - энтропия S. Его относят калрическим параметрам. Изменение энтропии определяется соотношением:  $\Delta S = Q/T$ . Если  $\Delta S > 0$ , то это показатель самопроизвольности протекания процесса в теплоизолированной системе, если  $\Delta S = 0$  – это критерий равновесия.

Как функция состояния – энтропия выступает мерой беспорядка системы в статистической термодинамике. Чем больше беспорядок, тем больше энтропия.

Статистический смысл энтропии можно рассмотреть на следующем примере. Имеется сосуд, разделенный перегородкой, в одной части газ, а в другой вакуум. Если убрать перегородку, то газ займет весь сосуд. И такой процесс расширения газа в пустоту необратим, поскольку не удастся установить состояние, при котором все молекулы газа соберутся вновь в половине сосуда.

Поведение такого большого числа молекул можно охарактеризовать статистическими закономерностями. Можно сделать предположение: газ при расширении в пустоту переходит из менее вероятного в более вероятное состояние.

Пусть газ содержит 4 молекулы и находится в сосуде n=4. Их можно распределить между двумя половинами сосуда 16 способами:  $2^n = 2^4$ . В этом случае состояние, при которой допустим, в правой половине сосуда соберутся все 4 молекулы, реализуется только одним способом. (рис. 1, цифрами пронумерованы молекулы газа)

	12
	34

Рисунок 1 – Распределение 4 молекул

Состояние, при котором в каждой части сосуда находится по две молекулы – распределены поровну реализуется шестью способами (рис.2).

1	3	1	2	1	2	2	1	2	1	3	1
2	4	3	4	4	3	3	4	4	3	4	2

Рисунок 2 – Распределение по 2 молекулы

Число способов W которыми реализуется данное состояние газа называют термодинамической вероятностью.

На приведенном примере мы показали, что при самопроизвольном расширении газа в пустоту он переходит в более вероятное состояние, поскольку термодинамическая вероятность возрастает в 6 раз.

Людвик Больцман показал, что энтропия системы пропорциональна термодинамической вероятности:  $S = k * \ln W$ . Можно сказать, что самопроизвольное расширение идет в направлении роста энтропии. Вероятность обратного перехода самопроизвольно невозможен, тогда энтропия должна уменьшаться.

Связь энтропии с вероятностью состояния приводит к невозможности вечного двигателя второго рода. Как можно это пояснить обучающимся?

Например, с одинаковой частотой возникают события, при которых газ находится в одной половине рабочего цилиндра и распределен по всему объему. В тот момент, когда газ находится в левой половине рабочего цилиндра, пододвинем к нему плотно поршень, для этого не нужно затрачивать механической работы. Приведем газ в тепловой контакт с нагревателем. Получив количество теплоты  $Q_1$  газ расширяется и совершает работу  $A$ . После расширения газа и совершения над ним работы снова наступит момент, когда он сосредоточится в левой половине цилиндра. Если вновь пододвинуть к нему поршень и повторить процесс нагревания мы получим периодически действующую тепловую машину, которая совершает полезную работу  $A$  только за счет теплоты  $Q_1$  нагревателя и без всякой компенсации  $Q_2 = 0$ . Однако реально такой двигатель осуществить нельзя, так как реальные самопроизвольные процессы всегда идут в направлении роста энтропии и периодическое сосредоточение газа в одной половине рабочего цилиндра маловероятно при огромном числе молекул.

В углубленном курсе с учащимися обсуждали проблемы: закон возрастания энтропии и возникновения живой природы из неживой, энтропия и поддержание жизненного процесса организма, «тепловая смерть вселенной» и другие [10].

### **Результаты исследования и их обсуждение**

В педагогическом исследовании рассматривалось влияние предлагаемого углубленного изложения концептуальных положений термодинамики на качество знаний, полноту усвоения содержания.

Для эксперимента использовались эмпирические методы: опросы, диагностирующие контрольные работы, электронное тестирование. Тестовые задания и контрольные работы имели уровневый характер.

Результаты исследования были рассмотрены на IV Международной научно-практической конференции «Инновации. Интеллект. Культура».

В исследовании приняли участие 50 учащихся индустриальных классов. Выполненные ими контрольные работы имеют 80% качества выполнения. Тестовые задания включали кейс-задания творческого содержания, а также использовались задания, предлагаемые первокурсникам ВУЗа. Большая часть обучающихся справились с тестовыми заданиями успешно – 75 % качественный показатель. Отметим, что большая часть обучающихся индустриальных классов имеет высокие баллы ЕГЭ по физике и математике.

