

СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И СИСТЕМЫ ИХ ЕДИНИЦ – НЕЗАВИСИМЫЕ ДРУГ ОТ ДРУГА ПОНЯТИЯ

АННОТАЦИЯ. В представлении многих принципиальной разницы между системами физических величин и системами их единиц измерений нет, одно тесно связано с другим. Такое понимание имеет место также в научной и в педагогической литературе. Целью данной статьи является не просто разъяснение обратного, но и указание на отрицательные последствия такого заблуждения.

1. Конфликт определений и что за этим кроется.

Прежде чем сравнивать понятия, необходимо в точности установить, что понимается под составляющими их ключевыми словами: *система*, *физическая величина*, *единица физической величины*. Приведем для начала их определения, взятые из различных первоисточников, с нашими комментариями.

1.1. Система

Система (от греч. *systema* - целое, составленное из частей; соединение). Определений этого понятия много, мы укажем определение из БСЭ: система – это *“множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство”*. Это определение многим авторам кажется недостаточным.

В.Кошарский (2006), проанализировав большое количество первоисточников, синтезировал такое определение: система – это *“совокупность взаимосвязанных и взаимовлияющих элементов, расположенных в определенной закономерности в пространстве и времени и действующих совместно для достижения общей цели”*. На этом определении, как наиболее, по нашему мнению, всеобъемлющем, мы и остановимся.

В этом определении хотелось бы выделить два ключевых слова – *“закономерность”* и *“цель”*, к ним мы еще вернемся.

1.2. Физическая величина.

В стандарте ГОСТ 16263-70 “Метрология. Термины и определения” сказано: *“физическая величина* (величина) – свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта”.

Это определение звучит несколько иначе в словаре-справочнике М.Юдина и др. (1989): **“физическая величина** (величина) – характеристика одного из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общая в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта”. Как видим, в более позднем определении появляется важное дополнение: физическая величина – это не свойство, а характеристика одного из свойств. И, наконец, в метрологическом справочнике А.Чертова (1990) это определение дополняется новыми словами о том, что термин “физическая величина” применяется для материальных систем и объектов.

Л.Брянский, А.Дойников и Б.Крупин (1995, 1996) предлагают исключить из определения физической величины прилагательное “физическая”. Они аргументируют свое предложение двумя причинами. Во-первых, нельзя исключать из процесса измерений химические, биологические и прочие нефизические величины. А вторая причина в том, что в результате этого российские метрологические стандарты приблизятся к международным, в которых прилагательное “физическая” перед словом “величина” отсутствует, а употребляется термин “измеряемая величина”. С точки зрения метрологии

это предложение рационально. Но в данной статье речь идет о системах физических величин, поэтому предложение об исключении прилагательного “физическая” в контексте данной статьи рассматривать не будем.

Распространено мнение о том, что “физические величины следует определять только операционально – через описание процедуры измерений, позволяющей сделать известным числовое значение определяемой величины” (К.Гомоюнов, 1983). Однако в трех приведенных вначале определениях понятие “физическая величина” не увязано напрямую с процессом измерений.

Кроме того, имеются физические величины, которые не измеряются, а рассчитываются. Например, в работе С.Суrowsикиной (2004) определение физической величины звучит так: это “*количественная характеристика свойств тел, явлений или процессов, которую можно выразить в процессе измерений или вычисления*”. К.Гомоюнов (1983) также пишет: “...*физическую величину можно рассматривать как мысленную модель свойства. Более конкретно – как количественное выражение свойства или как количественное знание о свойстве*”. При таком подходе обязательное включение в понятие “физическая величина” процесса измерения не обязательно.

1.3. Единица физической величины.

Согласно определению по А.Власову и Б.Мурину (1990), **единица физической величины** – это “*физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1*”. Это определение дополняется в энциклопедии “Википедия” следующим придаточным предложением: “*и которая применяется для количественного выражения однородных физических величин*”. Обратим внимание на то, что единица физической величины может рассматриваться и как физическая величина.

Самым существенным, на наш взгляд, словом в этом определении является слово “**размер**”, поскольку это слово подразумевает *процесс измерения*. Поэтому два понятия – “единица физической величины” и “единица измерений физической величины” – означают, по сути дела, одно и то же. Во всяком случае, мы в данной статье будем понимать их именно так.

Условность присвоения числового значения, о которой говорится в определении единицы физической величины, диктуется практическим удобством применения единиц измерений в науке и технике и удобством создания эталонов этих единиц. Понятно, что указанные две причины условности единицы физической величины имеют не столько физическое обоснование, сколько историческую, экономическую и психологическую подоплеку.

