

## ФИЗИЧЕСКИЕ АНАЛОГИИ – НЕ АНАЛОГИИ, А ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ.

**АННОТАЦИЯ.** Так называемые физические аналогии являются вовсе не аналогиями, а проявлением единства законов классической физики, базирующихся на трех основных уравнениях: состояния, движения и переноса. Это позволяет систематизировать многие известные закономерности и предсказывать закономерности при исследовании новых явлений, а заодно и систематизировать физические величины классической физики. Но при этом систематизация физических величин проводится на основе такой системы величин, у которой не все основные физические величины совпадают с теми, которые приняты при составлении системы СИ, хотя все единицы измерения СИ остаются в силе. Этому не препятствует иерархия уровней систематизации в физике.

В предложенной системе величин имеются четыре основные физические величины, из которых три являются общими для всех форм взаимодействия, они характеризуют **энергообмен**, протяженность и длительность. Четвертой основной физической величиной является **динамически** изменяющаяся координата состояния, она варьируема и для каждой формы взаимодействия имеет разные единицы измерения (примеры координаты состояния: линейное перемещение, угловое перемещение, изменение электрического заряда). Поэтому предложенная система физических величин состоит из таблиц, число которых равно числу форм взаимодействия. Все таблицы имеют общее клише, называемое таблицей обобщенных величин. В совокупности они составляют единую **энергодинамическую** систему величин и понятий (ЭСВП). В данной работе ЭСВП проиллюстрирована величинами и понятиями, взятыми из классической физики. Показан прогностический характер нового принципа систематизации.

### 1. Введение

В предыдущей работе автора (2004) была представлена иерархия уровней систематизации в физике и было показано, что систематизация физических величин и систематизация единиц измерения этих величин могут быть и должны быть проведены независимо друг от друга и не влияя друг на друга, так как у них разные задачи. Для систематизации единиц измерения главное – это удобство практического применения единиц, техническая возможность и экономическая целесообразность создания эталонов единиц основных физических величин. А для систематизации физических величин самое важное – это такое обобщение большинства известных физических величин, при котором наиболее четко и рельефно проявляется общность всех разделов физики и техники, появляется возможность прогнозирования новых физических закономерностей, наиболее успешно осуществляется процесс обучения основам физики и техники с наименьшими потерями времени на дублирование учебного материала. Примером такой систематизации в химии является Периодическая система элементов Д.Менделеева, аналога которой в классической физике пока нет.

Систематизация физических величин на базе двух основных уравнений физики: уравнения состояния и уравнения динамики, уже была предложена автором (1993, 1998) и была названа в этих работах Таблицей аналогий (далее сокращенно **ТА**). Таблица аналогий оказалась весьма наглядной и простой как в процессе обучения, так и в процессе ее практического использования. Однако, продолжение работы в этом направлении привело к выводу о необходимости существенного изменения формы представления предложенного принципа систематизации физических величин. И прежде всего было поставлено под сомнение название “Таблица аналогий”. Самым важным соображением явилось то, что в данном случае оказался неприемлемым термин “анalogии”. Ведь при систематизации физических величин речь идет не о *случайной* схожести записи уравнения состояния или уравнения динамики при разных формах взаимодействия, что и отражается словом

“аналогии”, а о вполне *закономерном* совпадении. На основании было сочтено целесообразным всю совокупность таблиц, приведенных в данной работе, назвать иначе, а термин “аналогии” при систематизации физических величин по возможности не применять. Взамен названия **ТА** появилось название **Энергодинамическая система величин и понятий (ЭСВП)**.

Но дело не только в изменении названия. Принцип систематизации физических величин при создании ЭСВП получил более строгие доказательства. К двум основным уравнениям, обосновавшим ввод в состав основных физических величин энергообмена, координаты состояния и длительности, добавлено третье – уравнение переноса, обосновавшее ввод длины. С точки зрения формы и содержания таблиц в ЭСВП также имеются важные принципиальные изменения (по сравнению с **ТА**): перегруппирована таблица обобщенных величин, изменены названия групп физических величин, добавлены новые группы и строки. В частности, введена важная группа “Относительные (удельные) величины”. Суть ЭСВП раскрывается в таблице обобщенных величин (см. табл. 1).

Будем последовательно пояснять эту таблицу по мере анализа каждого из трех уравнений (состояния, динамики и переноса), который будет проведен в следующих параграфах.

## 2. Применение уравнения состояния при физических аналогиях.

Уравнение состояния описывает поведение отдельных систем и процесс взаимодействия между системами или между системой и окружающей средой. Изменение состояния может проходить в рамках различных форм взаимодействия, количество которых определяется видом процесса изменения состояния. В работе В.Эткина (1991) приводится вывод о существовании **элементарных форм взаимодействия**, независимых друг от друга и не сводимых друг к другу. Наличие элементарных форм взаимодействия приводит, в свою очередь, к выводу о существовании **элементарных форм движения** (далее – э.ф.д.), также независимых друг от друга и не сводимых друг к другу.

Факт существования э.ф.д. привел в виде постулата еще А.Вейник (1968). Им же было указано, что каждая э.ф.д. целиком и полностью определяется тремя всеобщими основными свойствами материи (энергия, протяженность, время) и наряду с ними четвертым основным свойством, присущим только данной э.ф.д., – **координатой состояния**, названной им **зарядом**. В настоящее время этот постулат можно считать доказанным. Учитывая, что движение является формой взаимодействия, можно было бы ограничиться применением термина “элементарные формы взаимодействия”, но автор предпочел применять термин э.ф.д., как более наглядный.

Рассмотрим консервативную термодинамическую систему, включающую  $n$  э.ф.д., при условии, что внешние силовые поля являются стационарными потенциальными, а каждое слагаемое полной энергии является полным дифференциалом. Тогда изменение полной энергии этой системы при каком-то исходном (нулевом) состоянии системы также является полным дифференциалом:

$$dW = \left( \frac{\partial W}{\partial q_1} \right)_0 dq_1 + \left( \frac{\partial W}{\partial q_2} \right)_0 dq_2 + \dots = \sum_{i=1}^n dW_i \quad (1)$$

где  $q_i$  – координата состояния  $i$ -ой э.ф.д., а  $dW_i$  – изменение энергии  $i$ -ой э.ф.д.. Это основополагающее уравнение, называемое уравнением состояния, является базовым в термодинамике (см. например, у Сычева (1970)), и именно из него в виде следствия вытекает закон сохранения и превращения энергии.

