

(в случае стационарного течения работа проталкивания внешних сил давления преобразуется к виду  $\delta W'_{\text{прот}} = -d(pv)$ , а внутренних сил давления –  $\delta W_{\text{прот}} = d(pv)$ ).

3 Третий метод (метод открытой термодинамической системы или конечного элемента потока) позволяет просто определить работу сил давления (проталкивания) в виде выражения

$$\delta W'_{\text{дв}} = p_1 v_1 \delta m_1 - p_2 v_2 \delta m_2.$$

Однако только первый и второй методы позволяют понять смысл так называемой располагаемой работы  $-v d\varphi$  и работы проталкивания  $d(pv)$ .

4 Конечные уравнения первого закона термодинамики, получаемые во всех трёх методах, в случае стационарного течения имеют одинаковый вид, а в случае нестационарного течения имеют различный вид для подвижного элемента среды и открытой термодинамической системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Новиков, И. И. Термодинамика : Учеб. для вузов. – М. : Машиностроение, 1984. – 592 с. : ил.
- 2 Арнольд, Л. В. и др. Техническая термодинамика и теплопередача : Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М. : Высш. шк. 1979. – 446 с. : ил.
- 3 Кириллин, В. А. и др. Техническая термодинамика : Учеб. для вузов. – 2-е изд. – М. : Энергия, 1974. – 448 с. : ил.
- 4 Кушнырёв, В. И. и др. Техническая термодинамика и теплопередача : Учеб. для вузов. – М. : Стройиздат, 1986. – 464 с. : ил.
- 5 Техническая термодинамика : Учеб. для вузов / Под ред. В. И. Крутова – 2-е изд. – М. : Высшая школа, 1981. – 439 с. : ил.
- 6 Рындин, В. В. Вывод уравнения первого закона термодинамики для нестационарного потока // Ред. ж. «Изв. вузов. Энерг.». Минск : – 1989. – 11 с., ил. Библиогр. 3 назв. (деп. № 5438-В89 от 14. 02. 89 г.).
- 7 Рындин, В. В. Понятие работы  $-v d\varphi$  в термодинамике // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. – № 10. – С. 64–68.
- 8 Рындин, В. В. Интегрирование уравнений движения вязкой сжимаемой жидкости (Навье-Стокса) вдоль траектории и линии тока // Ред жур. «Изв. вузов. Энерг.», Минск. – 1986. – деп. № 8547-В –10 с.
- 9 Рындин, В. В. К вопросу определения затрат энергии на преодоление гидродинамических сопротивлений при нестационарном течении // Машиностроение (Изв. высш. учеб. заведений). – 1987. – № 1. – С. 46–51.

Павлодарский государственный университет  
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.  
Материал поступил в редакцию 26.02.14.

*В. В. Рындин*

**Термодинамикадағы ағыс үшін энергия теңдеулерін қорытындының әдістері**

С. Торайгыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.  
Материал 26.02.14 редакцияға түсті.

*V. V. Ryndin*

**Methods of deducing equations of energy for a stream in thermodynamics**

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.  
Material received on 26.02.14.

*Термодинамика бойынша оқу курстарында ағысқа арналған энергия теңдеулерін қорытындылау әдістерін критикалық талдау берілген. Ағыс кезінде анықталмаған «механикалық түрдегі ағысқа арналған энергия» және «ағысқа арналған термодинамиканың бірінші заңы» деп қарастырылған.*

*The critical analysis of methods of deducing equations of energy for a stream in educational courses of thermodynamics is given. The new methods of deducing so-called equations of "energies for a stream in a mechanical aspect" and "of the first law of thermodynamics for a stream" in case of unsteady flow are offered.*

УДК 536:53

**В. В. Рындин**

**К ВОПРОСУ О ПЕРЕИМЕНОВАНИИ  
ТЕРМОДИНАМИКИ И СЛИЯНИИ ЕЁ  
С НЕОБРАТИМОЙ ТЕРМОДИНАМИКОЙ**

*Рассматриваются вопросы, связанные с формулировками предмета термодинамики и методами её изложения, использованием координат и времени в уравнениях термодинамики, делением*

*термодинамики на части и её переименованием, слиянием классической термодинамики и термодинамики необратимых процессов.*

**Введение.** Термодинамика, как известно, является наукой общезначимого содержания, теоретической основой многих специальных курсов. Как справедливо отмечал П. Эткинс: «Ни один из разделов физики не способствовал в такой мере возвышению человеческого духа, как термодинамика» [1]. Как и всякая наука, термодинамика непрерывно развивается и совершенствуется. При этом изменяются не только содержание и структура термодинамики, но и уточняется определение самого предмета термодинамики. Перспективам развития термодинамики и посвящена данная статья.