В итоге, между физической величиной и единицей физической величины, исходя только из одних определений, существует важнейшее отличие: единица физической величины обязательно должна измеряться, а физическая величина – не обязательно.

1.4. Система физических величин.

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) приведено такое определение: система физических величин – это “*совокупность взаимосвязанных физических величин, образованная в соответствии с выбранными принципами, когда одни величины принимаются за независимые (основные), а другие являются функциями (производными) независимых величин*”.

Следовательно, главная задача при создании системы физических величин – определиться с основными принципами совокупности физических величин. Мы это понимаем, в соответствии с определением понятия “система”, таким образом: элементы системы (физические величины) должны подчиняться определенной закономерности (или не очень большой группе закономерностей). А если это так, то предполагается расположение физических величин в определенной закономерной последовательности. Таким образом, основные физические величины системы должны выбираться в

соответствии с основными принципами этой системы. Кроме того, в соответствии с определением системы физических величин, основные физические величины системы являются независимыми друг от друга.

1.5. Система единиц физических величин.

В том же справочнике А.Чертова (1990) приведено такое определение: система единиц – это *“совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы физических величин”*.

Из определения четко следует вывод о том, что система единиц является понятием, подчиненным по отношению к системе физических величин, так как она образована в соответствии *“с принятыми принципами для заданной системы физических величин”*. Другими словами, предполагается, что система физических величин, определяющая систему единиц, создана и задана предварительно, и потому у системы единиц может не быть своей собственной закономерности, по которой она создана. Но тогда система единиц не соответствует приведенному в самом начале статьи определению понятия *“система”*. На практике мы тоже наблюдаем, что в любых перечнях единиц физических величин отсутствует какая-либо закономерная последовательность.

Уже не стоит говорить о том, что, к сожалению, и в литературе, и в обиходе достаточно часто встречаются некорректные словосочетания. Например, в бытующем словосочетании *“система физических величин СИ”* объединены сразу два разные понятия: и система величин, и система их единиц. Более того, при работе с поисковыми системами Интернета эти два понятия – *“система физических величин”* и СИ – считаются во многих ссылках чуть ли не синонимами. Как можно было убедиться из приведенного выше анализа определений, это грубая ошибка, СИ является системой единиц, а не системой физических величин.

Иногда даже встречается такое понятие, как *“система измерений физических величин”*, под которой тоже понимается СИ. Но система измерений явно относится к измерительной технике и поэтому не относится к предмету обсуждения в данной статье.

И в системах физических величин, и в системах их единиц главными ключевыми словами являются *“основные физические величины”* и *“основные единицы физических величин”*, к рассмотрению которых мы и перейдем.

1.6. Основные физические величины и основные единицы физических величин.

Согласно определению понятия *“система физических величин”* основные физические величины не зависят ни друг от друга, ни от других величин этой системы. Сразу же возникает вопрос: а должны ли они вообще от чего-нибудь зависеть?

По поводу того, как выбрать основные физические величины, уже давно ведется оживленная дискуссия, начавшаяся еще в начале XX века с различных взглядов на эту тему выдающихся физиков М.Планка и А.Зоммерфельда. Суть этой дискуссии можно выразить в очень коротком вопросе: *“Выбор основных физических величин произволен или продиктован природой?”*

Точка зрения М.Планка, которую разделяет известный метролог Л.Сена (1988), заключается в том, что выбор основных физических величин определяется практическими соображениями удобства пользования системой единиц физических величин. То же самое говорит и А.Чертов (1990): *“Выбор физических величин, принимаемых за основные, и их число в принципе произвольны, но практические соображения приводят к некоторому ограничению свободы в выборе основных величин”*. Точка зрения А.Зоммерфельда прямо противоположна – выбор основных физических величин продиктован природой и, следовательно, ни от каких систем единиц не зависит.

На наш взгляд, эта дискуссия может завершиться просто. Стоит только иначе сформулировать вышеуказанный вопрос, добавив в него всего четыре подчеркнутых

слова: “Выбор основных физических величин для составления системы единиц произволен или продиктован природой? “ И тогда ответ будет очевиден. Практические соображения действительно приведут к ограничению свободы выбора основных физических величин и к ограничению свободы выбора числа основных физических величин. Но, повторяем, только для составления системы единиц.

И это естественно, в конце концов, метрология по определению – наука об измерениях, и это обязывает ее заботиться, прежде всего, о международной унификации единиц физических величин. С этой точки зрения правы и М.Планк, и Л.Сена, и их последователи. Но только в этом случае следует говорить об основных единицах физических величин, а не об основных физических величинах. Если же о единицах физических величин речь не идет, то ответ на самый первый вопрос совсем не очевиден.

