

НЕ ПРИШЛО ЛИ ВРЕМЯ ОТКАЗАТЬСЯ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ И УРАВНЕНИЙ ТЕОРИИ ТЕПЛОРОДА?

© Коган Иосиф Шмулевич, проф.

Технион – Израильский технологический институт, г. Хайфа,

Контакт с автором: jkoi@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Основной тезис теории теплорода о том, что теплота является особой неуничтожимой жидкостью, давно и бесповоротно отвергнут, однако терминология, размерности и уравнения, основанные на этом тезисе, не только сохранились до сих пор, но и господствуют в современной теории теплопередачи. Об этом уже было сказано достаточно громко 40 лет тому назад А. Вейником (1968), но положение не изменилось. Предложенная в работе Когана (2004) новая энергодинамическая система физических величин (ЭСВП) приводит еще одно подтверждение правоты А. Вейника, указывает на причины сложившегося положения и предлагает пути выхода из него.

1. Введение

40 лет тому назад А. Вейник (1968) убедительно доказал, что отвергнутая еще в XIX веке теория теплорода используется и сейчас в теории теплопередачи вместе со всеми присущими теории теплорода терминами (теплопроводность, теплоемкость, тепловой поток, теплоизоляция), из которых с очевидностью проглядывает основной тезис теории теплорода о том, что теплота является особой неуничтожимой жидкостью (см. термин "тепловой поток") и может накапливаться (см. термин "теплоемкость"). Собственно говоря, именно из этого тезиса исходит уравнение переноса, записываемое в теории теплопередачи в виде закона Фурье

$$\Phi = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} S, \quad (1)$$

где Φ – тепловой поток, λ – теплопроводность, $\partial T / \partial x$ – градиент температуры, S – площадь сечения, сквозь которое протекает тепловой поток.

Для преодоления этого атавизма теории теплорода Вейник предложил положить в основу изучения процесса теплопередачи представление о скалярном температурном поле, разностью потенциалов которого является, как и в законе Фурье, перепад температур (температурный напор), но координатой состояния которого является не теплота, а термический заряд Θ с единицей измерения Дж. Вейник предложил также ввести понятие **термической формы движения**, как упорядоченной формы переноса импульса частиц, в отличие от **тепловой формы движения**, как беспорядочной (броуновской) формы переноса импульса частиц, которая изучается другими методами. При этом Вейником была подсчитана величина кванта термического заряда.

Вейник предложил записывать закон Фурье не для теплового, а для термического потока, что и соответствует реальному упорядоченному переносу импульса молекулами (или другими материальными носителями) из более нагретой зоны в менее нагретую в рамках формы движения, названной им **термической**. В процессе этого переноса импульса и появляется та форма энергообмена, которую называют теплотой (количеством теплоты).

Вейник предложил для всех процессов с $T > 0$ и левую, и правую части уравнения (1) делить на термодинамическую температуру T , в результате чего место теплового потока в уравнении (1) заняла бы величина, названная им "термическим потоком" $\Phi_a = \Phi / T$, а место теплопроводности λ заняла бы величина, названная им "термопроводностью" $a = \lambda / T$. (Понятие "термопроводность" не следует путать с другим существующим в литературе понятием – "температуропроводностью".) При замене, предложенной Вейником, закон Фурье записывался в несколько измененном виде:

$$\Phi_a = -a \frac{\partial T}{\partial x} S . \quad (2)$$

В принципе, уравнение (2) при сокращении левой и правой части на величину температуры T превращается в уравнение (1). Из этого следует, что уравнение (2) вполне применимо, только при условии $T \neq 0$. Поскольку это условие в окружающем нас мире соблюдается, то замена уравнения (1) на уравнение (2) не меняет результаты практических расчетов. Зато при употреблении закона Фурье в виде (2) вместо вида (1) теория теплорода окончательно уходит в историю. К сожалению, предложения Вейника не были приняты для повсеместного использования.