Табл. 1 ОБОБЩЕННЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭСВП

| Группы величин |  | Стро-<br>ка | Наименование обобщенной величины     | Обобщен.<br>символ<br>величины | Обобщенные<br>определяющие<br>уравнения  | Обобщен.<br>размер-<br>ность |
|----------------|--|-------------|--------------------------------------|--------------------------------|--|------------------------------|
| 1              | 2  | 3           | 4                                    | 5                              | 6  | 7                            |
| I              | Параметры<br>состояния                             | 1           | Энергообмен                          | $dW$                           | $dW/dq$  | E                            |
|                |  | 2           | Измен. координаты состояния (заряда) | $dq$                           |  | K                            |
|                |  | 3           | Разность потенциалов                 | $Q$                            |  | $EK^{-1}$                    |
| II             | Динамиче-<br>ские<br>параметры                     | 1           | Длительность                         | $dt$                           | $\int Qdt$<br>$dW/dt$<br>$dq/dt$   | T                            |
|                |  | 2           | Импульс разности потенциалов         | $p$                            |  | $EK^{-1}$                    |
|                |  | 3           | Мощность (мгновенная)                | $P$                            |  | $ET^{-1}$                    |
|                |  | 4           | Скорость измен. координ. состояния   | $\dot{q}$                      |  | $T^{-1}K$                    |
| III            | Параметры<br>видов<br>энерго-<br>обмена            | 1           | Жесткость                            | $D$                            | $Q/q$  | $EK^{-2}$                    |
|                |  | 2           | Сопротивление                        | $R$                            | $Q/\dot{q}$  | $EK^{-2}$                    |
|                |  | 3           | Инертность                           | $I$                            | $Q/\ddot{q}$   | $ET^{-2}K^{-2}$              |
|                |  | 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<br>явлений<br>переноса                   | 1           | Протяженность                        | $l$                            | $\partial Q/\partial l$<br>$Q/R_T$<br>$d\Phi/dt$<br>$Q\Phi$<br>$I\Phi$<br>$l/RS$ | L                            |
|                |  | 2           | Напряженность поля взаимодействия    | $E$                            |  | $EL^{-1}K^{-1}$              |
|                |  | 3           | Поток координат состояния            | $\Phi$                         |  | $T^{-1}K$                    |
|                |  | 4           | Скорость изменения потока            | $\dot{\Phi}$                   |  | $T^{-2}K$                    |
|                |  | 5           | Поток энергии                        | $P$                            |  | $ET^{-1}$                    |
|                |  | 6           | Количество движения                  | $I\Phi$                        |  | $EK^{-1}$                    |
|                |  | 7           | Коэффициент переноса                 | $k$                            |  | $E^{-1}L^{-1}T^{-1}K^2$      |
| V              | Относи-<br>тельные<br>(удельные)<br>величины $N_i$ | 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 $N_{ex}$       | $N(N)$                         | $N/N_{ex}$   |                              |
| VI             | Уравнения<br>видов<br>энерго-<br>обмена            | 1           | Изменение потенциальной энергии:     | $\Pi d$                        | $Qdq/2$  | E                            |
|                |  | 2           | при изменении интенсивности поля     |                                | $CQ^2/2$   | E                            |
|                |  | 3           | при изменении положения в поле       |                                | $D(dq)^2/2$  | E                            |
|                |  | 4           | Диссипативный энергообмен            | $dW_{tr}$                      | $R\dot{q}^2 t$   | E                            |
|                |  | 5           | Изменение кинетической энергии       | $dT$                           | $I\dot{q}^2/2$   | E                            |
| VII            | Некоторые<br>понятия и<br>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<br>величины                            | 1           | Плечо                                | $h$                            |  | L                            |
|                |  | 2           | Момент потенциала                    | $M$                            | $Qh$   | $ELK^{-1}$                   |
|                |  | 3           | Момент координаты состояния          |                                | $qh$   | KL                           |
|                |  | 4           | Момент величины $N$                  | $M(N)$                         | $Nh$   | (dimN)L                      |

Из уравнения (1) следует, во-первых, что в качестве основной физической величины выступает не энергия  $W$  в ее каком-то абсолютном значении, а то количество энергии  $dW$ , которое преобразуется при протекании исследуемого процесса, и, во-вторых, в качестве другой основной физической величины выступает не координата состояния  $q$  в ее каком-то абсолютном значении, а ее изменение  $dq$ . С точки зрения размерностей и единиц измерения различие как будто бы отсутствует, но с точки зрения систематизации физических величин указанное замечание существенно.

Чтобы дать название величине  $dW_i$  в общем случае применяют обобщенный термин “элементарный энергообмен”, или просто “энергообмен”, а для каждой  $i$ -ой э.ф.д. можно

указать конкретную форму энергообмена. Таким образом, уравнение состояния вводит две первые основные физические величины системы: энергообмен и изменение координаты состояния. Им следует присвоить обобщенные размерности. В качестве обобщенных символов этих обобщенных размерностей выбраны буквы E и K.

В неконсервативных термодинамических системах элементарные работа и теплота не являются полными дифференциалами, и в этом случае энергообмен записывают как  $\delta W_j$ . Тогда уравнение (1) можно записать в виде

$$dW = \sum_{i=1}^p dW_i + \sum_{j=1}^s \delta W_j, \quad (2)$$

где  $p$  – число консервативных и  $s$  – число неконсервативных систем.

В уравнении (1) любую частную производную  $(\partial W / \partial q_i)_0$ , обозначаемую символом  $Q_i$ , можно представить, как физическую величину, связывающую изменение координаты состояния  $dq_i$  данной э.ф.д. с изменением энергии всей системы  $dW$  при условии, что изменения координат состояния других э.ф.д. не принимаются во внимание. Таким образом, можно записать:

$$dW_i = Q_i dq_i \quad \text{или} \quad \delta W_j = Q_j dq_j. \quad (3)$$

В реальности при каждом изменении состояния системы могут начать функционировать все ее э.ф.д. Однако, у многих из них приращения координаты состояния присутствуют в исчезающе малых количествах. Поэтому при решении практических задач часто вообще ограничиваются рассмотрением какой-нибудь одной э.ф.д., в крайнем случае – двух. Вот почему многие законы классической физики, особенно, когда рассматривается только одна э.ф.д., имеют совпадающие формы записи. Но если в записи какого-либо закона или формулы для определенной э.ф.д. не просматривается совпадение с записью закона для других э.ф.д., или если форма записи сложнее определяющего уравнения (3), (то есть если в записи закона присутствуют дополнительные математические действия и дополнительные физические величины), то это следует воспринимать как свидетельство того, что при описании рассматриваемого явления играют существенную роль не одна, а несколько э.ф.д.

Величины  $Q$  и  $q$  имеют в литературе по 5-6 различных наименований каждое, перечислять которые нет резона. Наиболее известны две пары наименований: “обобщенная сила – обобщенная координата” (по Лагранжу) и “обобщенный потенциал – обобщенный заряд” (по Вейнику). Первая пара наименований ближе по содержанию к механике, вторая – к электродинамике. Автор считает, что лучше всего отражает истину такая пара наименований “обобщенная разность потенциалов – обобщенное изменение координаты состояния” (в сокращенном виде “**разность потенциалов – координата состояния**”).

Уравнение (3) указывает на то, что энергообмен  $dW_i$  происходит вследствие именно разности потенциалов  $Q_i$  в разных точках пространства в данный момент времени, а не как следствие наличия потенциала  $\varphi$  в какой-нибудь определенной точке. Для  $i$ -ой э.ф.д. уравнение (3) является главным определяющим уравнением. С помощью этого уравнения можно определить разность потенциалов  $Q_i$  по координате состояния  $dq_i$ . Из этого следует, что разность потенциалов  $Q$  не может быть основной физической величиной, так как ею уже является изменение координаты состояния  $dq$ .

Итак, первые две основные величины  $dW$  и  $dq$  и производная от них величина  $Q$  составили I группу таблицы обобщенных величин.