Если речь идет о систематизации только физических величин, если вопросы измерений при этом не затрагиваются вообще, то правильной оказывается точка зрения А.Зоммерфельда. Природе, в конце концов, безразлично, какие системы единиц измерений удобны человеку на планете Земля.

Только разделение двух понятий – система физических величин и система единиц – даёт возможность устранить возражения метрологов относительно предлагаемых различными авторами методов систематизации физических величин, не всегда увязанных с СИ. Поэтому автор данной книги предлагает такое конкретное определение: “Основная единица физической величины – это единица той физической величины, которая принята за основную в данной системе единиц“. Если же задача систематизации или унификации единиц физических величин не рассматривается, то никакие практические соображения не могут повлиять на то, как следует выбрать основные физические величины.

Итак, подведем итог нашим рассуждениям. Физические величины существуют независимо от их единиц измерений – это характеристики свойств природы. Поэтому любые соображения и действия при выборе основных физических величин и выборе их количества в процессе систематизации физических величин не могут относиться к разряду случайных и волевых событий, даже если такие события имеют форму международной конференции. Авторитарность в выборе основных физических величин может привести только к бессистемности, что мы, собственно говоря, и наблюдаем сейчас, когда анализируем системы единиц физических величин.

Л.Брянский (2002) утверждает: “*Все величины обозначают существующие свойства, среди которых нет ни основных, ни производных от них. Все величины в этом смысле равноправны. Это реальности нашего мира. Человек над ними не властен. Он может их только называть (поименовывать)*“. Но утверждение Л.Брянского верно лишь тогда, когда речь идет опять-таки о единицах измерений, ибо сами процессы измерения налагают определенные условия на процесс отбора основных единиц величин. Процессы измерения – это и есть реальности нашего мира, над которыми человек не властен. В природе же физические величины не равноправны, и задача человека – правильно найти (а не выбрать) основные физические величины.

Развивающаяся сейчас уровневая физика “не понимает“ равноправия физических величин. Системный подход, одна из основ уровневой физики, говорит о том, что то, что находится на более низком иерархическом уровне, должно определяться тем, что находится на более высоком иерархическом уровне. И только те физические величины, которые характеризуют свойства материи, находящиеся на самом высоком уровне иерархии обобщения и систематизации в физике, заслуживают того, чтобы именно их считали основными. А уж в каких единицах будет их измерять человек, – для природы это действительно безразлично.

О том, каковы должны быть основные физические величины, поговорим чуть позже.

2. Цели системы физических величин и системы единиц.

2.1. Что от чего зависит?

Сам факт того, что для системы физических величин и системы единиц имеются два разных определения, уже говорит в пользу верности названия данной статьи. Но нам еще предстоит выяснить, одинаковы ли цели у этих систем.

Целью системы физических величин является их систематизация на базе систематизации физических закономерностей, и это одна из задач теоретической физики. Целью же системы единиц является их унификация и стандартизация, это практическая задача, имевшая и имеющая важнейшее международное экономическое значение. Как видим, – цели разные. Аналогичная точка зрения и была высказана ранее в работе И.Когана (2003).

Поскольку единицы определяются, как “физические величины фиксированного размера, которым условно присвоено числовое значение, равное 1”, то систематизация единиц измерений, в принципе, может зависеть от систематизации физических величин. Но нет причин, по которым она должна от этого зависеть.

При систематизации единиц физических величин действительно надо подобрать удобную для этой цели систему физических величин. Да и сама подобранная для этой цели система физических величин обычно составляется так, чтобы было удобно унифицировать единицы. Но нигде не доказано, что подобранная таким образом система физических величин соответствует законам природы.

А вот составленная в соответствии с законами природы система физических величин в принципе может не соответствовать международно признанной системе единиц. Она и не обязана ей соответствовать с точки зрения принципа причинности, она ведь от нее не должна зависеть. Попытки навязать процессу систематизации физических величин наличие существующих систем единиц только мешают процессу систематизации.

2.2. Иерархия уровней систематизации в физике.

Приведем на рис. 1 схему иерархии уровней обобщения и систематизации в физике, опубликованную в монографии И.Когана (2006). Эта схема несколько изменена по сравнению со схемой, приведенной ранее в статье того же автора (2003) на сайте sciteclibrary.ru, но принципы построения и терминология остались прежними. Поэтому возвращаться к их пояснению не будем.