Табл.1 **ОБОБЩЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭСВП**

Группы величин		Стро- ка	Наименование обобщенной величины	Обобщен. символ величины	Обобщенные определяющие уравнения	Обобщен. размер- ность	
1	2	3	4	5	6	7	
I	Параметры состояния	1	Энергообмен	dW	dW / dq	E	
		2	Измен. координаты состояния (заряда)	dq		K	
		3	Разность потенциалов	Q		$E K^{-1}$	
II	Динамиче- ские параметры	1	Длительность	dt	$\int Q dt$	T	
		2	Импульс разности потенциалов	p		$E T K^{-1}$	
		3	Мощность (мгновенная)	P		dW / dt	$E T^{-1}$
		4	Скорость измен. координ. состояния	\dot{q}		dq / dt	$T^{-1} K$
III	Параметры видов энерго- обмена	1	Жесткость	D	Q / q	$E K^{-2}$	
		2	Сопротивление	R	Q / \dot{q}	$E T K^{-2}$	
		3	Инертность	I	Q / \ddot{q}	$E T^2 K^{-2}$	
		4	Емкость (упругость)	C	D^{-1}	$E^{-1} K^2$	
		5	Проводимость	Y	R^{-1}	$E^{-1} T^{-1} K^2$	
		6	Подвижность		I^{-1}	$E^{-1} T^{-2} K^2$	
IV	Параметры явлений переноса	1	Протяженность	l	$\partial Q / \partial l$	L	
		2	Напряженность поля взаимодействия	E		$E L^{-1} K^{-1}$	
		3	Поток координат состояния	Φ		Q / R_Σ	$T^{-1} K$
		4	Скорость изменения потока	$\dot{\Phi}$		$d\Phi / dt$	$T^2 K$
		5	Поток энергии	P		$Q \Phi$	$E T^{-1}$
		6	Количество движения	$\mathbf{I}\Phi$		$\mathbf{I}\Phi$	$E T K^{-1}$
		7	Коэффициент переноса	k		$1 / RS$	$E^{-1} L^{-1} T^{-1} K^2$
V	Относи- тельные (удельные) величины N ,	1	отнесенные к единице длины	$N_{(l)}$	N / l		
		2	отнесенные к единице площади	$N_{(S)}$	N / S		
		3	отнесенные к единице объема	$N_{(V)}$	N / V		
		4	отнесенные к единице массы	$N_{(m)}$	N / m		
		5	отнесенные к значению N_{cr}	$N_{(N)}$	N / N_{cr}		
VI	Уравнения видов энерго- обмена	1	Изменение потенциальной энергии :	$d\Pi$	$Q dq / 2$	E	
		2	при изменении интенсивности поля		$C Q^2 / 2$	E	
		3	при изменении положения в поле		$D (dq)^2 / 2$	E	
		4	Диссипативный энергообмен	dW_{fr}	$R \dot{q}^2 t$	E	
		5	Изменение кинетической энергии	dT	$I \dot{q}^2 / 2$	E	
VII	Некоторые понятия и формулы	1	Свободное движение		$R_{ex} \rightarrow 0$		
		2	Заторможенное движение		$R_{ex} \rightarrow \infty$		
		3	Принцип малых отклонений		$Q_1 / Q_2 = \dot{q}_2 / \dot{q}_1$		
		4	Частота свободных колебаний	f_0	$(\sqrt{D / I}) / 2\pi$	T^{-1}	
VIII	Статические величины	1	Плечо	h	$Q h$	L	
		2	Момент потенциала	M		$E L K^{-1}$	
		3	Момент координаты состояния			qh	KL
		4	Момент величины N	$M_{(N)}$		$N h$	$(\dim N) L$

Коган (1998), используя, в том числе, и ряд идей Вейника, предложил новый принцип систематизации физических величин, отличающийся от того принципа, который положен в основу систематизации единиц измерения, приведшей к созданию системы СИ. В дальнейшем Коган (2003) показал правомочность такой постановки вопроса, и в работе Когана (2004а) описаны основные принципы построения системы физических величин, названной им **энергодинамической системой величин и понятий (ЭСВП)**.

Здесь мы упомянем лишь о том, что в основе построения ЭСВП лежат три базовых уравнения физики (уравнение состояния, уравнение динамики и уравнение переноса) и что в качестве основных физических величин в этой системе приняты энергообмен, длина, время и координата состояния рассматриваемой формы движения (например, изменение координаты состояния в механической линейной форме движения это линейное перемещение, в механической вращательной форме движения – угол поворота, или угловое перемещение, в электрической форме движения – изменение электрического заряда, в магнитной форме движения – изменение магнитного потока и т.д.). Все остальные производные физические величины в каждой форме движения получаются с помощью определяющих уравнений, которые приведены в таблице обобщенных величин (табл. 1), на которую мы и будем ссылаться.