### 3. Применение уравнения динамики при физических аналогиях.

При решении проблемы систематизации физических величин нами рассматриваются квазистатические равновесные процессы, в которых соблюдается *принцип линейности*, заключающийся в том, что в уравнении динамики для  $i$ -ой э.ф.д. равновесной системы

$$a_{0i}q_i + a_{1i}\dot{q}_i + a_{2i}\ddot{q}_i + \dots = Q_i \quad (4)$$

коэффициенты при слагаемых левой части считаются постоянными величинами. (В уравнении (4)  $\dot{q}_i$  и  $\ddot{q}_i$  - первая и вторая производные по времени  $t$ .) Коэффициенты  $a_{ki}$ , где  $k$  - порядок производной по времени, называются *параметрами видов энергообмена*. Уравнение (4) является уравнением переходного процесса, поскольку после прекращения этого процесса движение тоже прекращается. Это уравнение можно трактовать так: **воздействие на систему разности потенциалов равно сумме противодействий системы**, каждое из которых пропорционально производной по времени соответствующего порядка от координаты состояния. В такой трактовке нет ссылки на физическое содержание э.ф.д., поэтому такой подход удобен для решения проблемы систематизации физических величин.

Уравнение динамики вводит третью основную физическую величину – время, что позволяет объединить производные величины, в которые входит время, во II и III группы табл. 1. Сами коэффициенты  $a_{ki}$  собраны в III группу вместе со своими уже установившимися в литературе названиями и обозначениями.

Реальные процессы, в которых не может быть состояния равновесия и поэтому отрицается принцип линейности, рассматривает термодинамика неравновесных процессов. При этом в качестве координат состояния независимых друг от друга процессов там вводятся в рассмотрение не только сами координаты состояния, но и их производные по времени  $\dot{q}_i$  и  $\ddot{q}_i$ , которые также рассматриваются как самостоятельные координаты состояния, но уже не систем, а процессов изменения видов энергообмена. Поэтому термодинамика неравновесных процессов считает, что изменения  $q$ ,  $\dot{q}$  и  $\ddot{q}$  происходят в независимых друг от друга процессах и поэтому именуется все коэффициенты  $a_{ki}$  сопротивлениями в этих процессах. Это усложняет решение проблемы систематизации физических величин.

На данном этапе исследований автор решил ограничиться рассмотрением равновесных процессов, в которых соблюдается принцип линейности, что приводит к приемлемому результату при хорошей наглядности. Учитывая это, остановимся на уравнении (4), переписав его в форме

$$\sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} = Q_i, \quad (5)$$

где  $(m+1)$  – количество видов энергообмена. Рассмотрим подробнее классификацию видов энергообмена и причин изменения величины последнего.

При  $k = 0$  имеет место **изменение взаимодействия системы с полем**. Оно может происходить вследствие двух причин: изменения интенсивности поля при сохранении положения системы в пространстве и изменения положения системы при сохранении интенсивности поля. (Естественно, что эти две причины могут влиять одновременно.) Такой вид энергообмена связан с **изменением потенциальной энергии системы  $d\Pi$** .

При  $k = 1$  имеет место взаимодействие системы с движением материальных носителей внутри системы, что обобщается обычно термином “*трение*”. Это приводит к переходу энергии из любой э.ф.д. в энергию хаотического теплового движения, то есть к изменению степени необратимости процесса энергообмена. Такой вид энергообмена связан с диссипативными потерями энергии системы  $dW_{fr}$  и с возрастанием энтропии системы.

Заметим, что часто применяемый термин “потери энергии” без определения “диссипативные” некорректен, ибо энергия теряться не может. Поэтому в дальнейшем мы будем применять термин “диссипативный энергообмен”.

При  $k = 2$  имеет место **изменение скорости приращения координаты состояния** под влиянием разности потенциалов. Этот вид энергообмена связан с **изменением кинетической энергии системы  $dT$** . Понятия “кинетическая энергия” и “потенциальная энергия” трактуются при систематизации физических величин в обобщенном смысле, а не только относящимися к механическим формам движения. Именно в этом смысле они вынесены в отдельную VI группу табл. 1.

Заметим, что в неравновесных системах существуют и другие виды энергообмена, например, изменение внутренней энергии с переходом ее в энергию различных э.ф.д., в том числе, и в тепловое движение. Да и многоточие в уравнении (4) говорит о том, что нет запрета на существование противодействия, пропорционального производной от координаты состояния по времени любого порядка, выше второго. Например, противодействие, пропорциональное производной третьего порядка, интересует исследователей процессов разгона и торможения двигателей в энергетике, на транспорте, в космонавтике. Но в данной работе мы рассматриваем только три вида энергообмена, то есть  $m + 1 = 3$  (или  $m = 2$ ).

Сумма изменений всех трех видов энергообмена в  $i$ -ой э.ф.д. равновесной системы равна изменению полной энергии в  $i$ -ой э.ф.д. А учет всех форм взаимодействия и всех видов энергообмена приводит нас после подстановки уравнения (5) в уравнение (1) к записи уравнения закона сохранения и превращения энергии равновесных систем в обобщенной форме:

$$dW = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{k=0}^m a_{ki} \frac{d^k q_i}{dt^k} \right) dq_i. \quad (6)$$

#### 4. Применение уравнения переноса при физических аналогиях.

Если бы коэффициенты  $a_{1i}$  и  $a_{2i}$  из уравнения динамики (4) были бы равны нулю, то изменения координат состояния в разных точках системы могли бы происходить одновременно. В реальности же изменения потенциала передаются с какой-то скоростью и поэтому изменения координат состояния в разных точках системы происходят с некоторой задержкой. Но скорость передачи обычно очень велика, и задержкой времени часто можно пренебречь.

Если же система занимает достаточно большое пространство, а также в случае, когда материальные носители координат состояния перемещаются с не очень большой скоростью, коэффициенты  $a_{1i}$  и  $a_{2i}$  нулю не равны. Поэтому на практике во многих системах имеют место явления переноса (диффузия, теплопроводность, внутренние электрические токи). А при взаимодействии двух систем, между которыми существует массообмен (обмен веществом), процесс переноса вообще является нетъемлемой частью технологического процесса.

Во взаимодействующих системах энергообмен в процессе обмена веществом рассматривают как следствие массопереноса. Перенос материальных носителей происходит обычно от системы с большим потенциалом (от *источника* энергии или вещества) к системе с меньшим потенциалом (к *потребителю* энергии или вещества). Главным показателем, по которому можно определить, имеет место или отсутствует процесс переноса, является величина полного сопротивления этому процессу  $R_{\Sigma}$ , которая равна сумме внутреннего сопротивления источника  $R$  и внешнего сопротивления потребителя  $R_{ex}$ . (При этом под  $R$  и  $R_{ex}$  обычно понимается комплексное сопротивление.) Чтобы проиллюстрировать различие между явлением переноса внутри самой системы и переносом материальных носителей во взаимодействующих системах можно привести следующие примеры:

а) линейное деформирование тела и скорость перемещения тела,

- б) сжатие (расширение) газа в замкнутом объеме и течение потока в канале,
- в) нагрев (охлаждение) тела и процесс постоянной теплопередачи через стенку,
- г) зарядка (разрядка) конденсатора и постоянный электрический ток.

У закрытой системы внешнее сопротивление  $R_{ex} \rightarrow \infty$ , а на переходный процесс изменения координаты состояния  $q_i$  влияет только величина внутреннего сопротивления  $R$ . Когда система находится в равновесном состоянии, скорость изменения координаты состояния  $\dot{q}_i = 0$ . При переходном же процессе имеет место кратковременный всплеск величины скорости  $\dot{q}_i$ . Но после завершения переходного процесса вновь  $\dot{q}_i = 0$ , хотя уже при других значениях  $Q_i$  и  $q_i$ .

