

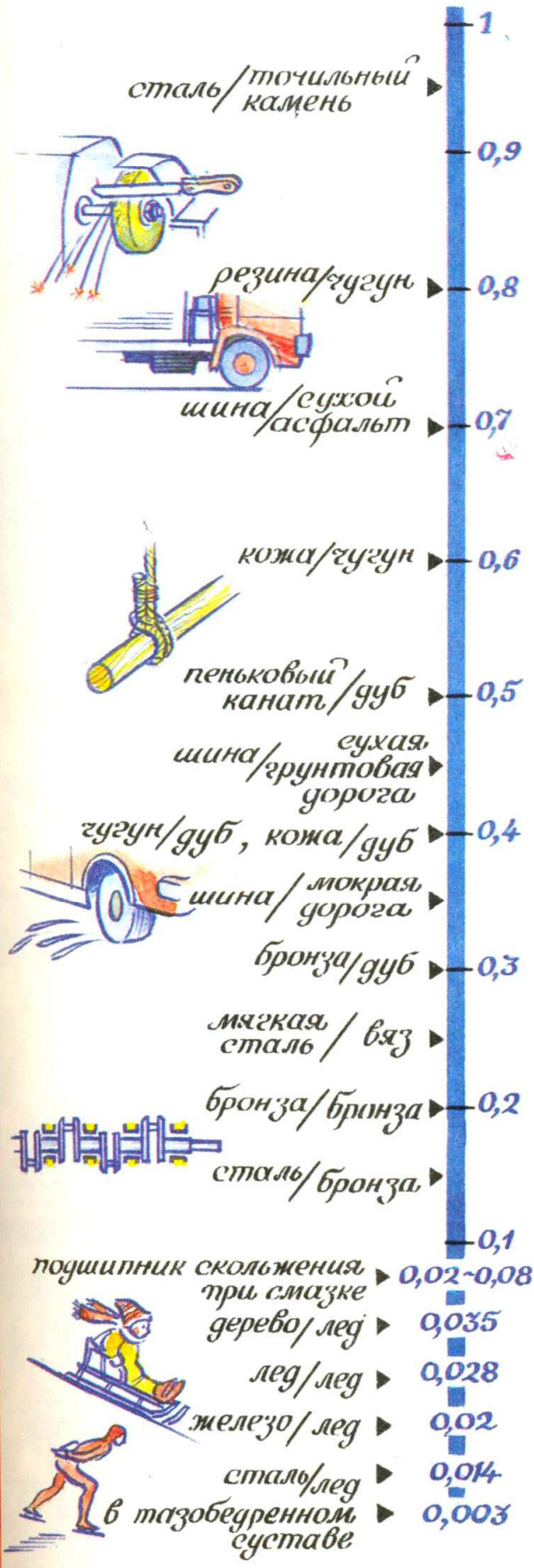
● СПРАВОЧНИК — ВСЕЛЕННАЯ XX СТОЛЕТИЯ

Т Р Е Н И Е

(см. стр. 116)

Коэффициент трения скольжения

Коэффициент трения качения (см.)



ЭТО ВРЕДНОЕ ТРЕНИЕ

Полезно или вредно трение? Многие, не задумываясь, отвечают: «Конечно, вредно!» И на первый взгляд они правы. Действительно, из-за трения изнашиваются механизмы и машины, стираются подошвы ботинок и шины автомобиля, затруднено передвижение различных грузов, невозможно создание вечного двигателя и многое другое.. Но представьте себе на минуту, что трение исчезло. Тогда движущийся автомобиль не сможет остановиться, а неподвижный— тронуться с места. Пешеходы упадут на асфальт и не смогут подняться. Кроме того, они неожиданно окажутся голыми, так как нитки в тканях удерживаются трением. Вся мебель в комнате собьется в один угол (в соответствии с наклоном пола), тарелки и стаканы соскользнут со стола, гвозди и шурупы выскочат из стен, ни одну вещь нельзя будет взять в руки, вы не сможете перевернуть страницу журнала и т. д. и т. п. Перечень подобных «ужасов» можно продолжить до бесконечности, но и сказанного достаточно, чтобы понять, что без трения жизнь на Земле была бы невозможна.

Вот что пишет известный швейцарский физик, лауреат Нобелевской премии Шарль Гийом (1861—1938): «Вообразим, что трение может быть устранено совершенно. Тогда никакие тела, будь они величиною с каменную глыбу или малы, как песчинка, никогда не удержатся одно на другом: все будет скользить и катиться, пока не окажется на одном уровне. Не будь трения, Земля представляла бы шар без неровностей, подобно жидкому». К этому можно добавить, что неизвестно, как бы пошло развитие цивилизации — ведь наши предки добывали огонь трением.

Что же такое трение?

При перемещении одного тела по поверхности другого всегда возникает сила, препятствующая движению. Она-то и называется силой трения.

