

# О выборе основных величин и основных единиц систем воспроизведения единиц и передачи их размеров

В. А. Слаев  
ВНИИМ им. Д.И. Менделеева  
Va.slaev@bk.ru

А. И. Синяков  
Санкт-Петербургский филиал АСМС  
a.sinyakov@spbasmc.ru

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы, касающиеся взаимосвязи систем воспроизведения единиц физических величин и передачи их размеров и систем физических величин. Подчеркивается, что основные величины системы должны отражать фундаментальные свойства материи, существующей во времени и пространстве в форме непрерывного движения. Указывается на недопустимость неоднозначной связи между физической величиной и ее единицей. Подчеркивается, что переход от воспроизведения физических единиц по соглашению к наиболее точным единицам другого рода осуществляется на основании их взаимосвязи через фундаментальные физические константы.

**Ключевые слова:** системы воспроизведения единиц; системы физических величин, формы существования материи, фундаментальные физические константы

## I. ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о построении систем единиц (СЕ) в метрологической теории и практике обсуждался давно, долго и обстоятельно [1]. Гораздо реже встречается в метрологической литературе понятие «система физических величин» (СФВ); некоторые авторы даже отрицают целесообразность введения и рассмотрения такой системы. Здесь, в связи с проблемами построения системы воспроизведения единиц физических величин и передачи их размеров (СВЕПР) и изучением свойств системы воспроизведения единиц, остановимся только на отдельных общих вопросах, касающихся взаимосвязи этих систем (физических величин и единиц).

## II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Хотя и физические величины (ФВ), и их единицы могут вводиться произвольно и принципиально произвольно может быть построена система ФВ (и соответствующая ей система единиц), это справедливо в ситуации, когда кто-то вздумал бы по-новому, полностью отбросив весь накопленный человечеством запас знаний, описывать окружающий нас материальный мир. На самом деле физическое (естественнонаучное) мировоззрение, являясь отражением свойств объективной реальности, выбрало для себя и столетиями апробировало вполне определённую систему представлений об этой реальности, в основе которой лежат понятия и физические величины, отражающие наиболее общие и устойчивые свойства окружающей действительности.

Наиболее общее представление заключается в следующем: материя существует во времени и пространстве, форма её существования – движение. Основные величины должны неизбежно отражать эти

фундаментальные атрибуты материи. Со свойствами пространства и времени связаны основные законы сохранения (энергии, импульса, момента количества движения). Для характеристики положения материальных объектов в пространственно-временном континууме вводят величины: время, длина и угол. Что касается длины и времени, то отнесение их к категории основных величин СФВ не вызывало и не вызывает ни у кого сомнений. Это же относится и к их единицам.

К сожалению, до сих пор нет единого мнения относительно статуса плоского угла и его единицы. Это нашло отражение и в международной системе единиц СИ, где для угловых единиц была в своё время введена особая (и не очень понятная) категория дополнительных единиц. Для единицы плоского угла сложилась абсурдная ситуация: с одной стороны, это безразмерная единица с другой – она имеет своё наименование, т. е. проявляет свойства именованного числа. Большинство авторов продолжают считать плоский угол производной величиной. Однако даже с физической точки зрения все возможные пространственные соотношения нельзя описать одной длинной: нельзя представить реальную, а не формальную комбинацию линейных величин, заменяющую угол; вращательные движения не сводятся к поступательным и т. д. Обстоятельный разбор статуса плоского угла и его единицы дан в работе [2], результаты которой, в целом, тоже свидетельствуют в пользу признания его основной величиной СФВ. Будем считать, что пространственно-временные свойства материального мира потребовали введения трёх основных (независимых) величин:  $L$  – длина,  $T$  – время,  $\Phi$  – угол (плоский).

Следующий, не менее общий атрибут материи – движение. Оно доступно нашему восприятию через взаимодействие, мерой которого служит энергия  $E$  – одно из основных общих понятий физического мировоззрения.

Набором величин ( $L$ ,  $T$ ,  $\Phi$ ,  $E$ ) как основными (исходными) понятиями для описания окружающего нас мира, вероятно, можно было бы ограничиться, если бы не многообразие форм проявления энергии (механическая, электромагнитная, тепловая, ядерная и т. п.), которые, хотя и относятся к одному родовому понятию, настолько специфичны, что зачастую не сводимы или трудно сводимы друг к другу: неточность соответствующих эквивалентов заставляет в каждой специфической области проявления энергии и соответствующего вида взаимодействия вводить специфическую величину, характеризующую соответствующий вид взаимодействий и круг явлений, связанных с энергией.