**О предмете термодинамики.** В курсах термодинамики и физики даются следующие формулировки предмета термодинамики.

“Термин “термодинамика” впервые появился в статье В. Томсона в 1854 г. Томсон писал “термо-динамика”, в переводе означает “теплота – работа” (от греч. слов терме – теплота и динамис – сила, работа)” [2].

“Сложившееся название “термодинамика” употребляется вне связи с понятием динамики и определяет не учение о движении теплоты, а науку о “движущих силах”, возникающих при тепловых процессах... Здесь под “движущей силой” понимается полезное действие (работа), которое двигатель может дать за счет теплоты” [3].

“Термодинамика – это наука о свойствах энергии в различных её видах, а также о закономерностях перехода энергии от одних тел к другим и из одного вида в другой” [4].

Энергия (как физическая величина) является наиболее универсальной количественной характеристикой (мерой) движения в различных его формах (хаотической и упорядоченной). Однако поскольку эта величина скалярная, то она не определяет направление движения и, следовательно, отражает не все свойства движения (их учитывают другие величины, например, импульс).

Поскольку термин “энергия” обладает категориальной многозначностью: он означает одновременно и объективную реальность – само движение и предмет из мира идей – физическую величину, то его нецелесообразно использовать в качестве ключевого при определении предмета термодинамики, поскольку такое определение двусмысленно или в лучшем случае индифферентно.

Очень непросто однозначно и исчерпывающе определить границы конкретной науки и строго выделить её среди смежных наук. Очевидно, в определениях необходимо использовать наиболее общие категории, наименования которых не совпадают с наименованиями каких-либо

физических величин. Одним из таких наиболее общих философских понятий является “движение”, которое никак не спутаешь с физической величиной. Если в определениях термодинамики заменить многозначные термины “энергия”, “теплота”, “работа” на однозначные соответственно – “движение”, “хаотическое движение”, “упорядоченное движение”, а также учесть то обстоятельство, что термодинамика изучает не только процессы, но и свойства тел, то формулировка термодинамики как науки будет следующей:

*термодинамика* (от греч. терме – тепло, хаотическое движение и динамис – работа, упорядоченное движение) – наука о законах взаимопреобразования хаотического (тепла) и упорядоченного (работы) видов (форм) движения и о макроскопических свойствах тел, обусловленных хаотическим (тепловым) движением всех микрочастиц системы.

Если использовать общепринятые многозначные термины, то определение термодинамики получается более компактным: *термодинамика* – наука о законах взаимопреобразования тепла и работы и о свойствах тел, обусловленных тепловым движением микрочастиц этих тел, но требующим дополнительных пояснений относительно тепла и работы.

**О делении термодинамики на части и её переименовании.** Термодинамику по аналогии с гидромеханикой иногда делят на подразделы: термостатику, термокинетику и собственно термодинамику [5]. На наш взгляд, аналогия будет более полной, если термодинамику сравнивать не с гидромеханикой<sup>2</sup>, а с гидродинамикой, входящей, наряду с гидростатикой и кинематикой жидкости, в состав гидромеханики. В таком случае термодинамика будет входить в состав более общей науки, которую можно было бы назвать “термомеханика”. Исходя из понятия “формы, виды движения” можно дать такие определения термомеханики и её частей:

Термомеханика – наука о законах теплового движения, его переноса (распространения) в пространстве и преобразовании в другие виды движения.

Термостатика – раздел термомеханики, в котором изучаются свойства тел, обусловленные хаотической формой движения (здесь рассматриваются параметры состояния, уравнения состояния, внутренняя энергия, теплоемкости и др.).

Термокинетика – раздел термомеханики, в котором изучаются законы переноса (распространения) хаотического движения (тепла) в пространстве (рассматриваются явления теплопроводности и термодиффузии).