Из иерархии уровней систематизации в физике вытекает интересующий нас в данной постановке вопроса вывод: систематизация физических величин находится на более высоком иерархическом уровне, чем систематизация единиц измерений. Из этого вывода следует, что физические величины, выбранные в качестве основных при систематизации физических величин, совсем не обязательно должны быть основными при систематизации единиц измерений, так как это противоречило бы принципу причинности.

Конечно, система СИ, да и любая другая система единиц измерений, например, гауссова система, должна обслуживать любую корректно составленную систему физических величин, и в справедливости этого мы убеждаемся на практике. Но при этом система СИ, как уже было сказано, не должна навязывать свое влияние на решение проблемы систематизации физических величин

2.3. Последовательность расположения физических величин в системе.

Среди физических величин существует своя собственная иерархия, организуемая по **принципу последовательности** образования физических величин. Если основные физические величины продиктованы нам природой и друг от друга независимы, то все прочие физические величины зависят от основных, а потому и названы **производными физическими величинами**.



Рис. 1 Иерархия уровней обобщения и систематизации в физике

Указанные зависимости имеют вид уравнений связи между величинами, которые мы будем далее называть **определяющими уравнениями**, так как они определяют производные физические величины. Сами основные физические величины, естественно, не имеют определяющих уравнений, но по ним с помощью определяющих уравнений рассчитываются производные физические величины.

По этой причине существует очередность образования производных физических величин. Производные величины, определяемые только с помощью основных величин, называют производными величинами первой очереди. Производные величины, определяемые по основным величинам и производным величинам первой очереди, называют производными величинами второй очереди. И так далее.

Принцип последовательности требует, чтобы в любых перечнях физических величин производные величины более дальней очереди следовали после производных величин более близкой очереди. В СИ и, соответственно, в современных метрологических и физических справочниках это требование повсеместно не учитывается. И это еще одно свидетельство того, что СИ не соответствует определению понятия “система”.

2.4. Какие физические величины находятся на самом высоком уровне иерархии?

Материя существует в движении, а главной и основной количественной характеристикой движения является энергия. Поэтому энергия и является основной физической величиной.

Первым, как нам кажется, ввел энергию в состав основных физических величин М.Планк, и ввел он ее при составлении своей естественной системы единиц. Правда, в естественной системе единиц Планка энергия является не самостоятельной основной величиной, а сомножителем в составе такой основной физической величины, как

постоянная Планка, и сомножителем в составе другой основной физической величины системы Планка – постоянной Больцмана.

А.Вейник (1968) был более категоричен, он заявил, что непосредственно энергия является основным свойством природы. А на рубеже XX и XXI веков одна за другой появляются работы И.Когана (1998в), Д.Ермолаева (2003), И.Львова (2003), Г.Трунова (2004), П.Пирната (2005). Их авторы независимо друг от друга, не будучи знакомыми с работами А.Вейника (по крайней мере, в начале своих исследований) различными путями приходят к тому, что систематизация физических величин возможна только в том случае, если основной физической величиной будет энергия. Такая “кучность попадания” говорит об очень высокой вероятности справедливости подчеркнутого вывода.

При приведенном перечислении авторов мы не можем не учесть то, что, скорее всего, автору данной статьи не удалось отыскать в океане информации и других последователей той же точки зрения. Нельзя также не обратить внимания на то, что работы систематизаторов физических величин, по-видимому, пока не имеют возможности проникнуть на страницы весомых академических журналов, и известными они становятся, в основном, благодаря публикациям в Интернете.

Еще две основные величины – расстояние и время – предоставляет в наше распоряжение тот факт, что движение может происходить только в пространстве и во времени.

Эти две величины настолько всегда были, бесспорно, основными, что в середине XX века возник соблазн обойтись только ими двумя в качестве основных физических величин. Так появились системы размерностей в ЛТ–координатах Р. ди Бартини (1966, 1978). Энергия в этих системах является величиной производной.

У этого автора имеются последователи. Большую и интересную работу в этом направлении проделал А.Чуев (1999, 2007). Время покажет обоснованность этого направления при систематизации физических величин.

В качестве четвертой основной величины автор предлагает угловое перемещение.

По этому поводу уже давно ведется оживленная дискуссия среди метрологов. В качестве примера можно привести спор в статьях И.Когана (1998а, 1998б) и Л.Брянского, А.Дойникова и Б.Крупина (1999)). Автор данной статьи так обосновывает свою точку зрения.

Прямолинейное движение является в физике математической абстракцией. Прямолинейная траектория движения существует только, как математическое понятие, любой отрезок такой траектории должен быть представлен, как часть окружности с бесконечно большим радиусом. Прямолинейное движение тела является частным случаем орбитального движения тела по дуге окружности, центр которой удален от тела на достаточно большое расстояние. Другими словами, перемещение центра масс тела по прямой линии – это частный случай перемещения по дуге окружности, соприкасающейся с траекторией в данный момент времени.

