

У систем физических величин и систем единиц измерения разные цели и задачи

АННОТАЦИЯ. Подробно анализируется различие, которое должно существовать между системами физических величин и системами единиц измерения и которое в современной метрологии не ощущается. Предлагается изменение определения понятия "система физических величин". Приводятся сущности систем физических величин и систем единиц измерения.

Все читатели, знакомящиеся с описываемой на этом сайте энергодинамической системой физических величин и понятий [ЭСВП](#), сразу же сравнивают ее мысленно с Международной системой единиц СИ, и их первый вопрос таков: "Зачем нужна ЭСВП, если уже есть СИ?".

Ответ на этот вопрос обычно не выслушивают, будучи убежденными в том, что ответ кроется в самом вопросе. А настоящий ответ уже давно дал великий поэт Владимир Маяковский, хотя и по другому поводу:

И знал только бог седобородый,
что это животные разной породы.

1. Определения систем величин и систем единиц

В Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 дано такое определение системы величин: *"совокупность величин вместе с совокупностью непротиворечивых уравнений, связывающих эти величины"*. Однако это определение неточно, сама по себе совокупность, как некое множество, даже если ее упорядочить, не образует систему (см. определение понятия [система](#)). В JCGM 200:2012 дано такое определение Международной системы величин ISQ (International System of Quantities): *"система величин, основанная на подмножестве семи основных величин: длине, массе, времени, электрическом токе, термодинамической температуре, количестве вещества и силе света"*. То есть, система ISQ является подсистемой по отношению к более широкому понятию "система величин", а это предполагает **законность** существования других подобных систем величин, основанных на других подмножествах основных величин.

В примечании сказано: *"Международная система единиц (СИ) основана на Международной системе величин"*. То есть, система единиц СИ является подсистемой по отношению к системе величин ISQ и, следовательно, является подсистемой второй очереди по отношению к понятию "система величин". Более того, в определении понятия "система величин" нет указания на ее взаимосвязь с понятием "система единиц", из чего можно сделать вывод, что такая взаимосвязь не обязательна.

В JCGM 200:2012 дано такое определение системы единиц: *"набор основных единиц и производных единиц вместе с их кратными и дольными единицами, определенными в соответствии с установленными правилами для данной системы величин"*. На практике под "установленными правилами" понимается выбор семи основных величин ISQ. Однако эти семь основных величин установлены не случайно, а в соответствии с существующим на практике набором измерительных эталонов основных единиц СИ, независимо от того, являются ли эти эталоны физическими объектами, как это имеет место сейчас, или физическими константами, как это предполагается сделать при переопределении основных единиц.

2. Нарушение принципа причинности при составлении набора основных величин.

Из приведенных определений следует, что на деле подсистема (СИ) устанавливает правила для системы (ISQ). А это противоречит такому основному свойству понятия "[система](#)", как эмерджентность. Получается, что в понятиях "система величин ISQ" и "система единиц СИ" слово "система" не отражает сущность этого понятия, поскольку система величин ISQ является подсистемой по отношению к системе единиц СИ. Подобный вывод применим и к семейству систем единиц СГС.

Как ISQ, так и СИ, не соответствуют также такому основному свойству понятия "система", как целостность. Они не обладают какими-либо интегральными свойствами, не сводящимися к сумме свойств таких понятий, как "величина" и "единица измерений".

Система единиц должна быть следствием принятой системы величин. Но на Международных метрологических конференциях при выборе основных величин господствуют соображения практической метрологии, когда отбираются такие основные единицы, которые удобны для измерения. И по ним уже устанавливается набор якобы независимых основных величин. Так что фактически набор основных величин оказывается следствием набора основных единиц, а не наоборот, как следовало бы при соблюдении принципа причинности.

3. Какие процессы лежат в основе создания систем величин и систем единиц

Казалось бы, судя по терминологии, в основе создания систем величин и систем единиц должен лежать такой процесс, как [систематизация](#). А.Бахмутский (2007) на основе тщательного анализа первоисточников приводит такое определение: "*Систематизация – процесс упорядоченного расположения каких-либо объектов, осуществляемый по сходству или различию присущих им признаков, выделяемый на основе заранее установленных причинно-следственных связей*". Однако причинно-следственных связей между условно установленными семью основными величинами в ISQ нет, ведь одним из принципов системы ISQ является независимость основных величин. И это ставит под сомнение корректность применения понятия "система" по отношению к ISQ.

С другой стороны, с момента создания самых первых систем единиц измерения главным выбранным принципом являлась [унификация](#), определение которой в БСЭ: "*приведение к единообразию, к единой форме или системе*". Это было продиктовано и сейчас диктуется необходимостью единообразия основных единиц в международном масштабе с точки зрения единства измерений как в физике и технике, так и в экономике. А понятие "унификация" является подчиненным по отношению к понятию "систематизация".

Унификация единиц измерения началась в глубокой древности, когда физика наукой еще не была, а слово «система» еще не существовало. Понятие о физической величине еще отсутствовало и систематизировать было нечего. Необходимость унификации единиц измерений была продиктована практическими требованиями развивающейся международной торговли. Подробный обзор длительного процесса унификации единиц приведен в монографии А.Власова и Б.Мурина (1990). Так что и с этой точки зрения применение понятия "система" в метрологии недостаточно корректно.