Термодинамика – раздел термомеханики, в котором изучаются законы преобразования различных форм движения, включая и тепловую (рассматриваются основные законы классической термодинамики,

<sup>2</sup> Иногда равновесную термодинамику, изучающую системы в равновесном состоянии, предлагают называть термостатикой: по аналогии с гидростатикой, изучающей жидкости, находящиеся в покое, равновесии. Трайбус М. под термостатикой понимает всю термодинамику, где рассматриваются равновесные процессы, не зависящие в явном виде от времени [6]. Поскольку любые процессы протекают во времени, то происходит изменение состояния систем – преобразование (динамика) теплового движения (тепла) в упорядоченное движение (работу), следовательно, переименование термодинамики в термостатику, где ничего не изменяется, не имеет оснований.

включающие такие понятия, как “теплота”, “работа”, “энергия”, “циклы” и др.).

Такое деление общей науки термомеханики на части весьма заманчиво, хотя трудности с распределением материала по разделам велики, т.к. одни и те же понятия могут относиться к разным разделам. Возможно, что со временем произойдёт слияние традиционной термодинамики с термокинетикой, и термин “термомеханика”, как более общий, придет на смену термину “термодинамика” (подобно тому, как на смену термину “гидродинамика” пришел термин “гидромеханика”).

**Методы изложения термодинамики.** В отличие от молекулярной физики, рассматривающей наряду с макроскопическими свойствами и строение отдельных молекул, термодинамика не вводит никаких специальных гипотез и конкретных представлений о строении вещества, т.е. она рассматривает внешние стороны явлений (феноменов). И в этом смысле термодинамика – наука феноменологическая: она рассматривает вещество как сплошную среду и использует для его исследования такие макропараметры, как давление, удельный объем, температура, определяемые путем прямого измерения.

Термодинамика имеет свои преимущества и недостатки перед молекулярной теорией. Преимущество её в том, что она не вводит никаких гипотез, касающихся строения вещества, и поэтому имеет большую общность, а её положения так же достоверны, как и законы, на которых она основана. К недостаткам термодинамики следует отнести отсутствие наглядности и невозможность объяснить с её помощью причину происходящих процессов. Ответ на вопрос о причине происходящих явлений даёт молекулярно-кинетическая теория.

В XX веке молекулярно-кинетическая теория утратила гипотетический характер. Поэтому отпала необходимость в том резком разграничении между термодинамикой и молекулярной теорией, которое так строго проводилось (а некоторыми авторами учебников проводится и сейчас) на ранней стадии развития этих разделов физики.

Любая чисто эмпирическая наука (в том числе и термодинамика) ограничена в своих возможностях и в своём развитии без привлечения молекулярных представлений о строении вещества. В частности, обоснование всех законов и понятий термодинамики было достигнуто на основе молекулярной теории. Последняя, кроме того, значительно расширила круг явлений, рассматриваемых термодинамикой, и вооружила термодинамику многими методами исследования.

**Об использовании координат и времени в уравнениях термодинамики.** Несмотря на то, что все процессы протекают в пространстве и во времени, т.е. любой параметр состояния можно задать в функции от

координат и времени, например, давление  $p = f(x, y, z, t)$ , а его полный дифференциал как сумму частных приращений по координатам и времени, например, полное приращение давления

$$dp = \frac{\partial p}{\partial t} dt + \left( \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = \partial p_{\text{лок}} + \partial p_{\text{конв}}, \quad (1)$$

термодинамике, в отличие от гидромеханики и теории теплообмена, “удаётся” обойтись без использования координат и времени в соответствующих уравнениях. Это связано с тем, что в термодинамике рассматриваются такие процессы, в которых частные приращения величин по координатам или по времени равны нулю. В результате те частные приращения, которые не равняются нулю, становятся полными приращениями и отпадает необходимость вводить приращения величин по координатам или по времени в явном виде.

Например, в термодинамике рассматриваются установившиеся (стационарные) течения газа, для которых частные приращения величин по времени (локальные приращения) равны нулю, например, давления  $\frac{\partial p}{\partial t} dt = 0$ . В этом случае в соответствующих дифференциальных уравнениях движения элемента среды частные приращения величин по координатам (конвективные приращения) становятся равными полным приращениям соответствующих величин и заменяются последними. Например, при стационарном течении сумма частных приращений давления по координатам, появляющаяся при выводе уравнения энергии для подвижного элемента среды в механическом виде, заменяется полным приращением давления  $\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz = dp$ .