Трение — следствие многих причин. Главные из них — две. Во-первых, поверхности тел всегда неровны, и зазубрины одной поверхности цепляются за шероховатости другой. Это так называемое геометрическое трение. Во-вторых, трущиеся тела очень близко соприкасаются друг с другом, и на их движении сказывается взаимодействие молекул (молекулярное трение).

Наука, изучающая трение, называется трибологией (от греческого слова «трибос», что означает трение). Законы сухого трения (скольжения и качения) сформулировал в 1781 году выдающийся французский физик Ш. О. Кулон (1736—1806). Они были определены опытным путем. Кулон установил, что сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления N : $F = kN$. Коэффициент пропорциональности k называется коэффициентом трения. Его можно определить так. На наклонную плоскость кладут тело и, изменяя угол α (рис. 1), добиваются равномерного движения тела по наклонной плоскости. В этом случае сила трения равна движущей силе: $F = P \sin \alpha$, а сила нормального давления N равна величине $P \cos \alpha$. Из формулы Кулона следует, что $P \sin \alpha = kP \cos \alpha$ или $k = \tan \alpha$, то есть коэффициент трения — это тангенс угла, при котором тело с постоянной скоростью скользит по наклонной плоскости.

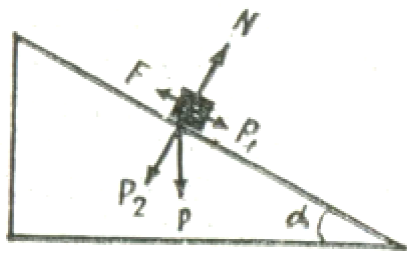


Рис. 1. При равномерном скольжении тела по наклонной плоскости движущая сила ($P_1 = P \sin \alpha$) равна силе трения (F).

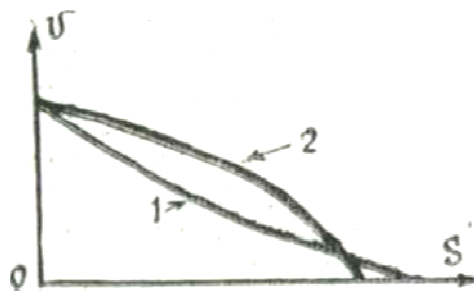


Рис. 2. При торможении скольжением (1) автомобиль до остановки пройдет больший путь, чем при торможении качением (2).

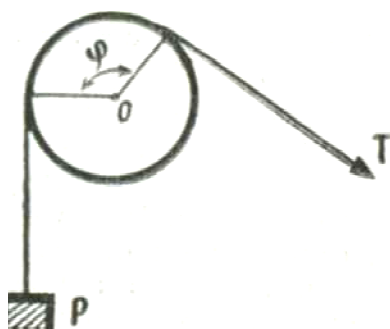


Рис. 3. Сила T , необходимая для поднятия груза веса P , вычисляется по формуле Эйлера $T = Pe^{k\phi}$

Коэффициенты трения определяются опытным путем и вносятся в справочники.

Некоторые из них указаны на цветной вкладке. Рассматривая ее, надо помнить, что даны средние значения коэффициентов трения. Его величина зависит не только от способа определения коэффициента трения, но и от степени очистки поверхностей. Ведь трущиеся поверхности, как правило, загрязнены. На них обычно бывает ржавчина, окислы и другие посторонние включения. Так как степень загрязнения при опытном определении коэффициента трения точно не известна, то, строго говоря, нам неизвестно, что же за коэффициент трения мы получили. Скажем, указанный в справочнике коэффициент трения меди по меди — это на самом деле не коэффициент трения между двумя медными поверхностями, а между какими-то загрязнениями, имеющимися на меди.

Коэффициент трения скольжения — величина безразмерная, а вот коэффициент трения качения имеет размерность длины. Трение качения возникает из-за того, что при движении колесо несколько вдавливаются в дорогу, и ему приходится все время взбираться на небольшой бугорок, образующийся перед ним. Чем тверже поверхность дороги, тем меньше колесо проваливается в грунт, тем меньше выступ перед колесом, который ему приходится преодолевать, и тем меньше, следовательно, трение качения. Вот почему все заезды на побитие мировых рекордов скорости на автомобилях и мотоциклах проводятся на высохших соленых озерах, дно которых обладает очень высокой твердостью.

Сила трения качения определяется по формуле $F = kN/r$, где r — радиус колеса. Отсюда следует, что коэффициент трения качения имеет размерность длины. Обычно он

выражается в сантиметрах. Ряд коэффициентов трения качения также приведен на цветной вкладке.

Как лучше тормозить: качением или скольжением (так называемый юз, когда колеса зажать? намертво)? Ответ на этот вопрос дает рисунок 2. Если вы тормозите скольжением (юзом), то тормозной путь будет длиннее, чем при торможении качением (колеса заторможены, но проворачиваются). Зато вначале скорость падает более резко. Поэтому, когда возникает опасность наезда, надо тормозить юзом. Лучше ударить с меньшей скоростью, так как энергия удара пропорциональна квадрату скорости. Во всех остальных случаях — тормозите качением: и тормозной путь будет короче, и шины меньше изнашиваются. Рассказ о трении будет неполным, если не упомянуть о формуле, носящей имя великого математика и механика, петербургского академика Леонардо Эйлера (1707 — 1783).