4. Необходимость изменения определения системы величин

Исключить термин "система величин" уже нецелесообразно. Но можно заменить его определением новым определением: "*совокупность независимых физических величин, набор которых соответствует законам природы, вместе с совокупностью непротиворечивых уравнений, связывающих эти величины*". Слова "*соответствует законам природы*" в корне меняют ситуацию. На место волюнтаристского априорного подхода приходит строго научный подход, базирующийся на последних достижениях

физики. И система величин, составляемая согласно этому определению, уже не обязана соответствовать системе единиц, базирующейся на существующем определении.

На сегодняшний день предлагаемая на данном сайте система величин ЭСВП является единственной, которая разорвала противоречащую принципу причинности зависимость системы величин от априорно принятой системы единиц. У нее собственный набор естественных основных величин (базис системы). Поэтому сравнивать ЭСВП резонно только с системами величин других авторов, а не с существующей системой единиц. Это и сделано в обзоре, посвященном истории развития проблемы систематизации физических величин.

Развернутый ответ все на тот же вопрос "Зачем нужна ЭСВП, если уже есть СИ?" или на более конкретный вопрос: "Зачем сопоставлять системы единиц с системами величин?" приведен в таблице.

Таблица сравнения систем физических величин и систем единиц измерения

	СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН (ниже СФВ)	СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ (ниже СЕИ)
Зачем нужны эти системы?	Для систематизации физических закономерностей, представляющих собой уравнения связи между физическими величинами.	Для унификации единиц измерения в международном масштабе.
Какая польза от этих систем?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установление обобщенных закономерностей и на их основе частных закономерностей в различных научных направлениях. 2. Устранение разобщенности разных разделов физики и различных технических дисциплин. 3. Облегчение процесса преподавания физики и технических дисциплин и процесса усвоения учебного материала. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обеспечение единства измерений. 2. Устранение возможных препон для общения ученых и инженеров различных специальностей. 3. Возможность легкого сравнения результатов научных экспериментов. 4. Облегчение торговли изделиями и, как следствие, создание условий для роста экономики.
Влияют ли СФВ и СЕИ друг на друга?	<ol style="list-style-type: none"> 1. СФВ предлагают изменение отдельных терминов, символов и индексов в СЕИ. 2. СФВ указывают на желательность корректировки отдельных единиц в СЕИ. 	СЕИ в принципе не должны влиять на СФВ, но по чисто психологическим причинам мешают их внедрению в науку и педагогику.
Препятствуют ли СФВ и СЕИ друг другу?	СФВ не препятствуют развитию СЕИ, у них другие цели и задачи.	СЕИ не должны препятствовать развитию СФВ, но по чисто психологическим причинам препятствуют.
Наличие размерностей	Обязательно, размерность – это основа анализа закономерностей.	Анализ размерностей может быть заменен анализом единиц, что и бывает на практике.
Наличие единиц измерений	Не обязательно, разве что в качестве справочного материала.	Обязательно, именно для их унификации и создаются СЕИ.

Основные величины	Существуют в природе объективно, задача науки – выявить их. Набор основных величин не обязан совпадать с набором основных единиц.	Набор основных единиц принимается условно на международных конференциях, отвечает требованиям практики и существует только на Земле.
Независимость основных величин	Для предотвращения записи дробных показателей степеней размерностей в набор основных величин может быть условно включена производная величина.	Некоторые основные единицы могут определяться через другие основные единицы.
Расположение величин в перечнях	Строится на базе принципа причинности и в последовательности, вытекающей из этого принципа.	Априорное, зависит от предпочтений составителя перечня величин.
Формула размерности	Размерность величины определяется только по уравнению связи. Словесные формулировки при определении размерности недопустимы.	Размерности на практике определяются по уравнению, не всегда подчиняющемуся принципу причинности. Словесные формулировки в стандартах допускаются.
Возможность предсказания новых закономерностей	1. СФВ могут и обязаны предсказывать новые закономерности. 2. СФВ могут и обязаны корректировать форму записи уравнений связи.	Возможность предсказания новых закономерностей в современных СЕИ отсутствует.
Удобство при измерениях	В качестве одной из задач СФВ не рассматривается.	Определяет предпочтительность применения той или иной СЕИ .
Удобство при преподавании	Наличие естественных основных величин облегчает процесс преподавания.	В качестве одной из задач СЕИ не рассматривается.
Удобство при научных исследованиях	Наличие естественных основных величин способствует успешным исследованиям в любом разделе физики.	Ученые стремятся использовать ту СЕИ , которая наилучшим образом соответствует конкретному разделу физики.

5. Дополняющее замечание к таблице сравнения

Исторически в связи с развитием учения об электромагнетизме физики вводили последовательно 9 (девять!) систем единиц измерений, а всего в работе Л.Брянского (2002) их перечислено 16 (шестнадцать!!), не считая естественных и неметрических систем единиц. Желая проследить процесс формирования современных систем единиц можно посоветовать заглянуть в монографию А.Власова и Б.Мурина (1990).