При взаимодействии систем  $R_{ex} \neq \infty$ , и возникает процесс переноса. Равновесное состояние этого процесса устанавливается при каком-то постоянном значении величины скорости материальных носителей через обе системы, называемой **потоком**  $\Phi$ . Определяющее уравнение для потока при  $i$ -ой э.ф.д.

$$\Phi_i = Q_i / R_{\Sigma}. \quad (7)$$

Поскольку поток  $\Phi_i$  определяется по уравнению (7), а скорость изменения координаты состояния  $\dot{q}_i = dq/dt$ , то из этого следует, что  $\Phi_i$  и  $q_i$  имеют различные определяющие уравнения, и, следовательно, их можно считать функционально различными физическими величинами, хотя они имеют одинаковую природу, одинаковые размерности и подчас одинаковые названия. Понятия, связанные с величиной внешнего сопротивления  $R_{ex}$ , находятся в IV группе таблицы обобщенных величин. (Особо можно выделить состояние системы при  $R_{ex} \rightarrow 0$ . При нем любое  $Q_i > 0$  ведет к большим значениям потока  $\Phi_i$ , поскольку внутреннее сопротивление  $R$  обычно достаточно мало.)

В процессе переноса величины  $Q_i$  и  $q_i$  распределены внутри системы вдоль координаты, параллельной вектору скорости материальных носителей. Когда состояние процесса переноса равновесно, в любом сечении потока с локальной линейной координатой  $x$  локальная координата состояния  $(q_i)_x = const$ , следовательно, и скорость  $(\dot{q}_i)_x = 0$ . При изменении  $Q_i$  имеют место одновременно и переходный процесс изменения потока  $d\Phi_i$ , и переходный процесс изменения каждой локальной координаты состояния  $(dq_i)_x$ . Но оба эти переходных процесса происходят за разный промежуток времени, так как  $(\dot{q}_i)_x$  определяется только внутренними параметрами рассматриваемой системы, а  $\Phi_i$  определяется параметрами обеих взаимодействующих систем.

Поясним это двумя примерами. В закрытой электрической системе ( $R_{ex} \rightarrow \infty$ ) изменение разности потенциалов влечет за собой изменение количества электрического заряда внутри системы, сопровождающееся кратковременным всплеском электрического тока. А в открытой системе ( $R_{ex} \neq \infty$ ) при том же самом изменении разности потенциалов происходит изменение тока через общую электрическую цепь источника и потребителя. В механической системе при  $R_{ex} \rightarrow \infty$  изменение силы, действующей на тело, деформирует его, но не сдвигает с места, а при  $R_{ex} \neq \infty$  наряду с деформированием тела изменяется и скорость перемещения тела в пространстве.

В основе “явлений переноса” лежит одно и то же явление – перенос импульса материальных носителей под воздействием градиента разности потенциалов. Если скорости, параллельные направлению градиента разности потенциалов, одинаковы поперек любого сечения потока, имеет место только *продольный перенос импульса*, если скорости неодинаковы, - то наряду с продольным имеет место и *поперечный перенос импульса*.

Обобщенное уравнение переноса вдоль оси  $Ox$ , параллельной направлению переноса, выглядит так:

$$\Phi = -k \frac{\partial Q}{\partial x} S, \quad (8)$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения потока, коэффициент переноса  $k = l/RS$ ,  $l$  - длина участка потока, на протяжении которого интегрируется уравнение переноса. Уравнение переноса вводит четвертую основную физическую величину – длину, что позволяет объединить все производные величины, в которые входит длина, в IV группу Таблицы 1.

### 5. Основное отличие предложенного принципа систематизации физических величин на базе физических аналогий.

Основополагающий постулат предложенного принципа систематизации физических величин трактуется так: **основная физическая величина**, называемая **координатой состояния**, в каждой элементарной форме движения имеет свою особенность, присущую только данной форме движения. Этот постулат вытекает непосредственно из основного постулата Общей теории А.Вейника (1968).

Рассмотрим вновь таблицу обобщенных физических величин ЭСВП (табл. 1) и таблицы физических величин, соответствующие наиболее значимым э.ф.д., приведенные в качестве примеров в табл. 2–8. (Более полный набор таблиц, посвященных этим и другим э.ф.д., будет помещен в готовящемся к изданию сборнике таблиц ЭСВП.) В табл. 1  $K$  – это обобщенная размерность обобщенной координаты состояния. В каждой э.ф.д. координата состояния имеет ту же размерность, но этой размерности соответствует своя собственная единица измерения, принятая только в данной э.ф.д., и она соответствует единице измерения, принятой в системе СИ. В отличие от этого в системе СИ для координаты состояния каждой э.ф.д. имеется своя размерность, а для некоторых координат состояния, принятых в качестве основных величин (термодинамическая температура, количество вещества, сила света), имеется свой символ размерности. В ЭСВП для обобщенной размерности координаты состояния имеется только один обобщенный символ  $K$ , но в каждой конкретной э.ф.д. этой обобщенной размерности соответствует своя единица измерения.

Размерности физических величин и их единицы измерения в ЭСВП выглядят иначе, чем в СИ, поскольку другими являются основные величины, но единицы измерения в ЭСВП и в СИ для одних и тех же физических величин равны друг другу. Единицы измерения во всех таблицах ЭСВП расположены в двух столбцах (5 и 6), между которыми в каждой строке можно поставить знак равенства. В правом столбце стоит единица измерения, принятая в системе СИ, в левом - единица измерения, соответствующая размерностям, принятым в ЭСВП. Применять на практике, естественно, следует узаконенные единицы СИ, но при необходимости каждая из них может быть расшифрована в соответствии со столбцом 7 табл. 1. Для этого в формулу размерностей необходимой строки табл. 1 вместо размерности  $K$  следует подставить единицу измерения координаты состояния данной конкретной э.ф.д.. В приведенных таблицах эта операция уже проведена.

Вообще-то, количество производных величин в физике велико, и включить в табл. 1 все варианты определяющих уравнений и все варианты составления удельных величин просто нет возможности. Но табл. 1 включает в себя самые важные обобщенные физические величины, без которых нельзя составить любое определяющее уравнение. В других таблицах (2 – 8) использованы с целью сокращения объема статьи только те строки табл. 1, для которых имеются производные величины в соответствующих э.ф.д. Общие для всех таблиц строки, включая группу VI, опущены.

К ряду таблиц следует сделать несколько примечаний.