В механике, где определяющим является гравитационное взаимодействие, это – масса тела (объекта) ( $m$ ). Здесь мы не останавливаемся на тонкостях в различии гравитационной и инерционной масс, тем более что общая теория относительности показывает (постулирует) их эквивалентность.

В электродинамике основной вид взаимодействия – электромагнитное. Основным источником электромагнитного поля служит электрический заряд  $q$ , и основной величиной следует выбирать либо заряд, либо скорость его изменения во времени – электрический ток ( $I$ ).

В термодинамике характерны взаимодействия статистического характера, связанные с обменом энергией между макросистемами. Степень изменения энергии макросистем в процессе теплообмена характеризует температура ( $K$ ).

Оптические явления – это разновидность электромагнитных взаимодействий. Поэтому вводить здесь самостоятельную основную величину не имеет смысла. Существование в СИ единицы силы света (канделы) в качестве основной единицы обусловлено не столько объективной необходимостью, связанной со спецификой явлений в оптике, сколько с необходимостью измерять некоторые световые характеристики (в видимой области оптического спектра), связанные с субъективными восприятиями световых полей глазом. Это, по сути дела, внесистемные величины и единицы.

Наиболее сложными для понимания на сегодняшний день являются энергетические взаимодействия в области ядерных явлений (слабое и сильное), особенно – сильное взаимодействие, которое сейчас трудно охарактеризовать одной из ФВ. Для слабых взаимодействий можно в качестве основной характеристики выбрать активность радионуклидов, характеризующую скорость радиоактивного распада (результат слабого взаимодействия).

В области физикохимии основной величиной считается количество вещества и её единица –  $mol$ . Однако их роль в СФВ настолько неопределённая и дискуссионная, что большое число специалистов сегодня склонны вывести их из разряда основных. Заметим, что моль, по его теперешнему определению, – это просто масштабный коэффициент, связывающий единицу макромассы (килограмм) с единицей атомной (микро) массы.

Таким образом, в свете сегодняшнего физического мировоззрения в качестве основных величин СФВ можно принять:  $L$  (длина),  $\Phi$  (угол),  $T$  (время),  $M$  (масса),  $I$  (электрический ток),  $K$  (температура),  $A$  (активность радионуклида).

Можно показать, что понятие размерности относится как к единицам, так и к самим величинам. Размерность

служит как бы качественной характеристикой ФВ, определяет её род. В этой связи важны два аспекта.

Во-первых, устранение из системы основных величин (или их необоснованное уменьшение) приводит к тому, что разнородные величины приобретают одинаковые размерности, чего нельзя допускать в точной науке. Так происходит сегодня при исключении из основных величин плоского угла, что ещё раз свидетельствует о его статусе основной величины и единицы.

Во-вторых, поскольку величина и её единица – однородные понятия и должны выражаться одним видом именованного числа, в системе «система физических величин – система единиц» нельзя допускать неоднозначной связи между ФВ и её единицей. Вместе с тем именно так происходит со многими величинами: скорости, вращения, расхода и счётными, когда величины совершенно разной физической природы выражаются одинаковыми единицами. На это неоднократно обращалось внимание и ранее.

### III. Выводы

Практика осуществления эталонов воспроизведения основных единиц показывает, что зачастую в качестве основной единицы выступает совершенно не та, что принята в системе единиц по соглашению. Это можно принять, как правило, со следующим объяснением. Основные величины выбирают на основе целесообразности, простоты и общности описания материального мира, тогда как основные единицы – из практических соображений, и прежде всего из требований достижения наивысшей точности, т. е. по нескольким разным критериям. В то же время переходы от воспроизведения основных единиц по соглашению к наиболее точным единицам другого рода осуществляется всегда на основе их тесной взаимосвязи через фундаментальные физические константы (Ампер, Вольт, Ом, «постоянная планка»; длина, частота и «скорость света» [3, 4]. При этом сохраняется число основных единиц (базовых в данной области). Поэтому целесообразно сформулировать правило: число основных единиц должно равняться числу основных величин системы; число основных единиц по соглашению должно равняться числу воспроизводимых базовых единиц реальной системы воспроизведения единиц и передачи их размеров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Камке Д., Кремер К. Физические основы единиц измерения. М.: Мир, 1980, 208 с.
- [2] Eder W.E. A Viewpoint on the Quantity «plane Angle». Metrologia. 1982. №18. P.1.
- [3] Калинин М.И. О предстоящей реформе международной системы единиц // Главный метролог. 2017. №4. с. 64-70.
- [4] Балалаев В.А., Слаев В.А., Синяков А.И. Теория систем воспроизведения единиц и передачи их размеров. СПб.: Проффессионал, 2004. 160 с.