

Единицы производных величин s^{-1} и m^{-1} ошибочны

АННОТАЦИЯ. Наличие в СИ производных величин, размерность которых равна размерности основной величины в минус первой степени, противоречит физическому содержанию этой производной величины. Представлены два разных варианта исправления этой ситуации.

Если размерность какой-нибудь производной физической величины равна только размерности основной физической величины в минус первой степени, то это означает, что у такой производной величины имеется определяющее уравнение, в котором основная величина находится в знаменателе. А в числителе определяющего уравнения этой производной величины отсутствует какая-либо размерная физическая величина. И это лишает подобную производную величину физического содержания, если только это не удельная величина.

Имеется, прежде всего, в виду то, что не должно быть физических величин с размерностями L^{-1} или T^{-1} и единицами измерения m^{-1} и s^{-1} . Тот факт, что такие размерности и единицы широко и на законных основаниях используются в СИ, говорит о необходимости устранения указанного недостатка в этой системе единиц. Рассмотрим причины появления этой ошибки и способы ее устранения.

1. Примеры производных величин с размерностью основной величины в минус первой степени.

Размерности четырех физических величин (угловой скорости вращающегося тела, частоты вращения, частоты обращения и частоты колебаний) в СИ совпадают и равны T^{-1} . Уже сам факт совпадения размерностей таких разных по содержанию производных величин противоречит физическому смыслу, так как указанные величины относятся к принципиально разным формам движения (вращению, колебаниям и волновому излучению). Правда, в Международном словаре по метрологии JCGM 200:2012 сказано: "Единицы измерения величин одинаковой размерности могут иметь одинаковые наименования и обозначения, даже когда величины не являются однородными". И, чтобы хоть как-то различать эти величины, метрологи присвоили **угловой скорости** единицу рад/с, **частоте вращения** – единицу s^{-1} , **частоте обращения** – единицу об/с и **частоте колебаний** – единицу Гц. Но это еще больше запутывает ситуацию, так как возникает вопрос: почему величины с одной и той же размерностью имеют разные единицы.

Известно, что угловая скорость принципиально отличается от частоты вращения тем, что угловая скорость принадлежит реальному вращающемуся телу, а частота вращения является угловой скоростью абстрактного радиус-вектора на абстрактной векторной диаграмме. Что касается частоты колебаний, то она характеризует не вращение, а любой периодический процесс, независимо от того, что, как и в какой форме движения колеблется. Крутильные колебания являются лишь частным случаем периодического процесса.

Примером совпадения размерностей разных физических величин является совпадение размерностей L^{-1} у таких совершенно разных физических величин, как кривизна траектории движущегося тела и волновое число. От того, что единица кривизны называется "обратным метром", а единица волнового числа так не называется, ситуация не проясняется.

2. Два разных варианта исправления существующего положения

Ниже представлена **Таблица сравнения**, в которой сравниваются символы, размерности и единицы двух десятков важнейших физических величин. В колонках 3, 6, и 8 это

указывается в соответствии со стандартом ГОСТ 8.417-2002, введенным в 2003 г. на базе СИ. В колонках 4 и 9 то же самое указывается в соответствии с работой А.Митрохина (2010). В колонках 5, 7 и 10 – в соответствии с работой И.Когана (2011).

№	Величина	Символ			Размерность		Единица		
		СИ	[4]	[5]	СИ	[5]	СИ	[4]	[5]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Длина прямой линии	l	L	l	L	L	м	1[м]	м
2	Плоский угол	α	α	φ	1	A	рад	1[1], 2 π	об
3	Время	t	T	t	T	T	с	1[с]	с
4	Длина дуги	s	L	s	L	L	м	1[1], 2 π , 1[м]	м
5	Радиус кривизны	R	-	R	L	LA ⁻¹	м	-	м/об
6	Кривизна траектории	ρ	ρ	ρ	L ⁻¹	L ⁻¹ A	м ⁻¹	1/[м ₂]	об/м
7	Скорость линейная	v	V	v	LT ⁻¹	LT ⁻¹	м/с	1[м/с]	м/с
8	Скорость угловая	ω	ω	ω	T ⁻¹	AT ⁻¹	$c^{*1} =$ = рад/с	1[1/с]	об/с
9	Частота вращения	n	n	-	T ⁻¹	-	$c^{*2} =$ = об/с	1[об/с]	-
10	Угловая частота	ω	-	ω_0	T ⁻¹	-	$c^{*3} =$ = рад/с	-	-
11	Период колебаний	T	-	-	T	-	с	-	-
12	Число периодов	-	-	N	-	N	-	-	пер
13	Длительность периода	-	-	T	-	N ⁻¹ T	-	-	с/пер
14	Частота колебаний	f	f	f	T ⁻¹	NT ⁻¹	$c^{*4} =$ = Гц	1[кол/с] = = 1[Гц]	пер/с = Гц
15	Фундамент. константа	π	-	2 π	-	AN ⁻¹	-	-	об/пер
16	Длина волны	λ	-	λ	L	LN ⁻¹	м	-	м/пер
17	Волновое число	k	U	k	L ⁻¹	L ⁻¹ N	м ⁻¹	1[1/м]	пер/м
18	Энергия	E	E	W E	L ² MT ⁻²	E	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} =$ = Дж	1[Н·м] = = 1Дж	Дж
19	Сила	F	-	F	LMT ⁻²	EL ⁻¹	$m \cdot kg \cdot s^{-2} =$ Н	1[Н]	Дж/м = = Н
20	Момент силы	M_0	M	N	L ² MT ⁻²	E	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} =$ = Н·м	[Н·м] / [1]	Н·м
21	Вращающий момент	-	-	M	-	EA ⁻¹	-	-	Дж/об