Табл. 2 Механика линейного движения и энергетические величины

| Группа и строка |  | Наименование физической величины       | Символ или формула        | Единица измерения                 |                   |
|-----------------|--|--|---------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 1               | 2                                      |  |                           | 3                                 | 4                 |
| I               | 1                                      | Работа силы                            | $\delta A$                | Дж                                | Дж                |
|                 | 2                                      | Перемещение, деформация                | $dx$                      | м                                 | м                 |
|                 | 3                                      | Сила                                   | $F$                       | Дж/м                              | Н                 |
| II              | 2                                      | Импульс силы                           | $p$                       | Дж·с/м                            | Па·с              |
|                 | 3                                      | Мощность                               | $P$                       | Дж/с                              | Вт                |
|                 | 4                                      | Скорость деформации                    | $v$                       | м/с                               | м/с               |
| III             | 1                                      | Жесткость                              | $k$                       | Дж/м <sup>2</sup>                 | Н/м               |
|                 | 2                                      | Механическое сопротивление             | $r_M$                     | Дж·с/м <sup>2</sup>               | кг/с              |
|                 | 3                                      | Масса                                  | $m$                       | Дж·с <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> | кг                |
|                 | 4                                      | Податливость (упругость)               | $c_M$                     | м <sup>2</sup> /Дж                | м/Н               |
| IV              | 2                                      | Градиент силы                          | $\partial F / \partial l$ | Дж/м <sup>2</sup>                 | Н/м               |
|                 | 3                                      | Скорость тела                          | $v$                       | м/с                               | м/с               |
|                 | 4                                      | Ускорение тела                         | $a$                       | м/с <sup>2</sup>                  | м/с <sup>2</sup>  |
|                 | 5                                      | Поток энергии                          | $P$                       | Дж/с                              | Вт                |
|                 | 6                                      | Количество движения                    | $mv$                      | Дж·с/м                            | кг·м/с            |
|                 | V                                      | 1                                      | Относительная деформация  | $q_{(i)} = \varepsilon$           | м <sup>0</sup>    |
| 2.1             |  | Напряжение (модуль упругости)          | $F_{(S)} = \sigma, E$     | Дж/м <sup>2</sup>                 | Н/м <sup>2</sup>  |
| 2.2             |  | Плотность потока энергии               | $P_{(S)} = P_1$           | Дж/(м <sup>2</sup> ·с)            | Вт/м <sup>2</sup> |
| 3.1             |  | Объемная плотность энергии             | $W_{(V)} = w$             | Дж/м <sup>3</sup>                 | Н/м <sup>2</sup>  |
| 3.2             |  | Плотность                              | $m_{(V)} = \rho$          | Дж·с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> | кг/м <sup>3</sup> |
| 4               |  | Удельная энергия                       | $W_{(m)} = w_m$           | м <sup>2</sup> /с                 | Дж/кг             |
| 5.1             |  | Относительная скорость (в числах Маха) | $v_{(v_e)} = M$           | -                                 | -                 |
| 5.2             | Относительное ускорение (в единицах g) | $a_{(g)}$                              | -                         | -                                 |                   |
| VII             | 1                                      | Свободное движение                     |                           |                                   |                   |
|                 | 2                                      | Заторможенное движение                 |                           |                                   |                   |
|                 | 3                                      | Принцип возможных перемещений          | $F_1 / F_2 = v_2 / v_1$   |                                   |                   |
| VIII            | 2                                      | Момент пары сил                        | $Fh$                      | Дж                                | Н·м               |

А) В механике жидкости и газа (табл. 3 и 4) преобладают открытые системы. При продольном переносе молекул текучей среды в качестве координаты состояния очень часто пользуются не одной молекулой, а их некоторым количеством, содержащимся в каком-то объеме. Эта физическая величина соответствует плотности вещества. Выбор перемещения объема  $dV$ , как координаты состояния, в гидродинамике удобен, поскольку там изучают несжимаемую жидкость, плотность которой считают постоянной. Но при изучении течения сжимаемых жидкостей (газов) уже необходимо учитывать плотность  $\rho$ , поэтому там в качестве координаты состояния применяют изменение массы  $dm = \rho dV$ . И тогда разностью потенциалов становится величина  $\Delta p / \rho$ , называемая аэродинамическим потенциалом. В практической же гидравлике в качестве координаты состояния применяют изменение веса жидкости  $dG$ , а разностью потенциалов становится гидравлический напор  $H$ . Построить для этих двух случаев таблицы типа табл. 3 нетрудно.

Б) Акустическая форма движения (табл. 5) формально аналогична механической линейной (табл. 2), но отличается двумя особенностями: во-первых, изучается колебательное движение, во-вторых, в нем в качестве разности потенциалов выступает звуковое давление, являющееся удельной величиной (см. строку V.2 в табл. 2). При расчетах в прикладной акустике можно пользоваться таблицей, видоизмененной по сравнению с табл. 5, в которой будут присутствовать удельные величины, отнесенные к единице площади поверхности фронта звуковой волны. В такой видоизмененной таблице сила звука будет помещена в строку I.1, колебательное смещение - в строку I.2, а колебательная скорость - в строку II.5.

При этом у величин из группы III меняются степени в единицах измерения, а в название величин группы добавится термин “удельный”. Кроме того, различают активное акустическое сопротивление  $R_a$  и комплексное акустическое сопротивление  $Z_a$ , имеющие одинаковые единицы измерения.

Табл. 3 Механика движения жидкости и газа.

| Группа и строка |     | Наименование физической величины | Символ или формула     | Единица измерения                     |                                    |
|-----------------|-----|----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1               | 2   |                                  |                        | 3                                     | 4                                  |
| I               | 1   | Работа сил давления              | $\delta A_{\text{дп}}$ | Дж                                    | Дж                                 |
|                 | 2   | Перемещение объема               | $dV$                   | м <sup>3</sup>                        | м <sup>3</sup>                     |
|                 | 3   | Перепад давлений                 | $\Delta p$             | Дж/м <sup>3</sup>                     | Па                                 |
| III             | 2   | Объемное сопротивление           | $R_v$                  | Дж·с/м <sup>6</sup>                   | кг/(м <sup>4</sup> ·с)             |
|                 | 3   | Объемная инертность              | $I_v$                  | Дж·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup>     | кг/м <sup>4</sup>                  |
|                 | 4   | Объемная упругость               | $C_v$                  | м <sup>6</sup> /Дж                    | м <sup>4</sup> ·с <sup>2</sup> /кг |
| IV              | 3   | Объемный расход                  | $Q_v$                  | м <sup>3</sup> /с                     | м <sup>3</sup> /с                  |
| V               | 2.1 | Поверхностное натяжение          | $W_{(S)} = \alpha$     | Дж/м <sup>2</sup>                     | Н/м                                |
|                 | 2.2 | Средняя скорость                 | $Q_{v(S)} = \bar{u}$   | м/с                                   | м/с                                |
|                 | 4   | Удельный объем                   | $V_{(m)} = v$          | м <sup>3</sup> / (Дж·с <sup>2</sup> ) | м <sup>3</sup> /кг                 |
| VII             | 1   | Работа на слив                   |                        |                                       |                                    |
|                 | 2   | Работа на глухую камеру          |                        |                                       |                                    |

Табл. 4 Поперечный перенос импульса в пограничном слое |

| Группа и строка |   | Наименование физической величины                | Символ или формула        | Единица измерения      |                 |
|-----------------|---|---|---------------------------|------------------------|-----------------|
| 1               | 2 |   |                           | 3                      | 4               |
| I               | 1 | Работа сил вязкого трения                       | $\delta A_{\text{в}}$     | Дж                     | Дж              |
|                 | 2 | Изменение импульса поперечного движения частиц  | $dp_v$                    | Дж·с/м                 | кг·м/с          |
|                 | 3 | Поперечный сдвиг продольных скоростей           | $\Delta u$                | м/с                    | м/с             |
| II              | 4 | Поперечное перемещение частицы                  | $y$                       | м                      | м               |
| III             | 2 | Поперечное сопротивление пограничного слоя      | $R_v$                     | м <sup>2</sup> /(Дж·с) | с/кг            |
|                 | 4 | Поперечная проводимость пограничного слоя       | $Y_v$                     | Дж·с/м <sup>2</sup>    | кг/с            |
| IV              | 2 | Поперечный сдвиг скоростей                      | $\partial u / \partial y$ | с <sup>-1</sup>        | с <sup>-1</sup> |
|                 | 3 | Сила вязкого трения (поперечный поток импульса) | $F_{\text{в}}$            | Дж/м                   | Н               |
|                 | 7 | Динамическая вязкость                           | $\eta$                    | Дж·с/м <sup>2</sup>    | Па·с            |
| V               | 2 | Касательное напряжение                          | $F_{\text{т}(S)} = \tau$  | Дж/м <sup>2</sup>      | Па              |

В) В табл. 6 представлена э.ф.д. в так называемом гравитационном линейном (гравистатическом) поле, подобном электростатическому полю (см. табл. 7). Гравистатическое поле является компонентом гравитационного поля, подобно тому как электростатическое поле является компонентом электромагнитного поля.