### **Выводы**

Таким образом, мы установили, что предлагаемое углубленное изучение физики в рамках довузовской подготовки решает задачу преемственных связей между ВУЗом и средней школой, выступает мотивационным фактором к изучению физических теорий, ведет в дальнейшем к сокращению адаптационного периода при обучении в ВУЗе. В частности, демонстрация применения основных положений термодинамики в работе тепловых машин и электроустановок [11] формирует интерес к инженерному образованию. Для исследования достоверности выводов об эффективности предлагаемого содержания использовались эмпирические методы исследования: опросы, диагностирующие контрольные работы, электронное тестирование в си-

стеме поддержки учебного процесса Eduson 2.0. Для классов физико-математического профиля предполагалось углубленное изучение физики, что приводит к необходимости высокой научности изложения учебного материала, в частности, концептуальных положений термодинамики. Результаты проведенного педагогического эксперимента могут использоваться учителями школ, преподавателями средних профессиональных учреждений при преподавании физики, а также преподавателями ВУЗа при реализации профориентационных проектов.

### Библиография

1. Скоромная, Н.Н. Использование среды дистанционного обучения MOODLE как средство организации самостоятельной работы студентов // Международное сотрудничество в образовании: сборник материалов Пятой международной научно-практической конференции. 2019. С. 267–274.
2. Сергушина Е. С. Довузовская подготовка старшеклассников как элемент системы непрерывного образования и вектор выбора будущей профессии // Социальные трансформации в контексте пространственного развития России. Материалы Второго Крымского социологического форума. Отв. ред. О. Г. Волков, В. В. Узунов, В. А. Чигрин. 2020. С. 464-469.
3. Грязнов, С.А. Организация профориентационной работы в вузе / С.А. Грязнов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. –2021. –№ 10-2 (61). –С. 64-66.
4. Зайцева, С.А. Организация профориентационной работы вуза со школьниками / С.А. Зайцева, В.С. Киселев // Современные проблемы науки и образования. –2019. –№ 3. –С. 10
5. Землянухина, С.Г. Результативность профориентационной работы в вузе / С.Г. Землянухина // Профессиональная ориентация. –2019. –№ 1. С. –11-17
6. Федеральный закон от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» Ст. 16. URL: <http://zakon-ob-obrazovanii.ru/16.html> (дата обращения: 24.02.2020).
7. Клещева Н.А., Исаев Д.А., Плотников В.С., Шилова Е.С. Информационно-образовательная среда предметной подготовки по физике: монография. Владивосток: ДВФУ, 2016. 103 с.
8. Половникова, Л.Б. Организация проектной и исследовательской деятельности обучающихся в условиях сетевого взаимодействия «ШКОЛА – ВУЗ – ПРОИЗВОДСТВО» // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 12–4. С. 723–727.
9. Половникова, Л.Б. Техническая термодинамика и теплотехника. Электронный учебник. Тюмень: ТюмГНГУ, 2018.
10. Ерофеев, В. Л. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена: учебник для бакалавриата и магистратуры / отв. ред. В. Л. Ерофеева. М.: Издательство Юрайт, 2018. 308 с.
11. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика. Основное оборудование: учебник для академического бакалавриата / 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2019. 416 с.
12. Daugulis P., Shapkova A. Research of mathematical reaction time of schoolchildren for improving mathematical education. 11th International Conference Teaching Mathematics: Retrospective and Perspectives. Daugavpils. 2010.
13. Haylock D. Recognising mathematical creativity in schoolchildren. ZDM29.3 (1997): 68-74.26.Leikin R. O. Z. A. Developing mathematical talent in schoolchildren: Who, what, and how. The psychology of high performance: Developing human potential into domain-specific talent (2019): 173-192.
14. Rustamov K. S. Methodology for using software in the process of teaching mathematics in general education schools. Academy1 (64) (2021): 83-85.
15. Salihu L., Räsänen P. Mathematics Skills of Kosovar Primary School Children: A Special View on Children with Mathematical Learning Difficulties. International electronic journal of elementary education10.4 (2018): 421-430.

## METHODOLOGICAL APPROACH TO IN-DEPTH STUDY OF THE CONCEPTUAL POSITIONS OF THERMODYNAMICS

**Polovnikova L.B.**

Tyumen Industrial University

**Abstract.** The article proposes a methodological solution for an in-depth study of the fundamental provisions of thermodynamics in the framework of a propaedeutic course in physics. The peculiarity of the presentation is determined by the study of physics in the framework of pre-university training and is designed to solve the problem of successive links between the university and the secondary school. In addition, the proposed approach acts as a motivating factor for the study of physical theories, leading in the future to a reduction in the adaptation period when studying at a university or example, the demonstration of the application of the basic principles of thermodynamics in the operation of heat engines and electrical installations generates interest in engineering education. The article presents the goal, methods and results of a pedagogical study of the influence of the proposed content on the quality of knowledge, the completeness of mastering the conceptual provisions of thermodynamics. To study the reliability of the conclusions about the effectiveness of the proposed content, empirical research methods were used: surveys that diagnose test papers, electronic testing in the Educon educational process support system. For the classes of the physical and mathematical profile, an in-depth study of physics was assumed, which leads to the need for a high scientific presentation of educational material, in particular, the conceptual provisions of thermodynamics. The results of the pedagogical experiment can be used by school teachers, teachers of secondary vocational institutions in teaching physics, as well as university teachers in the implementation of career guidance projects.

**Key words:** physics, professional training of an engineer, continuity, entropy, energy, laws of thermodynamics.