Оба автора стремятся устранить несовершенство СИ. И, действительно, в колонках 9 и 10 отсутствуют единицы м⁻¹ и с⁻¹. Но средства для достижения этой цели выбраны авторами разные. А.Митрохин предлагает в существующую систему единиц добавить еще одну основную единицу, названную им **качественной единицей**, обозначаемую символом [1]. Тем самым он как бы реализует прим. 2 из п. 1.8 Международного словаря по метрологии JCGM 200:2012 "Единицы измерения и значения величин с размерностью 1 есть числа, но они выражают больше информации, чем просто число". А И.Коган

разработал [систему величин ЭСВП](#), в [набор основных величин](#) которой добавлены энергия с размерностью E , угол поворота с размерностью A и число структурных элементов с размерностью N . В колонке 7 Таблицы представлены размерности производных величин в системе ЭСВП, а в колонке 10 – единицы, соответствующие этим размерностям.

3. Чем отличаются единицы СИ и единицы в колонках 9 и 10 таблицы

1. В Таблице понятие “плоский угол” сохранено. Но в системе ЭСВП (колонка 10) в качестве основной физической величины рассматривается не плоский угол, а угол поворота, имеющий единицу оборот (об), а единицу рад (радиан) предложено считать внесистемной единицей. Ведь на практике угол поворота измеряют не в радианах, а в долях от оборота, то есть в угловых градусах, угловых минутах, угловых секундах, для них существует измерительный эталон (Л.Брянский, 2002). При применении для угла поворота единицы оборот исчезает необходимость в применении для этой же цели “качественной единицы”.

2. В колонке 9 единицей кривизны траектории (строка 6) является $1/[m_R]$, из чего ясно, что для радиуса кривизны траектории применена особая единица $[m_R]$, отличающаяся от обычной единицы длины. [Длина пути](#) ds , пройденного по траектории (она же – длина дуги в строке 4), определяется по уравнению $ds = R d\varphi$, где $d\varphi$ – угол поворота и R – радиус окружности, соприкасающейся с траекторией, то есть **радиус кривизны**. Анализ уравнения $ds = R d\varphi$ в системе ЭСВП показывает, что правило размерностей выполняется при условии, что размерность ds равна L , размерность угла поворота $d\varphi$ равна A и размерность радиуса кривизны R равна LA^{-1} с единицей $m \text{ об}^{-1}$. Единица $m \text{ об}^{-1}$ и является аналогом единицы $[m_R]$. Тогда размерность кривизны траектории $\rho = 1/R$ равна $L^{-1}A$, а единица кривизны равна $m^{-1} \text{ об}$, что и представлено в колонке 10.

3. Единица угловой скорости ω вращающегося тела (строка 8) в ЭСВП – об с^{-1} , а не рад с^{-1} , как в СИ. У применяемых в СИ понятий “частота вращения” n (строка 9) и “угловая частота” ω (строка 10) одно слово термина не согласуется с другим, так как слово “частота” относится к колебаниям, а слова “вращения” и “угловая” относятся к вращательному движению. А колебания не обязаны быть связанными только с вращением. Правда, в физике используется [математический метод векторных диаграмм](#), в котором ω – угловая скорость радиус-вектора, вращающегося на векторной диаграмме. Но в этом методе ω – это уже абстрактная математическая, а не физическая величина.