Применим к анализу этого частного случая известное уравнение для определения длины элементарной дуги $ds = R d\varphi$, где R – радиус соприкасающейся окружности, а $d\varphi$ – угловое перемещение этого радиуса. Поскольку $d\varphi \rightarrow 0$ при $R \rightarrow \infty$, то длина дуги ds в этом случае является неопределенностью типа $\infty \cdot 0$. Поэтому на практике ничто не запрещает считать перемещение по дуге приблизительно прямолинейным перемещением и пренебречь при этом значением углового перемещения. С точки зрения математики это оправдано, но с точки зрения физики – нет, так как при этом теряется физическая величина, называемая угловым перемещением.

Угловое перемещение $d\varphi$ и его модуль (угол поворота) имеют в СИ единицу измерений рад (радиан), но размерность им при этом в СИ не присвоена, они считаются величинами безразмерными. Заметим в этой связи, что если в вышеуказанном уравнении для определения длины элементарной дуги ds анализ размерностей заменить анализом

единиц измерений, то получится, что единица измерений длины дуги должна быть равна м рад.

Число π тоже является углом поворота и, следовательно, согласно нашему предложению, должно тоже иметь единицу измерения рад. Последствия этого достаточно серьезны, ведь в единицы измерений всех физических величин, определяемых с помощью числа π (длина окружности, площадь круга и сферы, площадь боковой поверхности цилиндра, объем сферы и т.д.), войдет единица рад. Ссылка на то, что число π , как отношение длины окружности к ее диаметру, является величиной безразмерной, справедлива только в рамках СИ. Длина окружности, как и длина дуги, тоже должна иметь единицу м рад.

Анализ размерностей многих физических величин вращательных форм движения привел автора к тому, что их единицы измерений должны иметь в качестве множителя единицу рад. Войдет она, в частности, и в единицу вращающего момента и в единицу силы, участвующей в образовании этого момента. А если вспомнить, что π входит в состав законов взаимодействия зарядов силового поля (законов Ньютона, Кулона, Ампера), то круг физических величин, единицы которых должны иметь в качестве множителя единицу рад, существенно расширяется.

Вращение играет основную роль в любом движении, поэтому физическая величина, характеризующая вращение, то есть угол поворота, не может, по нашему мнению, не являться основной физической величиной. Упорное стремление физиков и метрологов ограничить применение этой величины только рамками единиц угловой скорости и углового ускорения, да и то без права иметь размерность, вызывает недоумение. Тем более что недорогой эталон угла поворота подсказан природой – это полный плоский угол или один полный оборот радиус-вектора.

Конечно, на практике принять рекомендацию автора действительно очень сложно, как с точки зрения экономики, так и с точки зрения психологии, но ведь систематизация физических величин не требует немедленного изменения СИ. Мы уже показали, что система физических величин и СИ – это независимые друг от друга понятия. Так что все практические изменения можно проводить постепенно, в приемлемом темпе.

В работах автора (2004, 2006) показано, насколько логичнее становятся определяющие уравнения во всех формах движения, в которых присутствует вращение, при присвоении угловому перемещению размерности основной физической величины. Более того, без этого, как оказалось, полнокровная систематизация физических величин вообще не выстраивается.

3. Независимость систем физических величин от систем их единиц ставит точку в споре о размерностях и единицах измерений.

3.1 Независимы ли размерности физических величин?

Понятие “размерность” до сих пор однозначно не определено. По поводу физического смысла размерности имеются два противоположных мнения. Вот как описывает эту ситуацию Л.Брянский (1993): “Более ста лет продолжают споры о физическом смысле размерностей. Одна точка зрения – размерность выражает физическую связь между данной величиной и основными величинами системы. Вторая, противоположная, предполагает, что единственный смысл размерности – указание на то, как изменится единица данной величины при известном изменении единиц, принятых за основные”.

Л.Сена (1988) отмечает различие во взглядах М.Планка и А.Зоммерфельда. Если М.Планк считал размерность физической величины некоторой условностью, то А.Зоммерфельд придерживался противоположной точки зрения. Сам же Л.Сена придерживается той точки зрения, согласно которой понятие размерности относится не к

физической величине, а к ее единице измерений. Эта же точка зрения изложена и в популярном учебнике по физике И.Савельева (2005).

