2. Богуслаев В. А. Оценка триботехнических характеристик уплотнительных теплозащитных покрытий в условиях действиях критических загрузок. / В. А. Богуслаев, В. Л. Грешта, Д. В. Ткач, В. И Кубич, Е. Г. Сотников, З. В Леховицер, А. В. Климов // Трение и износ. ИММС НАН Беларуси. Гомель : Том 40. №1. 2019. С. 103-111.
3. Сотніков Е. Г. Усовершенствование состава газотермических уплотнительных покрытий деталей турбины для повышения эффективности газотурбинных двигателей. http: //eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/3943.

Лавриненко Александр Тимофеевич, канд. техн. наук, наук, доцент,
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Пожидаев Сергей Петрович, канд. техн. наук, spozhy2@ukr.net
Шкаровский Григорий Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

О НЕКОТОРЫХ РАЗМЕРНОСТНЫХ ПРОБЛЕМАХ МЕХАНИКИ

В работе [1] показано, что в теории качения эластичного колеса должен применяться радиус качения колеса без скольжения, единицей которого является м/рад. Но это приводит к размерностному парадоксу: полная окружная сила колеса $P_{ко}$ получает единицу измерения не ньютон (Н), а Н·рад:

$$\left[P_{ко}\right]=\left[M\right]:\left[r_{к}\right]=(\text{Н}\cdot\text{м}):\left(\frac{\text{м}}{\text{рад}}\right)=\text{Н}\cdot\text{рад}, \tag{1}$$

где M – крутящий момент колеса, Н·м; $r_к$ – радиус качения, м/рад.

Подобные казусы, противоречащие принципу однородности размерностей, встречались в механике и ранее. Чтобы они не вызывали вопросов, метрологи разрешили не упоминать единицу «радиан» в производных единицах (п. 5.2.3 стандарта [2]). Механики не возразили против этого, так как полагают, что «радиан» – всего лишь условное обозначение единицы безразмерной величины «угол», которое якобы можно заменять числом «1».

Но Природа непротиворечива, противоречивыми могут быть только знания о ней. Поэтому такие действия – подтасовка, научная фальсификация. Ни одну из единиц величин, входящих в ту или иную производную единицу, нельзя исключать на основании субъективных соображений. Это уничтожает научную строгость системы единиц, переводит её в разряд схоластики.

На этом основании нами была выдвинута гипотеза, что принцип однородности размерностей должен действовать всегда и везде, во всех случаях применения всех без исключения размерностей и единиц величин. А если оказывается, что он не действует в каком-то случае, то это является сигналом, что в наших знаниях о Природе имеется ошибка. Её надо искать и исправлять, а не оправдывать. Попытаемся сделать это.

В соотношение (1) входит крутящий момент (момент силы) M. Это понятие, не претерпев абсолютно никаких изменений, пришло к нам ещё с доисторических времен Архимеда. Хотя понятия всех иных физических величин за это время претерпели множество уточнений и изменений.

Единицы момента силы и механической работы (Н·м) совпадают, что нелогично. Ведь это различные физические величины, а единицы измерения величин являются их (величин) идентификаторами. У различных физических величин идентификаторы должны быть различными. А если они совпадают, то надо искать ошибку в существующей системе знаний. Возможно, например, что единица момента силы была корректной в системе понятий механики давних лет, но оказалась некорректной в системе понятий современной механики. Чтобы проверить это предположение, была определена единица момента силы с позиций нынешней, энергоцентристской механики, опорными понятиями которой являются энергия и работа.

Механическая работа W, выполняемая моментом силы при вращательном движении некоторого тела, измеряется в Н·м и равна произведению момента M на угол поворота α, измеряемый в радианах: $W = M\alpha$. Отсюда однозначно следует, что единицей момента силы должен быть не Н·м, а Н·м/рад:

$$[M] = \frac{[W]}{[\alpha]} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}}. \quad (2)$$

Соотношение (2) подтверждает и тот факт, что единицу «радиан» ни в коем случае нельзя исключать из производной единицы на основании каких-либо преходящих субъективных соображений. В данном случае, например, она информирует, что момент силы численно равен не всей механической работе W, а только той её части, которая выполняется при повороте тела на один радиан.

Подстановка в соотношение (1) единицы момента силы Н·м/рад приводит к получению правильной единицы полной окружной силы колеса – ньютон.

Нынешнее определение момента силы (произведение силы на плечо), тоже является размерностно некорректным. И не только размерностно некорректным, но и частным, так как базируется на рассмотрении только одного конкретного устройства, преобразующего силу в момент – жесткого рычага. Исходя из закона сохранения энергии, нами было получено размерностно корректное определение момента, причем в предельно общем виде.

Сила F, приложенная ко входному элементу некоторого идеального устройства, преобразующего силу в момент (это может быть и простой рычаг), выполняет механическую работу $F\delta s$ на виртуальном линейном перемещении δs, совершаемом в направлении действия силы. На выходе устройства возникает момент M, выполняющий ту же механическую работу $M\delta\alpha$ на виртуальном угловом перемещении δα, соответствующем линейному перемещении δs.

Поскольку эти две работы численно равны ($M\delta\alpha = F\delta s$), то получаем:

$$M = F(\delta s/\delta\alpha). \quad (3)$$

Отсюда следует, что момент силы – это произведение силы F на коэффициент, представляющий собой отношение виртуального линейного перемещения δs, на котором совершает работу сила F, к соответствующему ему виртуальному угловому перемещению $\delta\alpha$, на котором совершает работу момент M.

