

Стандарты заваная падача заданняў, якая патрабуе фармалізацыі адказаў, і наяўнасць эталону адказу забяспечваюць аўтаматычную ацэнку і зручнасць апрацуўкі вынікаў тэсціравання, даюць магчымасць колькасна ацаніць якасць ведаў. Разам з тым у якасці недахопаў тэстування можна назваць прамірную стандартызацыю тэстаў, наяўнасць у іх правільных і неправільных варыянтаў адказаў, што не садзейнічае належнай актыўізацыі разумовых пракцэсаў студэнтаў, не пазбаўляе магчымасці запамінання неправільных меркаванняў і механічнага выдзялення лічбаў і літар у тэстовых заданнях. Як адзін з недахопаў тэсціравання варта разглядаць арыентацыю тэстаў на праверку лінгвістычнай і моўнай кампетэнцыі, у той час як камунікатыўныя веды, уменні і навыкі застаюцца па-за ўвагай выкладчыка, або ступень іх фарміраванасці правяраецца толькі на ўзроўні тэорыі тэксту.

Такім чынам, хоць тэст і трывала замацаваўся ў практыцы навучання студэнтаў, ён, безумоўна, пакуль што не можа замяніць такія сродкі кантролю, як экзамен, залік. Аднак сістэматычнае выкарыстанне тэстаў розных тыпаў (у залежнасці ад этапаў навучальнага пракцэсу і зместу вучэбнага матэрыялу) як сродку кантролю і дыягностыкі ведаў, уменняў і навыкаў студэнтаў павышае матывацыю навучання і садзейнічае эфектыўнасці вучэбна-выхаваўчага пракцэсу.

**Abstract.** This article discusses the role of testing in practice teaching of higher education students.

УДК 531

**Пожидаев С.П.**, кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

*Национальный научный центр «Институт механизации и  
электрификации сельского хозяйства»,  
пос. Глеваха-1 Киевской области, Украина*

## **УТОЧНЕНИЕ ПОНЯТИЯ МОМЕНТА СИЛЫ В МЕХАНИКЕ**

**Аннотация.** Установлено, что единицей момента силы является  $\text{Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$ , а единицей кинематического передаточного числа, связывающего значения силы и момента силы, является  $\text{м}/\text{рад}$ . Показано, что понятие «плечо силы» не имеет отношения к определению момента силы.

Известно, что формулы размерности момента силы (крутящего момента) и энергии (или работы; слово «работа» иногда будем опускать) имеют один и тот же вид [1]:

$$L^2MT^2, \quad (1)$$

где  $L$ ,  $M$ ,  $T$  – условные обозначения размерностей соответственно длины, массы и времени.

Но физический смысл величин «момент силы» и «энергия» принципиально различен, вследствие чего их формулы размерности ни в коем случае не должны совпадать. Наблюдающееся совпадение является признаком противоречия, существующего в механике, и, как следствие, в Международной системе единиц *SI*.

Положим, например, что крутящий момент, единицей которого является ньютон-метр ( $\text{Н}\cdot\text{м}$ ), поворачивает некоторое тело на угол, измеряемый в радианах. Умножая момент на угол, ожидаем получить значение выполненной моментом механической работы. Однако, получаем значение непонятной физической величины, единицей которой является  $\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{рад}$  (или, что-то же,  $\text{Дж}\cdot\text{рад}$ ), а не ожидаемый джоуль. Поскольку понятия энергии и момента силы являются одними из основных в механике, то противоречие между ними нельзя оставлять без внимания. Полагая понятие энергии корректным, можно предположить, что причиной противоречия является несовершенство понятия момента силы. Первым обратил внимание на эту физическую величину Архимед [2, с. 21]. Интуитивно сформулированное им эмпирическое определение момента силы и сегодня воспринимается как не подлежащая обсуждению аксиома. Но оно – не аксиома, а всего лишь общепринятое соглашение. Если до открытия закона сохранения энергии понятие «момент силы» было самостоятельным, то после этого открытия оно должно было удовлетворять требованию непротиворечивости с более общим (по отношению к нему) законом сохранения энергии. Но при этом оказалось, что единица механической энергии (работы) такая же, как и единица момента силы, в современных терминах – ньютон-метр. Никому не пришло в голову, что это является признаком недопустимого явления – противоречия между Архимедовым понятием момента силы и законом сохранения энергии. Физики приняли совпадение единиц измерения за непонятную досадную мелочь и отмахнулись от неё, дав единице энергии и работы специальное

название «джоуль». Но противоречие от этого не исчезло и продолжало существовать.