В метрологическом справочнике А.Чертова (1990) единицы измерений поясняются во введении после пояснения физических величин, и лишь после этого следуют параграфы, поясняющие обозначения, определяющие уравнения и системы физических величин. У А.Чертова, по сути дела, системы физических величин отождествляются с системами единиц. Л.Брянский (2002) тоже выражает свою солидарность с точкой зрения М.Планка и считает, что “это мнение подтверждается зависимостью размерности от выбранной системы единиц”.

Другая точка зрения изложена в определении размерности, взятом из справочника М.Юдина и др. (1989): *“Размерность физической величины – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятой в данной системе величин за основные, и с коэффициентом пропорциональности, равным единице”*. Обратим внимание на то, что в этом определении нет ни слова о единицах физических величин.

В справочнике по физике Б.Яворского и А.Детлафа (1990) цитируется только первая часть этого определения размерности. А.Чертов (1990) ссылается на вышеуказанное определение размерности, но параграф о размерностях в своем справочнике он помещает в самом конце введения.

Наконец, вспомним о том, что, согласно определению А.Власова и Б.Мурина (1990), единица измерений тоже является физической величиной, из чего следует, что понятие “размерность” может относиться одновременно и к физической величине, и к ее единице.

В работе Л.Брянского (2002) дается новое определение размерности: *“Размерность – это выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных единиц в различных степенях (целых, дробных, положительных, отрицательных) и отображающее связь данной производной единицы с основными”*. В приведенном определении понятие “физические величины” исчезло вообще, вместо него имеется понятие “единицы”.

Чтобы дополнительно проиллюстрировать неопределенность позиции метрологов в отношении понятия “размерность”, приведем цитату из книги А.Власова и Б.Мурина (1990): *“Каждой из основных величин приписывают (подчеркнуто нами – И.К.) свою особую, независимую от других размерность”*. И там же, но в другом параграфе, те же авторы признают, что “системы единиц электромагнетизма обладают единством, которое выражается в том, что размерность любой из электрических и магнитных величин фактически одинакова во всех системах”. И, наконец, цитата из той же книги: *“Пользование единицами СИ приводит к убеждению в том, что каждой физической величине присуща своя собственная неизменная размерность”*. Так и остается неясным, приписывают ли размерность, или она присуща каждой физической величине?

Все разногласия и вся неопределенность в этом вопросе сводятся, по сути дела, к отсутствию ответа на вопросы – что должно стоять на более высоком иерархическом уровне: размерности физических величин или их единицы измерений? Что из чего вытекает? А, может быть, одно от другого вообще не зависит?

Ссылки ряда авторов на то, что размерности имеют большую практическую ценность вследствие полезности широко применяющегося на практике анализа размерностей, не приводят к ответу на эти вопросы. Идентичность размерностей двух разных физических величин вовсе не означает идентичности этих физических величин. Идентичность физических величин или ее отсутствие выясняются только при сравнении определяющих уравнений. Анализ размерностей действительно может показать некорректность анализируемой физической формулы, но доказать верность физического уравнения он не может.

К слову, анализ размерностей физических величин вполне можно заменить анализом размерностей единиц, ответ получается тот же самый. Более того, у формулы размерностей единиц больше возможностей, чем у формулы размерностей физических величин. Во-первых, в формуле размерностей единиц, согласно А.Власову и Б.Мурину (1990), присутствуют единицы плоского и телесного углов, чего в формуле размерностей физических величин нет, и, во-вторых, практики больше привыкли проводить анализ единиц, чем анализ размерностей.

Пришла пора изложить точку зрения автора. Она определяется двумя тезисами, скорее всего, не новыми. Первый из них – ***физические величины существуют и систематизируются независимо от их единиц измерений***. Можно сказать и так – у физической величины должна быть размерность, а в существовании размерности у единицы измерения этой величины особой необходимости нет. (Если же кому-то более привычно определять размерность по единице измерений, то это не возбраняется до тех пор, пока единица измерений трактуется в стандартах, как физическая величина.)

Размерности физических величин для одних и тех же физических величин должны быть одинаковыми на любой планете в любой звездной системе, в то время как единицы измерений тех же физических величин могут оказаться там какими угодно, в том числе, и совсем не похожими на наши земные.

Л.Брянский (2002) предлагает называть символы размерности “специфическими логическими операторами”, но он при этом полагает, что пользоваться ими можно лишь до тех пор, пока они “*определены только в рамках соответствующих систем единиц*”. А в этих рамках можно, в принципе, обходиться и без размерностей физических величин. “*Совпадение размерностей величин, имеющих различную физическую природу*”, о котором говорит Л.Брянский (2002), отмечая это как недостаток, как раз и служит отрицательным примером того, что получается, когда размерности физических величин начинают зависеть от выбранной системы единиц.