В случае простого рычага значение коэффициента $ds/d\alpha$ численно равно плечу силы r: $ds/d\alpha = r$. Но единицей коэффициента $ds/d\alpha$ является м/рад, а единицей плеча (радиуса рычага) – метр, вследствие чего соотношение $ds/d\alpha = r$ размерностно некорректно – м/рад якобы равен метру.

Анализ показал, что основной, непосредственной количественной характеристикой степени отличия кривой линии от прямой является не радиус, а кривизна k линии. Она представляет собой предел $k = \lim_{\Delta s \to 0}(\alpha / \Delta s)$, где α – угол между касательными, проведенными к линии в начальной и конечной точках её отрезка длиной Δs [3, с. 301]. А радиус r – дополнительный, косвенный показатель кривизны линии, представляющий собой обратную к кривизне k величину: $r = 1/k$ (там же). Следовательно, единицей кривизны k является рад/м, а единицей радиуса r – м/рад, то есть то же самое, что и у коэффициента $ds/d\alpha$. При этом условии соотношение $ds/d\alpha = r$ становится размерностно корректным.

Итак, радиус – совсем не такое элементарное понятие, каким оно представлено в современных инженерных дисциплинах. Его физический смысл – **не расстояние** от центра к дуге, а численно равный этому расстоянию **масштабный коэффициент**, указывающий на соотношение между значениями двух взаимосвязанных геометрических характеристик кривой – размера центрального угла и длины опирающейся на него дуги.

Единица радиуса м/рад обеспечивает получение правильной единицы момента силы (Н·м/рад) в случае определения его путем умножения силы на радиус. **Однако этот радиус – не плечо, измеряемое в метрах, а масштабный коэффициент, численно равный плечу, но измеряемый в м/рад**.

Размерностные проблемы на этом не заканчиваются. Применение уточненной единицы радиуса (м/рад) приводит к единице центростремительного ускорения м·рад/с^2 вместо правильной единицы м/с^2.

Анализ этого явления показал, что его причиной является размерностная некорректность общепринятой формулы центростремительного ускорения. При её выводе возникает сомножитель $\lim_{\Delta t \to 0}\{[\sin(\Delta\varphi/2)]/(\Delta\varphi/2)\}$, который равен 1 рад$^{-1}$, в результате чего им пренебрегают [4, с. 265-267]. Но это действие неправомерно, так как вместе с коэффициентом «1» из формулы исчезает единица измерения «рад$^{-1}$». Ранее эта ошибка не была заметна, так как нивелировалась другой ошибкой – применением в формуле некорректной единицы радиуса r «метр» вместо корректной единицы «м/рад».

Итак, **гипотеза о том, что принцип однородности размерностей не должен иметь исключений, подтверждена**. Применение единицы радиуса «м/рад» обеспечивает устранение всех перечисленных выше размерностных проблем. При этом в производных единицах величин, связанных с моментами, появляется единица «радиан» в той или иной степени, что исключает возможность неправомерного совпадения единиц разнородных физических величин.

Более подробно данные вопросы изложены в работах [5] и [6].

Литература

1. Пожидаев С.П., Шкаровский Г.В. Экспериментальное исследование механической модели эластичного колеса // *Автомобільний транспорт,* вып.44. 2019. С. 21-29.
2. ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы величин. М. 2003. 29 с.
3. Математический энциклопедический словарь / Гл. редактор Ю.В. Прохоров. М.: Советская энциклопедия, 1988. 847 с.
4. Воронков И.М. Курс теоретической механики. М.: Наука, 1966. 596 с.
5. Пожидаєв С.П. Уточнення поняття моменту сили в механіці // *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2018. №2. С. 73-80.
6. Пожидаєв С.П. Ключ до вирішення радіанної проблеми міститься в механіці // *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2018. №5. С. 84-91.

Лавриненко Александр Тимофеевич, канд. техн. наук, наук, доцент,
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Пожидаев Сергей Петрович, канд. техн. наук, spozhy2@ukr.net
Шкаровский Григорий Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

ЕЩЕ РАЗ О ПРИМЕНЕНИИ РАДИУСОВ ЭЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

"*Несмотря на большое число исследований по теории качения колеса, специалисты до сих пор не выработали единого мнения, какой радиус следует применять в каких случаях*" [1]. В настоящее время господствует мнение, что взаимосвязь между крутящим моментом M, приложенным к колесу в плоскости его вращения, и полной окружной силой колеса $P_{\text{ко}}$, осуществляется посредством динамического радиуса колеса $r_{\text{д}}$: $P_{\text{ко}} = M/r_{\text{д}}$.

Однако, в работах [1] и [2], в учебниках Г.А. Смирнова и А.И. Гришкевича принимают, что упомянутая взаимосвязь осуществляется посредством радиуса качения колеса без скольжения: $P_{\text{ко}} = M/r_{\text{к}}$. Такую же точку зрения предписывает и п. 38 действующего ГОСТ 17697-72 [3].

Но динамический радиус и упомянутый радиус качения различаются своими определениями, физическим смыслом и даже единицами измерения: динамический радиус измеряется в метрах, а радиус качения – в м/рад. У жестких колес значения этих радиусов практически одинаковы, но у колес с высокоэластичными шинами низкого давления их различия могут достигать 25 % [2].

Можно очень просто показать, что применение динамического радиуса в теории качения эластичных колес неправомерно. Для этого необходимо