4. В ЭСВП основной величиной вместо количества вещества в СИ является [число структурных элементов](#) (количество объектов), общепринятое название единицы которого еще отсутствует, а в волновых и колебательных формах движения применяется единица период (пер), что отражено в строках 12-17 в колонке 10. А та величина, которая называется сейчас в физике периодом и измеряется в секундах (строка 11), на самом деле является длительностью периода (строка 13). Именно длительность периода должна измеряться в с пер^{-1} , а не в секундах, как сейчас.

5. Для частоты колебаний (строка 14) вместо единицы $[\text{кол/с}]$ в колонке 9 применена единица пер с^{-1} в колонке 10. Единица период относится только к числу периодов (строка 12), как частному случаю [числа структурных элементов](#) N периодического процесса. Показано, что понятие “один период” должно быть применено при $N = 1$, и его единицей также является период.

6. По-новому выглядит в ЭСВП [фундаментальная константа \$\pi\$](#) (строка 15). Показано, во-первых, что фундаментальной константой является [\$2\pi\$, а не \$\pi\$](#) , и, во-вторых, что константа 2π при использовании [метода векторных диаграмм](#) приобретает размерность AN^{-1} и единицу об пер^{-1} . Это позволяет соблюсти правило размерностей в уравнении $\omega = 2\pi f$, связывающем реальный периодический процесс с абстрактной угловой скоростью радиус-вектора в методе векторных диаграмм.

7. При волновом движении каждая волна в системе величин ЭСВП также является частным случаем числа структурных элементов N , и поэтому длина волны (строка 16) должна измеряться в м пер^{-1} , а не в метрах, как в СИ. Следовательно, и волновое число (строка 17) должно измеряться в пер м^{-1} , а не в м^{-1} , как в СИ, или в $[\mathbf{1}/\text{м}]$, как в колонке 9.

8. По поводу момента силы (строка 20) следует заметить, что это статическая искусственно введенная в физику величина, поэтому равенство размерностей у энергии и у момента силы случайно. Момент силы не связан непосредственно с вращением, это вспомогательная величина для статических систем, и применение угловой единицы для оценки его значения не обосновано. На вращающееся тело воздействует вращающий момент (строка 21), единица которого Дж об^{-1} как раз и соответствует единице $[\text{Н}\cdot\text{м}]/[\mathbf{1}]$, примененной в строке 20 по отношению к моменту силы. При такой постановке вопроса отсутствует равенство размерностей энергии и вращающего момента, считающееся недостатком СИ (М.Юдин и др., 1889).

Литература

1. Брянский Л.Н., 2002, Непричесанная метрология. М.: ПОТОК-ТЕСТ, 160 с.
2. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. – М.: Издательство стандартов, 2003.- 27 с.
3. Коган И.Ш., 1998, О единицах измерения физических величин, описывающих вращательное движение. – Киров: “Машиностроение. Конструирование и технология.”, Сборник научных трудов ВятГТУ, 3, с.с. 62-64.
4. Коган И.Ш., 1998, О возможном принципе систематизации физических величин. – М.: «Законодательная и прикладная метрология», № 5, с.с. 30-43.
5. Коган И.Ш., 2006, Обобщение и систематизация физических величин и понятий. – Хайфа, 207 с.
6. Коган И.Ш., 2011, Метрологические и терминологические проблемы описания периодических процессов и выбора единиц измерений. – “Мир измерений”, 6, с.с. 12-18.
7. Митрохин А.Н., 2000, Математика и ее роль в анализе размерностей и образовании единиц измерения. – М.: «Законодательная и прикладная метрология», № 5, с.с. 39-47
8. Митрохин А.Н., 2002, К вопросу об адекватности некоторых понятий, определений и терминов метрологии или слово в защиту единицы измерения. – М.: «Законодательная и прикладная метрология», № 5, с.с. 37-45
9. Митрохин А.Н., 1996, О взаимодействии размерностей в математических преобразованиях. – М.: Транспорт, 102 с.
10. Митрохин А.Н., 2010, Качественная единица как элемент размерностного анализа или к вопросу о размерности “безразмерных” величин. – М.: «Законодательная и прикладная метрология», № 3
11. Чертов А.Г., 1990, Физические величины. – М.: Высшая школа, 336 с.
12. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н, Тищенко О.Ф., Скороходов А.И., 1989, Основные термины в области метрологии. – М.: Изд. Стандартов, 113 с.
13. 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/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf,
14. Русский перевод JCGM 200:2008: Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины. - ВНИИМетрологии 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>