Второй тезис – ***размерность производной физической величины вытекает напрямую из анализа размерностей уравнения, определяющего эту физическую величину***. Именно определяющие уравнения пронизывают всю иерархию уровней систематизации в физике, они определяют расположение тех или иных понятий на определенном иерархическом уровне. Определяющие уравнения первичны, а размерность – вторична. Размерности являются просто специфической сокращенной формой определяющих уравнений и потому они корректны ровно в той же мере, в какой корректны определяющие уравнения.

Наличие одной и той же размерности у разных по природе производных физических величин быть не должно. Если же в системе физических величин, предлагаемой каким-нибудь автором, такое имеет место, то полезно проанализировать причины этого.

Одной из причин может быть неправильный выбор основных физических величин. Например, причиной одной и той же размерности в СИ у энергии и вращающего момента является отсутствие в числе основных физических величин углового перемещения. Другой причиной может быть то обстоятельство, что определяющие уравнения разных величин могут содержать в качестве сомножителей различные безразмерные физические величины и различные числовые коэффициенты, что может изменить природу физической величины.

Еще одно замечание. Р.ди Бартини и П.Кузнецов (1978) считают, что “*появляющиеся в формулах размерностей дробные показатели при использовании первичных величин ЛМТ лишены всякого физического содержания и логического смысла*”. Неверность этого утверждения показана в книге А.Власова и Б.Мурина (1990, § 31). Дробность или целочисленность показателей размерностей условна и зависит от выбора основных величин. Физическое же содержание относится к физической величине, а не к ее размерности.

Физики и метрологи на протяжении веков очень озабочены тем, что единицы измерений очень уж различны при переходе от одной формы движения к другой, от одной формы силового поля к другой, от одного раздела физики к другому. Тем более что сами единицы называются по-разному, и перебросить мостик от одной единицы к другой бывает не так-то просто, особенно студентам и инженерам-практикам. Но кто же виноват в том, что физики придумали такое большое количество именованных единиц, а метрологи им в этом не препятствовали?

3.2. И все-таки корректировать СИ надо.

Мы уже говорили, что причины условности выбора единиц основных физических величин в СИ имеют не столько физическое обоснование, сколько историческую, экономическую и психологическую подоплеку. Они и обусловили те издержки, на которые вынуждены были идти ученые, разрабатывая многочисленные системы единиц измерений и, наконец, последнюю по хронологии международную систему единиц (СИ). Тем не менее, **унификация единиц измерений** (а не их систематизация, СИ не отвечает всем требованиям понятия “система“) проведена весьма тщательно, поскольку без этого оказалось бы просто невозможным поступательное развитие науки и техники. Нет сомнения, что СИ будет развиваться и дальше по мере развития физики и техники.

И всё же единицы измерений находятся на следующем после размерностей физических величин иерархическом уровне. Из этого следует важнейший вывод о том, что *систематизация физических величин может и должна проводиться независимо от существующей унификации единиц измерений этих величин.*

К сожалению, именно унификация единиц измерений, проводящаяся уже около двух веков, определяла до сих пор, какими должны быть основные физические величины. Она и сейчас еще претендует на эту роль, и потому продолжает основательно влиять на решение проблемы систематизации физических величин. Об этом как раз и свидетельствуют поправки к определению размерности в работах Л.Брянского, когда слова “в системе величин“ заменяются словами “в системе единиц“.

Еще раз отметим, что ни в каких системах единиц физических величин не соблюдается принцип последовательности расположения единиц. Да и нужен ли он там? А.Власов и Б.Мурин (1990) пишут: “Условия когерентности и последовательности образования производных единиц не являются совершенно жесткими и оставляют некоторую свободу, как в выборе определяющих уравнений, так и в очередности образования производных единиц“. А ведь речь идет о той самой свободе, которая, согласно принципу причинности, не должна существовать при выборе основных физических величин и при выборе очередности определяющих уравнений при систематизации физических величин.

Как показывают исследования различных авторов в области систематизации физических величин, после того, как эта систематизация начинает проводиться по определяющим отношениям независимо ни от каких систем единиц измерений, начинается выясняться, что некоторые часто применяемые единицы СИ необходимо корректировать. А после такой коррекции должны вноситься соответствующие изменения в метрологические стандарты и в учебные пособия. Поэтому процесс корректировки и внесен в схему иерархии уровней систематизации на рис. 1.