**Целью работы** является разрешение противоречия между понятиями энергии (работы) и момента силы, проявляющееся в совпадении их формул размерности.

Корректное понятие момента силы должно базироваться не на субъективных умозаключениях исследователя, бывших единственными возможными во времена Архимеда, а на объективных законах и закономерностях механики. Опираясь на принцип возможных перемещений и самые общие физические и геометрические соображения, произведем следующие построения. Полагаем, что момент силы  $M_O$  должен обеспечивать возможность представления элементарной механической работы  $\delta W$ , выполняемой силой  $\bar{F}$  при повороте тела на некоторый угол  $\delta\alpha$ , в виде работы, выполняемой этим моментом:

$$M_O \delta\alpha = \delta W,$$

откуда:

$$M_O = \delta W / \delta\alpha. \quad (2)$$

Физический смысл момента силы, определяемого по соотношению (2) – это первая производная от механической работы по углу поворота тела. Она численно равна механической работе, которую могла бы выполнить сила при повороте тела в плоскости вращения на один радиан. Единица момента силы (2) – Н·м/рад, а не Н·м, предписываемый Международной системой единиц *SI*. Это является доказательством того, что, с позиций закона сохранения энергии, Архимедово определение момента силы и вытекающие из него положения системы единиц *SI* не являются корректными.

Положим далее, что на точку  $A$  тела, которое может вращаться вокруг точки  $O$ , действует сила  $\bar{F}$ , в результате чего точка  $A$  получает в направлении действия силы некоторое возможное прямолинейное перемещение  $\delta s$ , сопровождающееся поворотом тела на угол  $\delta\alpha$ . Согласно принципу возможных перемещений условие равновесия тела может быть записано в виде:

$$M_O \delta\alpha - F \delta s = 0, \quad (3)$$

где  $M_O$  – момент, который нужно приложить к телу, чтобы уравновесить действие силы  $\bar{F}$ ;  $F$  – модуль силы  $\bar{F}$ .

Из (3) вытекает соотношение, устанавливающее взаимосвязь между силой и моментом от нее в самом общем случае:

$$M_o = F(\delta s / \delta a). \quad (4)$$

Физический смысл отношения  $\delta s / \delta a$  – это кинематическое передаточное число между прямолинейным перемещением  $\delta s$  точки приложения силы (в направлении её действия) и угловым перемещением тела  $\delta a$ , единицей этого числа являются м/рад.

Формула размерности момента силы (4) имеет вид:

$$L^2 M T^{-1}, \quad (5)$$

где 1 – размерность угла; её также можно записывать в виде  $L^0$ .

Формула размерности (5) принципиально отличается от формулы размерности энергии (1): в ней присутствует ещё и размерность угла – единица (в минус первой степени). Следовательно, формулы размерности (1) и (5) не совпадают – противоречие между формулами размерностей энергии (работы) и момента силы в Международной системе единиц *SI* устранено.

Как уже указывалось, соотношение (4) характеризует взаимосвязь между силой и моментом от нее в самом общем случае. Предположим, например, что имеем произвольное идеальное устройство, преобразующее энергию вращательного движения в механическую работу поступательного движения или наоборот. Это может быть какое-то установленное на оси твердое тело, винтовой домкрат или пресс, реечная передача, лебедка, лебедка с полиспастом, колесо с эластичной шиной и тому подобное. Если известно значение кинематического передаточного числа  $\delta s / \delta a$  такого устройства, то соотношение между крутящим моментом и силой на его входе и выходе может быть установлено с помощью выражения (4). В случае неидеального устройства необходимо будет учесть его коэффициент полезного действия.

Для уяснения различий между соотношением (4) и общепринятым расчетным соотношением для вычисления момента силы (произведение силы на её плечо) рассмотрим пример. К точке *A* абсолютно твердого тела, расположенной на расстоянии *b* от точки вращения *O*, приложена сила  $\bar{F}$  – рисунок 1. Поскольку тело является абсолютно твердым, то эпюра линейных перемещений точек линии *OA*, наблюдающихся при повороте тела на возможный элементар-

ный угол  $\delta\alpha$ , будет линейной (пунктир от точки  $O$  до конца вектора  $\delta A$ ). Благодаря этому являются справедливыми соотношения:

$$dA = b \cdot \operatorname{tg}(d\alpha) = \frac{h}{\cos\beta} \operatorname{tg}(d\alpha);$$

где  $h$  – расстояние от точки вращения  $O$  до линии действия силы  $\bar{F}$ , м.