В табл. 1 приведены основные обобщенные физические величины, их обобщенные размерности, обобщенные определяющие уравнения, по которым получают обобщенные производные физические величины, и обобщенные размерности последних. Подстановка в табл. 1 координаты состояния любой формы движения автоматически приводит с помощью определяющих уравнений к размерностям и единицам измерения всех основных и производных физических величин в этой форме движения. В работе Когана (2004а) приведены также таблицы основных и производных физических величин для 7 форм движения (механической линейной, гидродинамической, акустической, электрической, магнитной, гравитационной линейной), а в работе Когана (2004б) – аналогичная таблица для механической вращательной формы движения. В данной работе мы рассмотрим отдельно термическую форму движения.

4. Существующее положение и его внутреннее противоречие.

Попытавшись использовать уравнение (1) для составления таблицы для тепловой формы движения, аналогичной тем, что были рассмотрены в работах Когана (1998, 2004а), автор пришел к выводу, что при такой форме записи закона Фурье физические величины, описывающие тепловую форму движения, группируются в таблицу, которую условно названа им "Теплопроводность" (см. табл. 2).

Табл. 2 Теплопроводность

Группа и строка	Наименование физической величины	Символ или формула	Единица измерения		
			в ЭСВП	в СИ	
1	2	3	4	5	6
I	1	???	???	? Дж·К ?	???
	2	Теплота	dQ	Дж	Дж
	3	Перепад температур (Температурный напор)	ΔT	К	К
III	2	Тепловое сопротивление	$1/\lambda S$	с·К/Дж	К/Вт
	4	Теплоемкость	C	Дж/К	Дж/К
	5	Тепловая проводимость	$\lambda S/l$	Дж/(с·К)	Вт/К
IV	3	Тепловой поток	Φ	Дж·с	Вт
	7	Теплопроводность	λ	Дж/(м·с·К)	Вт/(м·К)
V	2.1	Плотность теплового потока	$\Phi_{(s)} = q$	Дж/(м ² ·с)	Вт/м²
	2.2	Коэффициент теплообмена (Удельная тепловая проводимость)	$(\lambda S/l)_{(s)} = h$	Дж/(м ² ·с·К)	Вт/(м²·К)
	4	Температуропроводность		м ² ·с	м²·с
VII	1	Отсутствие теплосопротивления			
	2	Полная теплоизоляция			

Эта таблица получается при условии, что в роли координаты состояния в табл. 1 выступает такая физическая величина, как теплота, что, собственно говоря, и является базовым тезисом теории теплорода. При этом под термином "теплота" понимается количество теплоты, участвующее в процессе энергообмена между более нагретой и менее нагретой системами.

В физике "теплота" рассматривается как одна из форм энергообмена, подобно механической работе или количеству электроэнергии. Но энергообмен никак не может быть по самому своему содержанию координатой состояния какой-либо формы движения, в частности, это видно из работы Когана (2004а). Теплота, как одна из форм энергообмена, должна находиться только в первой строке табл. 2 (согласно табл. 1). В первой же строке табл. 2 оказалась некая форма энергообмена, неизвестная автору физическая величина. Размерности этой неизвестной величины соответствует несуществующая в метрологических стандартах единица измерения **Дж·К**.

3. *Необходимые изменения, не меняющие сути теории теплопередачи.*

В работе Когана (1998) была продемонстрирована другая таблица (см. табл. 3 настоящей работы) под названием "Термопроводность", которая была построена в предположении, что координатой состояния термической формы движения является "изменение термического заряда". Сравнение таблиц 2 и 3 и приведенные далее выводы подтверждают правоту предложений Вейника.

Табл. 3 Термопроводность

Группа и строка		Наименование физической величины	Символ или формула	Единица измерения	
				в ЭСВП	в СИ
1	2	3	4	5	6
I	1	Количество теплоты	δQ	Дж	Дж
	2	Изменение термического заряда	$d\theta$	Дж·К	Дж·К
		Изменение энтропии	dS	Дж·К	Дж·К
	3	Перепад температур (Температурный напор)	ΔT	К	К
II	3	Тепловой поток	Φ	Дж·с	Вт
III	2	Термическое сопротивление	$1/aS$	с·К ² ·Дж	К²·Вт
	4	Термемкость	$d\theta/dT$	Дж·К ²	Дж·К²
	5	Термическая проводимость	aS/l	Дж/(с·К ²)	Вт·К²
IV	3	Термический поток	$\Phi_a = \Phi / T$	Дж/(с·К)	Вт·К
	7	Термопроводность	a	Дж/(м·с·К ²)	Вт/(м·К²)
V	2	Плотность термического потока (Коэффициент теплообмена)	$(\Phi_a)_{(s)} = h$	Дж/(м ² ·с·К)	Вт/(м²·К)
	3	Объемная плотность теплоты	$Q_{(v)} = \alpha_v$	Дж·м ³	Дж·м³
	4.1	Удельная теплота	$Q_{(m)} = \varphi$	м ² ·с ²	Дж·кг
	4.2	Удельная газовая постоянная	$\Theta_{(m)} = B$	м ² /(с ² ·К)	Дж/(кг·К)
V II	1	Отсутствие термосопротивления			
	2	Полная термоизоляция			