Г) В электрической э.ф.д. при составлении определяющих уравнений в ЭСВП не используют такую физическую величину, как сила, а исходят из приоритета разности потенциалов поля. Это означает, что напряженность поля определяется не как отношение кулоновской силы взаимодействия силы к электрическому заряду (с единицей Н/Кл), а как градиент энергии этого поля. Поэтому кулоновская сила включена в группу V, а в группу II включен импульс этой силы.

Табл. 5 Акустика

| Группа и строка |     | Наименование физической величины    | Символ или формула        | Единица измерения                 |                                   |
|-----------------|-----|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1               | 2   |                                     |                           | 3                                 | 4                                 |
| I               | 1   | Звуковая энергия                    | $dW_a$                    | Дж                                | Дж                                |
|                 | 2   | Объемное звуковое смещение          | $dV_a$                    | м <sup>3</sup>                    | м <sup>3</sup>                    |
|                 | 3   | Звуковое давление                   | $p_a$                     | Дж/м <sup>2</sup>                 | Па                                |
| II              | 3   | Звуковая мощность                   | $P$                       | Дж/с                              | Вт                                |
|                 | 4   | Объемная звуковая скорость          | $v_V$                     | м <sup>3</sup> /с                 | м <sup>3</sup> /с                 |
| III             | 2   | Акустическое сопротивление          | $R_a$                     | Дж·с/м <sup>5</sup>               | Па·с/м <sup>5</sup>               |
|                 | 3   | Акустическая масса                  | $m_a$                     | Дж·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup> | Па·с <sup>2</sup> /м <sup>6</sup> |
|                 | 4   | Акустическая гибкость               | $C_a$                     | м <sup>5</sup> /Дж                | м <sup>5</sup> /Па                |
|                 | 5   | Акустическая проводимость           | $Y_a$                     | м <sup>5</sup> /(Дж·с)            | м <sup>5</sup> /(Па·с)            |
| IV              | 5   | Поток звуковой энергии              | $\Phi_a$                  | Дж/с                              | Вт                                |
| V               | 2.1 | Колебательное смещение частицы      | $dV_{(s)} = d\xi$         | м                                 | М                                 |
|                 | 2.2 | Колебательная скорость частицы      | $v_{V(s)} = v_\xi$        | м/с                               | м/с                               |
|                 | 2.3 | Интенсивность звука (Сила звука)    | $\Phi_{(s)} = I$          | Дж/(м <sup>2</sup> ·с)            | Вт/м <sup>2</sup>                 |
|                 | 3   | Плотность звуковой энергии          | $W_{(s)} = w$             | Дж/м <sup>3</sup>                 | Дж/м <sup>3</sup>                 |
| VII             | 1   | Свободные колебания                 |                           |                                   |                                   |
|                 | 2   | Заторможенные колебания             |                           |                                   |                                   |
|                 | 3   | Работа акустического трансформатора | $p_{a1}/p_{a2} = v_2/v_1$ |                                   |                                   |

Табл. 6 Линейная гравитация

| Группа и строка |    | Наименование физической величины                      | Символ или формула  | Единица измерения                 |                                      |
|-----------------|----|---|---|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1               | 2  |   |   | 3                                 | 4                                    |
| I               | 1  | Количество гравитационной энергии                     | $dW_g$  | Дж                                | Дж                                   |
|                 | 2  | Изменение массы                                       | $dm$  | Дж·с <sup>2</sup> /м <sup>2</sup> | кг                                   |
|                 | 3  | Разность гравитационных потенциалов                   | $\Delta \varphi_g$  | м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>    | Дж/кг                                |
| II              | 2  | Импульс силы веса                                     | $p$   | Дж·с/м                            | Н·с                                  |
|                 | 3  | Гравитационная мощность                               | $P$   | Дж/с                              | Вт                                   |
|                 | 4  | Скорость изменения массы                              | $dm/dt$   | Дж·с/м <sup>2</sup>               | кг/с                                 |
|                 | IV | 2   | Напряженность гравитационного поля (Ускорение свободного падения) | $G$<br>$g$                        | м/с <sup>2</sup><br>м/с <sup>2</sup> |
| 3               |    | Поток массы   | $\Phi_m$  | Дж·с/м <sup>2</sup>               | кг/с                                 |
| 5               |    | Поток гравитационной энергии                          | $P$   | Дж/с                              | Вт                                   |
| V               | 1  | Линейная плотность гравитационной энергии (Сила веса) | $W_{g(l)} = F_g$<br>$F_g$   | Дж/м<br>Дж/м                      | Н<br>Н                               |
|                 | 3  | Плотность гравитационной энергии                      | $W_{g(v)} = w$  | Дж/м <sup>3</sup>                 | Дж/м <sup>3</sup>                    |

Электрический заряд и поток электрического смещения помещены в одну строку I.2, так как они оба являются суммой элементарных зарядов: первый – в вакууме, второй – в диэлектрике. Также в одной и той же строке I.3 находятся разность потенциалов, ЭДС и напряжение, имеющие с точки зрения систематизации одну и ту же природу. И в строке V.1.2 находятся две удельные величины одной природы с определяющими уравнениями  $\varepsilon_a = D/E = \Psi_{(s)}/\varepsilon_{(l)} = C_{(l)}$  и  $\chi_a = P/E = p_{e(v)}/\varepsilon_{(l)} = C_{(l)}$ . Электрическая постоянная  $\varepsilon_0$  не включена в табл. 7, так как является частным случаем абсолютной диэлектрической проницаемости из строки V.1.3, только в вакууме.