Таким образом, классическая термодинамика не рассматривает нестационарные (неустановившиеся) потоки, которые имеют место на практике в периодически работающих устройствах (в поршневых двигателях внутреннего сгорания, поршневых компрессорах и др.) и тем самым ограничивает область своего применения. Кроме того, даже при рассмотрении установившихся потоков термодинамика не в состоянии получить уравнение энергии в механическом виде (уравнение Бернулли), а берет его в готовом виде из гидромеханики, где для его вывода используются зависимости давления от координат. И как результат, в рамках классической термодинамики не удается правильно установить смысл работы ( $-v dp$ ) и её связь с работами  $pdv$  и  $d(pv)$ .

Рассматривая полное приращение давления (1) как сумму локального и конвективного приращений, в работе [7] получено уравнение первого закона термодинамики для нестационарного потока в виде

$$\delta Q^e = g dz + dI + dc^2/2 + \delta W_{\text{pot}} - v \frac{\partial \varphi}{\partial t} dt,$$

а в работе [8] решён дискуссионный вопрос, связанный с работой  $(-v dp)$ , которая в случае стационарного потока приобрела смысл работы результирующей сил давления по перемещению элемента среды как целого

$$-v dp = -v \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} dx + \frac{\partial \varphi}{\partial y} dy + \frac{\partial \varphi}{\partial z} dz \right).$$

Следовательно, введение координат и времени в курс термодинамики является необходимым условием её развития, даже в рамках классической (равновесной) термодинамики.

**О взаимоотношении классической термодинамики и термодинамики необратимых процессов.** Термодинамика необратимых (неравновесных) процессов зародилась в 30-х годах прошлого столетия и успешно развивается параллельно классической термодинамике. Само название этой дисциплины должно было показать её отличие от классической (равновесной, обратимой) термодинамики. Однако такое наименование новой дисциплины оказалось неудачным, т.к. и в обычной термодинамике рассматриваются как необратимые процессы, например, течение с трением, так и неравновесные процессы, например, при рассмотрении потоков среды или второго закона термодинамики; в свою очередь, неравновесная термодинамика основывается на локальной равновесности. В соответствии с концепцией неравновесности, положенной в основу второго закона термодинамики, термодинамику неравновесных (необратимых) процессов следовало бы назвать термодинамикой неравновесных систем – систем, состоящих из совокупности локально равновесных подсистем (рабочего тела, жидкой окружающей среды, источников (приёмников) тепла и работы) [9].

Часто различие этих дисциплин видят в отсутствии в уравнениях классической термодинамики координат и времени в явном виде. Это даёт основание считать, что классическая термодинамика никогда не рассматривает неравновесные системы. Однако термодинамика изучает потоки вещества, которые могут возникать только в неравновесных системах, а отсутствие в соответствующих уравнениях координат и времени в явном виде, как уже отмечалось, обусловлено специфичностью самих рассматриваемых процессов – их стационарностью. Включение в поле зрения термодинамики вопросов, связанных с нестационарным течением среды, неизбежно приведет к необходимости выражения параметров состояния через координаты и время в явном виде.

Главное отличие термодинамики необратимых процессов от классической термодинамики заключается в том, что составляет основу

термокинетики, – в наличии дополнительных опытных законов и уравнений, описывающих процессы переноса (распространения) вещества и движения в пространстве (например, законов Фурье для теплопроводности, Фика для диффузии, принципов линейности и взаимности Онзагера, уравнений теплопроводности и др.).

В существующем виде термодинамика необратимых процессов весьма абстрактная дисциплина (она имеет громоздкий и трудно усваиваемый логический и сложный математический аппараты), которая перегружена деталями и ещё не отработана в методическом плане, что затрудняет её изучение и применение на практике. Существует обширная литература по термодинамике необратимых процессов, но она малопривлекательна для первоначального ознакомления широкого круга читателей (особенно практиков). Включение вопросов переноса вещества (массы) и движения (энергии) в термодинамику (термомеханику) позволит отработать эти разделы в методическом плане и приблизить достижения неравновесной термодинамики к их применению на практике. В дальнейшем следует ожидать сближение (и даже слияние) термодинамики необратимых процессов – авангарда термодинамики – с классической термодинамикой за счёт развития математического аппарата последней и введения дополнительных законов переноса вещества и движения.

#### Выводы:

1 Поскольку термин «энергия» является многозначным, то при определении предмета термодинамики его следует заменить однозначным термином «движение».