К сожалению, необходимость корректировки вызывает активные возражения среди многих метрологов и физиков, которые по разным и, надо признаться, веским причинам не желали бы ее проводить. Они настолько вросли в СИ (или в гауссову систему), что предпочли бы оставить неблагодарную работу по их корректировке следующему поколению. По-человечески всё это понять можно, но из этого не следует, что всё надо оставлять без изменений. Чем больше затягивается принятие решений, тем тяжелее это будет проводить в жизнь.

Хорошо бы на первых порах признать хотя бы тот факт, что систематизация физических величин может производиться независимо от существующих систем единиц физических величин. Одно это уже могло бы ослабить степень сопротивления физиков и метрологов многим желающим попробовать свои силы в решении увлекательнейшей проблемы – проблемы систематизации физических величин.

Литература.

1. ди Бартини, Роберт Орос, 1966, Соотношение между физическими величинами. Сб. *“Проблемы теории гравитации и элементарных частиц.”*, вып. 1, М.: Атомиздат.
2. ди Бартини Р. О., Кузнецов П. Г., 1978, О множественности геометрий и множественности физик. – *Свердловск, Уральский научный центр АН СССР, Сб.: “Проблемы и особенности современной научной методологии”*, с. 55-65, см. также <http://pobisk-memory.narod.ru>
3. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
4. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1995, О терминах “единицы величин” и “единицы физических величин”. – *Законодательная и прикладная метрология*, 1.
5. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1996, О необходимости исключения прилагательного “физическая” из метрологической практики. – *Метрология*, 4.
6. Брянский Л.Н., Дойников А.С., Крупин Б.Н., 1999, О “размерностях” безразмерных единиц. – *Законодательная и прикладная метрология*, 4.
7. Вейник А.И., 1968, Термодинамика. 3-е изд. – Минск, Высшая школа, 464 с.
8. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.
9. Гомоюнов К.К., 1983, Совершенствование преподавания технических дисциплин. – Л.: Изд. Ленинградского ун-та, 206 с.
10. Ермолаев Д.С., 2003, Обобщенные законы физики или физика для начинающих. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/4959.html>
11. Коган И.Ш., 1998а, О единицах измерения физических величин, описывающих вращательное движение. – Киров: *“Машиностроение. Конструирование и технология.”*, Сборник научных трудов ВятГТУ, 3, с.62-64.
12. Коган И.Ш., 1998б, К вопросу о размерности и единицах измерений безразмерных физических величин. – *Законодательная и прикладная метрология*, 4, с.с. 55-57.
13. Коган И.Ш., 1998в, О возможном принципе систематизации физических величин. – *“Законодательная и прикладная метрология”*, 5, с.с. 30-43.
14. Коган И.Ш., 2003, Пути решения проблемы систематизации физических величин. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7073.html>
15. Коган И.Ш., 2004, Пора устранить непоследовательность в описании физических величин, характеризующих вращательное движение. – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7528.html>
16. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
17. Кошарский В., 2006, Системный подход – путь к познанию и решению проблем. – Хайфа, Сб. *“Системные исследования и управление открытыми системами”*, вып.2, Изд. Центра *“Источник информации (Мекор мейда)”*, с-с 9-19.
18. Львов И.Г., 2003, Что такое энергия? – <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/6652.html>
19. Савельев И.В., 2005, Курс общей физики (в 5 книгах). – М.: АСТ: Астрель
20. Сена Л.А., 1988, Единицы физических величин и их размерности. – М.: 336 с.
21. Суровикина С.А., 2004, О систематизации и обобщении знаний в школьных учебниках. – Доклад на Интернет-конференции по теме *“Проблемы внедрения психолого-педагогических исследований в систему образования”*. <http://psyinfo.ru/ru/conference/internet/doc.php?d=30>

22. Трунов Г.М., 2004, О физическом смысле формул размерностей электрических и магнитных величин. – “Законодательная и прикладная метрология”, **6**.
23. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
24. Чуев А.С., 1999, Физическая картина мира в размерности “длина-время”. Серия “Информатизация России на пороге XXI века”. – М., СИНТЕГ, 96 с., также Естественная кинематическая система размерностей. <http://www.chuev.narod.ru/> .
25. Чуев А.С., 2007, Система физических величин. Текстовая часть электронного учебного пособия. <http://www.chuev.narod.ru/> .
26. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н, Тищенко О.Ф., Скороходов А.И., 1989, Основные термины в области метрологии. – М.: Изд. Стандартов.
27. Яворский Б.М., Детлаф А.А., 1990, Справочник по физике. 3-е изд. М.: Наука, Физматгиз, 624 с.
28. Pirnat P., 2005, Physical Analogies.
<http://www.ticalc.org/cgi-bin/zipview?89/basic/science/physanal.zip;physanal.txt>