Табл. 7 Электричество

| Группа и строка |                  | Наименование физической величины                        | Символ или формула            | Единица измерения                      |                   |
|-----------------|------------------|---|-------------------------------|--|-------------------|
| 1               | 2                |   |                               | 5                                      | 6                 |
| I               | 1                | Количество электроэнергии                               | $dW_e$                        | Дж                                     | Дж                |
|                 | 2                | Изменение электрического заряда                         | $dq$                          | А·с                                    | Кл                |
|                 |                  | Поток электрического смещения                           | $d\Psi$                       | А·с                                    | Кл                |
|                 | 3                | Разность электрических потенциалов                      | $\Delta\varphi$               | Дж/(А·с)                               | В                 |
|                 |                  | Электродвижущая сила, напряжение                        | $\mathcal{E}, U$              | Дж/(А·с)                               | В                 |
| II              | 2                | Импульс кулоновской силы                                | $ qEdt$                       | Дж·с/м                                 | Н·с               |
|                 | 3                | Электрическая мощность                                  | $P$                           | Дж/с                                   | Вт                |
|                 | 4                | Скорость изменения заряда                               | $i$                           | А                                      | А                 |
| III             | 2                | Электрическое сопротивление                             | $R$                           | Дж/(А <sup>2</sup> ·с)                 | Ом                |
|                 | 3                | Индуктивность   | $L$                           | Дж/А <sup>2</sup>                      | Гн                |
|                 | 4                | Электрическая емкость                                   | $C$                           | А <sup>2</sup> ·с <sup>2</sup> /Дж     | Ф                 |
|                 | 5                | Электрическая проводимость                              | $G$                           | А <sup>2</sup> ·с/Дж                   | См                |
| IV              | 2                | Напряженность электростатического поля                  | $E$                           | Дж/(А·м·с)                             | В/м               |
|                 | 3                | Электрический ток                                       | $i$                           | А                                      | А                 |
|                 | 5                | Поток электрической энергии                             | $W$                           | Дж/с                                   | Вт                |
|                 | 7                | Удельная электрическая проводимость                     | $\gamma$                      | А <sup>2</sup> ·с/(Дж·м)               | См/м              |
| V               | 1.1              | Линейная плотность электроэнергии<br>(кулоновская сила) | $W_{e(l)} = F_e$              | Дж/м                                   | Н                 |
|                 | 1.2              | Линейная плотность заряда                               | $q_{(l)} = \tau$              | А·с/м                                  | Кл/м              |
|                 | 1.3              | Абсол. диэлектрическая проницаемость                    | $\epsilon_{(l)} = \epsilon_a$ | А <sup>2</sup> ·с <sup>2</sup> /(м·Дж) | Ф/м               |
|                 |                  | Абсол. диэлектрическая восприимчивость                  | $\chi_{(l)} = \chi_a$         | А <sup>2</sup> ·с <sup>2</sup> /(м·Дж) | Ф/м               |
|                 | 2.1              | Поверхностная плотность заряда                          | $q_{(S)} = \sigma$            | А·с/м <sup>2</sup>                     | Кл/м <sup>2</sup> |
|                 |                  | Электрическое смещение (электр. индукция)               | $\Psi_{(S)} = D$              | А·с/м <sup>2</sup>                     | Кл/м <sup>2</sup> |
|                 | 2.2              | Плотность электрического тока                           | $i_{(S)} = j$                 | А/м <sup>2</sup>                       | А/м <sup>2</sup>  |
|                 | 2.3              | Плотность потока энергии                                | $W_{(S)} = S$                 | Дж/(м <sup>2</sup> ·с)                 | Вт/м <sup>2</sup> |
|                 | 3.1              | Объемная плотность заряда                               | $q_{(V)} = \rho$              | А·с/м <sup>3</sup>                     | Кл/м <sup>3</sup> |
|                 | 3.2              | Объемная плотность энергии                              | $W_{(V)} = w_e$               | Дж/(м <sup>3</sup> ·с)                 | Вт/м <sup>3</sup> |
| 3.3             | Поляризованность | $p_{e(V)} = P$  | А·с/м <sup>2</sup>            | Кл/м <sup>2</sup>                      |                   |
| VII             | 1                | Режим короткого замыкания                               |                               |  |                   |
|                 | 2                | Режим холостого хода                                    |                               |  |                   |
|                 | 3                | Трансформация электрической энергии                     | $U_1 / U_2 = i_2 / i_1$       |  |                   |
| VIII            | 1                | Плечо диполя  | $l$                           | м                                      | м                 |
|                 | 2                | Электрический момент диполя                             | $p_e$                         | Ам·с                                   | Кл·м              |

Д) В табл. 8 координатой состояния является магнитный поток, являющийся условно суммарным магнитным зарядом, хотя считается, что ни магнитного заряда, ни магнитной массы в природе нет. В магнитных катушках и рамках координатой состояния выступает потокоцепление, равное магнитному потоку всех витков катушки. Подобно тому, как это сделано в табл. 7, напряженность магнитного поля определяется не как отношение силы взаимодействия (силы Лоренца) к магнитному потоку, а как градиент энергии магнитного поля. Поэтому сила Лоренца включена в группу V, а в группу II включен импульс этой силы. Магнитная постоянная  $\mu_0$  не включена в табл. 8, так как является частным случаем абсолютной магнитной проницаемости из строки V.1.2, только в вакууме.

Табл. 8 Магнетизм

| Группа и строка |                      | Наименование физической величины                                    | Символ или формула | Единица измерения      |      |
|-----------------|----------------------|---|--------------------|------------------------|------|
| 1               | 2                    |   |                    | в ЭСВП                 | в СИ |
|                 |                      | 3   | 4                  | 5                      | 6    |
| I               | 1                    | Количество магнитной энергии  | $dW_m$             | Дж                     | Дж   |
|                 | 2                    | Изменение магнитного потока   | $d\Phi_m$          | Дж/А                   | Вб   |
|                 |                      | Потокоцепление  | $d\Psi_m$          | Дж/А                   | Вб   |
| 3               | Магнитодвижущая сила | $\mathcal{E}_m$   | А                  | А                      |      |
| II              | 2                    | Электрический заряд   | $qvBdt$            | А·с                    | Кл   |
| III             | 1                    | Магнитное сопротивление   | $R_m$              | А <sup>2</sup> /Дж     | А/Вб |
|                 | 4                    | Магнитная проводимость  | $\Lambda$          | Дж/А <sup>2</sup>      | Вб/А |
|                 |                      | Взаимная индуктивность  | $L$                | Дж/А <sup>2</sup>      | Гн   |
| IV              | 2                    | Напряженность магнитного поля                                       | $H$                | А/м                    | А/м  |
|                 | 3                    | ЭДС электромагнитной индукции                                       | $\mathcal{E}_B$    | Дж/(А·с)               | В    |
| V               | 1.1                  | Линейная плотность магнитной энергии<br>(сила Лоренца, сила Ампера) | $W_{m(l)} = F_L$   | Дж/м                   | Н    |
|                 | 1.2                  | Абсолют. магнитная проницаемость                                    | $L_{(l)} = \mu_0$  | Дж/(А <sup>2</sup> ·м) | Гн/м |
|                 | 2                    | Магнитная индукция  | $\Phi_{m(S)} = B$  | Дж/(А·м <sup>2</sup> ) | Тл   |
| VII             | 1                    | Замыкание магнитной цепи  |                    |                        |      |
|                 | 2                    | Работа с воздушным зазором  |                    |                        |      |
| VIII            | 3                    | Магнитный момент диполя (контура)                                   | $P'_m$             | Дж·м/А                 | Вб·м |

Е) В работе отсутствуют таблицы, посвященные двум важным формам движения: механической вращательной и термической, хотя эти формы движения включены в предыдущие работы автора (1993, 1998). Поскольку в этих формах движения сделана серьезная корректировка терминов и единиц измерения, то этой теме будет посвящены отдельные статьи.

### 6. Особенности и преимущества предложенного принципа систематизации на базе физических аналогий.

Укажем на наиболее важные отличительные особенности ЭСВП:

- ЭСВП приемлема для применения в качестве самостоятельного учебного и справочного пособия. Она в значительной мере для этого и предназначена. Изданная в виде справочного пособия, ЭСВП будет состоять из набора таблиц, каждая из которых будет соответствовать какой-нибудь э.ф.д. и будет составлена по образцу таблицы обобщенных величин, но без пропуска строк, как это сделано в табл. 2-8 данной работы. Наличие незаполненных строк будет свидетельствовать о неиспользованных по тем или иным причинам возможностях для создания производных физических величин.