Вы, конечно, видели, как сдерживают ход корабля, подошедшего к пристани. С парохода на пристань бросают канат, на конце которого сделана широкая петля. Человек, стоящий на пристани, надевает петлю на причальную тумбу, а матрос на корабле быстро укладывает канат между кнехтами — парными чугунными тумбами на палубе судна. Сила трения между канатом и кнехтами (она в этом случае вычисляется по формуле Эйлера) останавливает движение судна.

Представьте себе, что вы поднимаете груз при помощи веревки, переброшенной через неподвижно закрепленный блок (рис. 3). Если бы трение отсутствовало, то, поднимая груз, пришлось бы приложить силу, в точности равную весу груза. Но так как между веревкой и блоком существует трение, то придется прикладывать силу, большую силы тяжести.

Сила T , необходимая для поднятия груза веса P , вычисляется по формуле Эйлера:

$T = Pe^{k\phi}$. Здесь e — основание натуральных логарифмов, k — коэффициент трения скольжения, а ϕ — угол охвата блока веревкой, выраженный в радианах.

Вычисления показывают, что если корабль тянет с силой 10 тонн (100 кН), а канат три раза обернут вокруг тумбы, то, чтобы удержать пароход у пристани, достаточно приложить силу в 15 килограммов (150 Н). Обычно матрос, уложив канат восьмеркой несколько раз между кнехтами, просто прижимает свободный конец его к палубе ногой. Такого небольшого усилия достаточно, чтобы остановить огромный корабль.

Между причальной тумбой и канатом развивается такая большая сила трения, что раньше, когда тумбы делались из дерева, они даже загорались. Поэтому на Руси их называли огнивами. Чтобы во время швартовки огнива не загорались, их обливали водой.

В романе Жюль Верн «Матиас Шандор» выведен силач Матифу, который совершает много подвигов. Один из них такой.

Готовился спуск на воду трабаколо — небольшого судна с двумя мачтами и парусами трапецевидной формы. Плотники начали выбивать из-под киля клинья, удерживающие трабаколо на спусковой дорожке. В этот момент в гавань влетела яхта. Плотники прекратили работу, чтобы дать возможность яхте без помех пройти мимо места спуска трабаколо, но оно неожиданно заскользило по спусковой дорожке в воду. Столкновение яхты с трабаколо казалось неминуемым.

«Вдруг из толпы зрителей выскакивает какой-то человек. Он хватается за трос, висящий на носу трабаколо. Но тщетно старается он, упираясь ногами, удержать трос в руках... Поблизости врыта в землю швартовая пушка. В мгновение ока неизвестный, набрасывая на нее трос, который начинает медленно разматываться, а храбрец, рискуя попасть под него и быть раздавленным, сдерживает его со сверхчеловеческой силой. Это длится секунд десять. Наконец, трос лопнул. Но этих десяти секунд оказалось достаточно. Трабаколо... прошло за кормой яхты на расстоянии не более фута...

Яхта была спасена.

А неизвестный, которому никто не успел помочь,— до того неожиданным оказался его поступок — был не кто иной, как Матифу».

Жюль Верн, по-видимому, не был знаком с формулой Эйлера. Иначе он понял бы, что эпизод с трабаколо не может свидетельствовать о силе Матифу. Если канат был обернут несколько раз вокруг швартовой пушки, то удержать трабаколо мог даже ребенок.

Каждый из нас по крайней мере раз в день пользуется формулой Эйлера. Происходит это тогда, когда мы завязываем шнурки на ботинках. Ведь что такое узел, как не веревка, обвитая вокруг другой части той же веревки? И крепость узла тем больше, чем больше изгибов делает шнурок в узле.

Обратимся теперь к цветной вкладке, которая дополняет данную статью. На ней приведены различные коэффициенты трения скольжения и качения. Надпись «сталь/чугун» означает: «коэффициент трения стали по чугуну». Для трения скольжения материалы можно поменять местами, значение коэффициента не изменится. А вот для коэффициента трения качения это не так.

Например, колесо из стали испытывает большее сопротивление при качении по дереву, чем наоборот. И это понятно. Колесо из дерева практически не вдавливаются в твердую сталь, поэтому сопротивление качения в этом случае в пять раз меньше, чем тогда, когда колесо из стали катится по деревянному настилу. Рассматривая вкладку, вы найдете много других сведений для сопоставления и размышления. Желаю вам приятного по ней путешествия.

Кандидат физико-математических наук

В. ЛИШЕВСКИЙ.

«Наука и жизнь, № 08 1990 г.»