Теплота в табл. 3 является, как и положено быть, формой энергообмена, тепловой поток (см. строку II.3) отражает интенсивность теплообмена (его мощность), а в строке IV.3 оказывается термический поток, или поток термических зарядов. Место некорректного понятия "теплоемкость" (строка III.4 табл. 2) занимает другое понятие "термемкость" (строка III.4 табл. 3), отражающее интенсивность изменения термического заряда в зависимости от изменения температурного напора. Место некорректного понятия "плотность теплового потока" (строка V.2.1 табл. 2) занимает другое понятие "плотность термического потока" (строка V.2.1 табл. 3), являющееся не чем иным, как известным понятием "коэффициент теплообмена".

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что для окончательного устранения остатков теории теплорода вместо применения таких понятий теории теплопередачи, как тепловой поток, теплоемкость, теплопроводность из табл. 2, следует применять физические величины из табл. 3 (термический заряд, термический поток, термемкость, термопроводность) с их единицами измерения. К сказанному можно добавить два соображения.

Нами в строку I.2 табл. 3 помещена еще одна физическая величина – изменение энтропии, и это сделано совсем не потому, что единицы измерения термического заряда и энтропии оказались одинаковыми. Энтропию в качестве координаты состояния при теплообмене ввел в 1865 г. еще Клаузиус. Вейник же показал, что энтропия – это частный случай термического заряда при рассмотрении идеальных термодинамических процессов, в реальных же процессах энтропия уступает место термическому заряду.

Кроме теплоты, являющейся термодинамическим потенциалом, в строку I.1 табл. 3 можно было бы поставить и какой-нибудь другой термодинамический потенциал (например, внутреннюю

энергию, энтальпию), но только при том условии, что речь будет идти об изменении этого потенциала, то есть об энергообмене (например, о превращении части внутренней энергии в тепловую).

Переход к терминологии табл. 3 может, правда, привести на первых порах к небольшой терминологической путанице. Например, в строках III.2 и III.5 табл. 2 должны быть величины с определениями "тепловые", а в литературе применяют для этого случая определения "термические", хотя определениям "термические" следует находиться в табл. 3. Но подобные временные неудобства со временем исчезнут.

4. Выводы

Любая физическая теория опирается на модели явлений природы, и каждая из них несет на себе отпечаток как личности ее автора, так и того исторического периода, в котором он работал, а также того инструментария, которым он мог пользоваться для экспериментальной проверки предложенной модели явления. Но несмотря на то, что достижения математики и приборостроения в значительной мере осовременивают старые теории, исходные предпосылки держатся подчас еще очень цепко, даже будучи принципиально неверными, неопределенными или неточными.

Такое положение нельзя объяснить одним только нежеланием вникнуть в теоретическую суть тех закономерностей, которые пока и так дают верные практические результаты. Очевидны также и трудности коррекции учебного процесса в средней и высшей школах как в силу инерции мышления, так и по причине большой стоимости таких перемен. Но в случае с теорией теплопередачи слишком уж заметна нестыковка существующих терминов и размерностей важнейших физических величин с системой физических величин, построенной на основе трех базовых уравнений, как это можно видеть на примере сравнения таблиц 2 и 3 данной работы. А с другой стороны, слишком очевидна связь существующих терминов и размерностей с давно отвергнутой теорией теплорода.

Так что автор полагает, что было бы весьма полезно поставить в повестку дня физиков и педагогов рассмотрение вопроса о необходимости замены в теории теплопередачи одних физических величин другими и, соответственно, корректировки терминологии и размерностей.

Литература

1. Вейник А. И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск. *Высшая школа*, 464 с.
2. Коган И. Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – *"Законодательная и прикладная метрология"*, 5.
3. Коган И. Ш., 2004а, "Физические аналогии" – не аналогии, а закон природы. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.html>
4. Коган И. Ш., 2004б, Пора устранить непоследовательность в описании физических величин, характеризующих вращательное движение. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7528.html>