Всё это следствие того, что наука до сих пор не знает достоверно, что такое электрический и гравитационный заряды и какова их размерность. Для этого используют законы Кулона и Ньютона, вводя в них [размерные коэффициенты](#) и неправомерно называя эти размерные коэффициенты фундаментальными постоянными. Вводили их по-разному, поэтому и возникло такое количество систем единиц.

Несложно представить муки профессионалов (не говоря уже о студентах), которые вынуждены были разбираться в этом нагромождении систем единиц до создания единой СИ. Но и СИ тоже многих и во многом не устраивает. Автор популярного учебника по

физике Д.Сивухин (1979) указывает на то, что СИ навязана физиками метрологам, что СИ неоправданно усложняет научные исследования и преподавание.

6. Чем конкретно отличается система величин ЭСВП от системы единиц СИ.

1. В ЭСВП и в СИ различен набор основных величин. В СИ имеется 7 основных единиц, но лишь 4 из них сводятся к единицам естественных основных величин ЭСВП. В СИ в качестве основных величин приняты единицы производных величины, существующих только на планете Земля (электрический ток, термодинамическая температура, количество вещества, сила света). При систематизации физических величин подобная априорность недопустима.

2. Набор основных величин в ЭСВП до переопределения единиц неприемлем для их унификации, так как пришлось бы создавать измерительный эталон энергии. При систематизации величин проблема создания измерительных эталонов не возникает. Современная тенденция переопределения основных величин неизбежно приведет к замене измерительных эталонов фундаментальными физическими константами (К.Томилин, 2006).

3. В таблицах ЭСВП все физические величины расположены в строгом соответствии с принципом последовательности, заключающемся в том, что в перечнях физических величин производные величины должны указываться после тех величин, которые их определяют. Во всех системах единиц, включая СИ, этот принцип не учитывается.

4. Размерности в ЭСВП устанавливаются только по уравнениям связи, а не по словесным формулировкам. Как остроумно заметил Р.Фейнман (1965, т.1), “...из одного определения никогда ничего никто не выводил...”. Поэтому определяющие уравнения в ЭСВП иногда не совпадают со словесными формулировками или уравнениями связи, принятыми в СИ.

5. В таблицах ЭСВП устранены те нарушения принципа причинности при составлении уравнений связи, которые имеют место в СИ. Хотя, по мнению Н.Студенцова (1997), необходимо “*руководствоваться одним единственным принципом – практической целесообразностью*”, при построении системы величин практическая целесообразность уступает по своему значению принципу причинности.

6. В ЭСВП запись единиц измерений выглядит подчас не так, как в СИ, поскольку различны наборы основных величин. Например, в СИ в размерностях электромагнитных величин присутствует размерность массы, и поэтому в единицах электромагнитных величин должна присутствовать единица килограмм, хотя физического содержания в этом нет. Чтобы избежать недоуменных вопросов, физики присвоили единицам электромагнитных величин именованные названия (вебер, тесла, генри, фарада, ом, сименс). И тем самым обрекли на мучения студентов и инженеров, когда им необходимо переходить от одних единиц измерений к другим. В ЭСВП подобное исключено и необходимость в именованных единицах отсутствует.

7. Большинство инженеров и физиков при анализе размерностей на практике производят не анализ размерностей, а анализ единиц СИ. И это можно понять. Например, единица объёмной плотности энергии в ЭСВП равна Дж м⁻³, и такая единица выглядит понятно и естественно. А размерность той же объёмной плотности энергии в СИ равна МЛ⁻¹Т⁻², что в переводе на единицы означает кг м⁻¹ с⁻². Хотя это то же самое, что Дж м⁻³. Такое раздвоение у практиков кроме раздражения ничего вызвать не может.

Автор понимает чувства тех читателей, которым предлагается расстаться с иллюзией того, что СИ – чуть ли не единственно возможная система единиц. Она хороша лишь для того, для чего создана, и не более того. Не случайно, что метрологи сейчас готовятся к переопределению основных единиц СИ, но так осторожно, что целый ряд проблем откладывается на неопределенное будущее.

Литература

1. JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM). 3rd ed. 2008 version with minor corrections. URL: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
2. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с. URL: <http://mathscinet.ru/slaev/records/images/SlaevChun02.pdf>
3. Бахмутский А., 2007, Детерминант понятия «система». В сб. «Системные исследования и управление открытыми системами», Хайфа, Центр "Источник информации", вып. 3, с.с.9-19.
4. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. - М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
5. Власов А.Д., Мурин Б.П., 1990, Единицы физических величин в науке и технике. – М., Энергоатомиздат, 176 с.
6. Сивухин Д.В., 1979, О Международной системе физических величин. – “Успехи физических наук”, **129**, вып. 2, с.с. 335-338.
7. Студенцов Н.В., 1997, Системы единиц и фундаментальные константы. – “Измерительная техника“, **3**, с.3
8. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах, – М.: Физматлит. 2006, 368 с.
9. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М., 1965 - 1977, Фейнмановские лекции по физике, в 9 томах. М., “Мир”.