2 По аналогии с гидромеханикой, включающей в свой состав гидростатику, кинематику и гидродинамику, термодинамику, наряду термостатикой и термокинетикой, следует включить в состав более общей науки – термомеханики.

3 Термодинамику неравновесных (необратимых) процессов следует назвать термодинамикой неравновесных систем.

4 Введение координат и времени в классическую термодинамику является необходимым условием её развития и сближения с термодинамикой неравновесных систем.

5 Включение вопросов переноса вещества (массы) и движения (энергии) в термодинамику (термомеханику) позволит отработать эти разделы в методическом плане и приблизить достижения неравновесной термодинамики к их применению на практике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Эткинс, П.** Порядок и беспорядок в природе // Пер. с англ. / Предисл. Ю. Г. Рудого. – М. : Мир, 1987. – 224 с. : ил.
- 2 **Кричевский, И. Р.** Понятия и основы термодинамики. – М. : Химия, 1970. – 440 с. : ил.
- 3 **Базаров, И. П.** Термодинамика : Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1991. – 376 с. : ил.
- 4 **Мурзаков, В. В.** Основы технической термодинамики : Учеб. пособие для заоч. вузов. – М. : Энергия, 1973. – 304 с. : ил.
- 5 **Вейник, А. И.** Термодинамика : Учеб. для вузов. – Минск: Высшая школа, 1965. – 402 с.: ил.
- 6 **Трайбус, М.** Термостатика и термодинамика // Пер. с англ. – М. : Энергия, – 1970. – 505. : ил.
- 7 **Рындин, В. В.** Вывод уравнения первого закона термодинамики для нестационарного потока // Ред. ж. “Изв. вузов. Энерг.”. Минск : – 1989. – 11 с., ил. Библиогр. 3 назв. (деп. № 5438-В89 от 14. 02. 89 г.).
- 8 **Рындин, В. В.** Понятие работы –  $\nu$  др в термодинамике // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. – № 10. – С. 64–68.
- 9 **Рындин, В. В.** Второе начало термодинамики и его развитие // Монография. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2002. – 448 с. : ил.

Павлодарский государственный университет  
имени С. Торайгырова, г. Павлодар.  
Материал поступил в редакцию 26.02.14.

*V. V. Ryndin*

**Қайтымсыз термодинамикамен бірігуіне оның және термодинамиканың атын өзгерту туралы мәселе**

С. Торайгыров атындағы  
Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.  
Материал 26.02.14 редакцияға түсті.

*V. V. Ryndin*

**To a question of renaming of thermodynamics and its confluence with nonreversible thermodynamics**

S. Toraighyrov Pavlodar state university, Pavlodar.  
Material received on 26.02.14.

*Классикалық термодинамикамен және қайтымсыз үрдістер термодинамикасымен қосылуына, термодинамиканың бөліктерге бөлініп, олардың аттарының өзгеруімен, координаталарымен уақытты термодинамика теңдеулерінде қолдану, термодинамика пәнімен оның тәсілдеріне байланысты сұрақтарын қарастыру.*

*The problems, bounded with statements of a subject of thermodynamics and methods of its enunciating, usage of coordinates and time in the equations of thermodynamics, division of thermodynamics on a part and its renaming, merging of classical thermodynamics and thermodynamics of irreversible processes, are considered.*

УДК 533.6.001.8

**Ф. А. Сатыбалдиева, К. Е. Арыстанбаев,  
Б. Д. Нурмаганбетов**

### **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

*В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности использования электроэнергии в учебных корпусах и снижения потерь электроэнергии в электрических сетях путем создания информационно-измерительной системы и использованием альтернативных источников электрической энергии как научно-технические базы университетов.*

#### **Введение**

Нынешнее положение высших учебных заведений обязывает экономить электрическую энергию, так как расход в потреблении электроэнергии увеличился, то есть источники электрической энергии работают так же как и раньше (более 20 лет назад) на ту же мощность, а количество потребляемых источников (научные лаборатории, НИИ, компьютерные классы) увеличилось как минимум в 5 раз. Так же тарифы на электроэнергию каждый год растут, но количество потребителей, потребляемых электроэнергию не уменьшается, а растет из года в год, например, один учебный корпус за год потребляет до 70 000 кВт/час электроэнергии, но тот же корпус с современной научно-исследовательской лабораторией за год будет потребляет в среднем около 200 000 кВт/час .