С учетом того, что при бесконечно малых значениях угла  $d\alpha$  число  $\operatorname{tg}(\delta\alpha)$  практически равно углу  $\delta\alpha$ , кинематическое передаточное число равно, м/рад:

$$\frac{\delta s}{\delta\alpha} = h \frac{\operatorname{tg}(\delta\alpha)}{\delta\alpha} = h. \quad (6)$$

Из полученного соотношения вытекает, что, в случае абсолютно твердого тела, значение кинематического передаточного числа  $\delta s / \delta\alpha$  численно равно расстоянию  $h$  от центра вращения до линии действия силы, именно это обстоятельство на протяжении более чем двух тысячелетий создавало иллюзию о корректности Архимедова определения момента силы. Но единицей величины  $h$  в соотношении (6) есть м/рад, вследствие чего величину  $h$  нельзя считать плечом силы – ведь единицей плеча есть метр, а не м/рад.

Если момент, образованный силой  $\bar{F}$  относительно точки  $O$ , определять по принятым сегодня правилам (как произведение модуля силы на плечо  $h$ ) то результат численно будет правильным, но по физической сути – неправильным, так как его единицей будет Н·м, а не Н·м/рад.

Как пример, уточненное определение момента силы позволяет предельно просто разрешить противоречие, давно существующее в теории качения эластичного колеса. Оно заключается в том, что, исходя из значения подведенного к колесу крутящего момента, определение его (колеса) полной окружной силы можно произвольно: опираясь на динамический радиус (Г.М. Кутьков, В.П. Тарасик и др.), или опираясь на радиус качения, взятый при

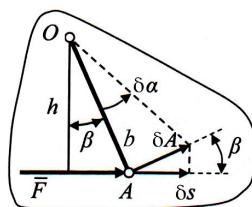


Рисунок 1 – К определению перемещения  $\delta s$  точки  $A$

отсутствии скольжения колеса (В.А. Петрушов, А.И. Гришкевич, ГОСТ 17697-72 и др.). Однако, эти радиусы могут различаться на (15-25) %, вследствие чего на столько же могут различаться и результаты расчетов полной окружной силы колеса.

Из соотношения (4) следует, что, если его применять для эластичного колеса, то вместо кинематического передаточного числа  $\delta_s / \delta\alpha$  должен применяться тот и только тот радиус колеса, единицей которого является м/рад. Такую единицу имеет только радиус качения, следовательно, в теории качения должен применяться именно этот радиус, взятый, естественно, без учета буксования или скольжения.

#### Список использованной литературы

1. ГОСТ 8.417-81 ГСИ. Единицы физических величин. – М.: Госстандарт, 1982. – 18 с.
2. История механики с древнейших времен до конца XVIII века / Под общ. ред. А.Т. Григорьяна, И.Б. Погребыского. – М.: Наука, 1971. – 298 с.

**Abstract.** It is established that the unit of the force moment is N·m/rad, and the unit of the kinematic transfer ratio, which connects the values of force and torque, is m/rad. It is shown that the concept of "shoulder strength" has no relation to the determination of the moment of force.

УДК 378.012

**Смалянка Г.А.,** старши выкладчык;

**Платоненка А.В.,** выкладчык

УА «Беларускі дзяржаўны аграрны тэхнічны ўніверсітэт»,

г. Мінск, Рэспубліка Беларусь

## САМАСТОЙНАЯ РАБОТА СТУДЭНТАЎ – АСНОВА ПАВЫШЭННЯ ЯКАСЦІ ПАДРЫХТОЎКІ СПЕЦЫЯЛІСТАЎ

**Анататыя.** У дадзеным артыкуле разглядаюцца тэхналогіі супрацоўніцтва выкладчыка і студэнта, аналізуюцца разнастайныя метады і прыёмы самастойнай работы, засяроджваючы ўвагу на распрацоўцы студэнтам і выкладчыкам індывідуальных самаадукацыйных цыклau.