- В ЭСВП включено много относительных величин, которым на практике придается иногда большее значение, чем величинам, от которых они образованы.

- Пользователь ЭСВП вправе дополнить свой личный экземпляр ЭСВП любыми новыми таблицами, применимыми в той области науки и техники, которой он занимается, а также дополнить любую таблицу новыми строками, если это не будет противоречить предложенному принципу систематизации физических величин.

- Если для какой-нибудь физической величины, которой пользователь хочет дополнить ЭСВП, отсутствует строка в таблице обобщенных величин с определяющим уравнением и размерностью, то следует исследовать причину этого: возможно, эта физическая величина предложена некорректно и ее не следует вводить в ЭСВП или эта величина нехарактерна для чаще всего применяемых э.ф.д. И лишь после такого исследования принимать решение о целесообразности ввода этой физической величины в ЭСВП. Таким образом, ЭСВП способна либо прогнозировать введение новых производных величин в ту или иную

э.ф.д., либо **сигнализировать о некорректности введения таких величин**, что служит одним из признаков правильно принятого принципа систематизации.

- Каждый раздел физики или каждая техническая дисциплина могут изучать одну или несколько различных э.ф.д., то есть их может обслуживать несколько таблиц ЭСВП. Своеобразие каждой таблицы определяется только соответствующей координатой состояния.

- ЭСВП лишена ряда издержек, которые пришлось допустить при разработке СИ, поскольку ее не ограничивают условности, повлиявшие на составление СИ. Классическая физика пришла к системе СИ, предположив, что принципы систематизации физических величин и их единиц измерения должны быть одинаковы и что основными физическими величинами должны быть те, для которых существуют основные единицы измерения. Другими словами, система более низкого иерархического уровня продиктовала условия создания системы более высокого иерархического уровня, о чем более подробно рассказано в работе Когана (2004). Применяя по этому поводу философские категории, следствие родило причину. В ЭСВП это нарушение принципа детерминированности устранено. Связь между ЭСВП и СИ чисто формальная и выражается в равенстве единиц измерения.

Система СИ, как известно, существует в 7-мерном пространстве размерностей основных величин (она и обозначается как система LMTIΘJN). В ЭСВП каждая э.ф.д. получает систему физических величин, существующую в 4-мерном пространстве размерностей (ее можно обозначить как систему ELTK). И хотя в каждом исследуемом процессе имеется много разных э.ф.д., принцип четырех основных величин для любой отдельно взятой э.ф.д. остается неизменным. Только в механической линейной э.ф.д. этот принцип может показаться, на первый взгляд, нарушенным (см. табл. 2), так как основные величины в этой э.ф.д. имеют всего три размерности. Но такое положение имеет место лишь по причине того, что размерности двух величин: координаты состояния и длины (L) в данной э.ф.д. формально совпадают.

Для систематизации единиц измерения такой принцип подбора основных величин неудобен, так как для единицы измерения координаты состояния каждой э.ф.д. пришлось бы создавать свой эталон. И так система СИ вынуждена время от времени расширять список основных величин. Для решения проблемы систематизации физических величин проблема создания новых эталонов не возникает.

Все физические величины классической физики, закрепленные стандартами СИ, без проблем помещаются в таблицы ЭСВП. Более того, ЭСВП может подсказать пути сокращения количества производных величин и, соответственно, единиц измерения в системе СИ. Новые же физические величины могут вводиться только по желанию исследователя. При этом ЭСВП указывает корректные пути образования этих новых величин, а попутно указывает на необходимость корректировки ряда существующих наименований физических величин и некоторых единиц измерения, о чем автор уже упоминал в предыдущих работах. А с дидактической точки зрения ЭСВП помогает лучше понять происхождение многих законов физики, устанавливает логическую взаимосвязь между разделами физики и тем самым может облегчить преподавание физики и общетехнических дисциплин.

Важно заметить также, что **размерности физических величин** в ЭСВП устанавливаются **только по обобщенным определяющим уравнениям** таблицы обобщенных величин. Эти уравнения не всегда совпадают с определяющими уравнениями, принятыми в системе СИ. Несколько примеров:

а) определяющее уравнение строки I.3 для механической линейной формы движения не совпадает со II законом Ньютона, так как в ЭСВП размерность силы определяют по размерности работы, а не по размерностям массы и ускорения;

б) сила, действующая на пробный заряд в электростатическом поле взаимодействия, определяется в ЭСВП как линейная плотность энергии поля, а не как произведение заряда на напряженность поля, (указанный вариант определения можно распространить на любое поле взаимодействия);

в) в ЭСВП размерность магнитной индукции определяют по размерности магнитного потока, а не наоборот, как в СИ; г) в ЭСВП мощность и поток энергии, импульс и количество движения являются разными физическими величинами, так как у них разные определяющие уравнения, тогда как в СИ у них одинаковые определяющие уравнения, хотя и разные словесные формулировки.

Вопрос о том, как и в какой очередности следует составлять определяющие уравнения, является предметом дискуссии. Принцип систематизации, положенный в основу ЭСВП, естественным образом указывает на то, чья точка зрения в каждом конкретном случае более корректна.

## **7. Выводы.**

Предложенная система физических величин ЭСВП подтвердила ряд важных теоретических выводов, позволяющих поставить точку в некоторых многолетних дискуссиях. Например, определено необходимое и достаточное количество основных физических величин в любой элементарной форме движения, оно равно четырем. Оказалось, что нет свободы в выборе очередности применения определяющих уравнений, эту очередность диктует порядок составления таблицы обобщенных физических величин. В частности, из ЭСВП вытекает важный вывод о том, что сила – это всего лишь линейная плотность энергии поля, и поэтому опора на эту удельную физическую величину, как на основу для составления ряда определяющих уравнений, затрудняет понимание функционирования полей взаимодействия.

Автору представляются естественными изменения в области метрологии и физической терминологии, и ЭСВП в этом может оказать серьезную помощь. Например, система ЭСВП может помочь исследователям в выводе законов в любом новом прикладном направлении просто путем правильного выбора основных физических величин в исследуемой форме движения и использования определяющих уравнений таблицы обобщенных величин.

Автор отдает себе отчет в том, что при решении такой сложной проблемы, как систематизация физических величин, возможны неверные выводы и просто ошибки, включая опечатки. Поэтому он с благодарностью примет любые критические замечания. В то же время автор заметил в процессе работы над этой проблемой, что по мере углубления в нее уже не столько он составлял систему ЭСВП, сколько сама логика составления системы заставляла его принимать те или иные решения и исправляла ранее принятые решения. И этот процесс продолжается.

В заключение можно заметить, что всякая работа в русле систематизации и обобщений, подобная данной, может быть, в принципе, использована не только физиками и философами, стоящими на позициях материализма, но и теологами, ибо поиск любого обобщающего начала так или иначе может быть увязан с идеей о Божественном происхождении природы. Данная работа основана на материалистическом взгляде на природу, но сам системный подход в науке плодотворен и для материалистов, и для идеалистов.

## **Литература**

1. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск. *Высшая школа*, 464 с.
2. Коган И.Ш., 1993, Основы техники. – Киров, КГПИ, 231 с.
3. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **5**.
4. Коган И.Ш., 2004, Иерархия уровней систематизации в физике.
5. Сычев В.В., 1970, Сложные термодинамические системы. – М., *Энергия*.
6. Эткин В.А., 1991, Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии. – Изд. Саратовского ун-та, 167 с.