

1. Кирюшкин С.Г., Ковалев И.Б., Панченков Г.М., Чеботаревский А.Э., Шляпников Ю.А. Подбор антиоксидантов для системы полимер+металл // Пластические массы. – 1982. – №5. – С. 55-56.

2. Lin, D.G. Performance of a Phenolic Antioxidant Introduced by Different Procedures into Polyethylene Containing Dispersed Fillers / D.G. Lin and E.V. Vorob'eva // Russian Journal of Applied Chemistry.– 2013.– Vol. 86, Issue 1.– P. 82-86.

3. Lin, D.G. On Increasing the Inhibiting Property of Amine Antioxidant in Contact with Copper and Its Compounds / D.G. Lin, E.V. Vorobyova // Journal of Applied Polymer Science.– 2010.– Vol. 118, №5, Issue 3.– P. 1430–1435.

4. Лин, Д.Г. Изменение эффективности фенольного антиоксиданта при окислении полиэтилена в условиях контакта с оксидами металлов / Д.Г. Лин, Е.В. Воробьева // Материалы, технологии, инструменты.– 2010.– Т.15, №4, – С. 94-99.

5. Каталитические свойства веществ: Справочник / Под общ. ред. В.А. Ройтера.– Киев: Наукова думка, 1968.– 1462 с.

УДК 621

## ТРЕНИЕ КАК ИСТОЧНИК ТЕПЛОТЫ

**Шитик С.В.**

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь  
Научный руководитель – Новосельцев В.Г., к.т.н., доцент.

*The article considers a frictional force as a source of low-potential energy. It also outlines the laws describing release of heat from frictional force. Some special aspects of this energy conversion are highlighted. Formulas are given. As an example, some possible versions of this effect in reality are shown in the form of small converters.*

Всем известно, что при любом механическом движении возникает трение и выделяется теплота. Сам факт выделения теплоты при трении был известен людям с незапамятных времен, но корректного объяснения этого явления нет и до сих пор [1].

Из основ физики известно, что энергия может преобразовываться из одной формы в другую и такие преобразования постоянно происходят в природе и технике. Более ста лет назад Джеймс Прескотт Джоуль с помощью калориметра доказал превращение механической энергии в тепловую. В его приборе опускающиеся и поднимающиеся грузы вращали вал с лопастями в заполненном водой калориметре. В результате проделанной работы вода нагревалась. Для измерения температуры Джоуль изготовил специальный термометр, который позволил ему провести точные измерения и определить эквивалент калории теплоты, она оказалась равной 4,186 Дж механической

работы. В дальнейшем похожее устройство было применено для определения теплового эквивалента электрической энергии.

Все мы прекрасно осведомлены о том, что при трении или ударе выделяется теплота. Теплота, возникающая без нагрева, теплота как следствие проделанной работы. Однако никто не использует это теплоту.

Понятие «сухого» (внешнее) трение объясняется как механическое сопротивление, возникающее в плоскости касания двух соприкасающихся тел при их относительном перемещении (в том числе микроскопическом). Сила сопротивления направлена противоположно относительному перемещению тел и называется силой трения [2].

Законы сухого трения (Закон Амонтона – Кулона ) говорят о том, что максимальная сила трения покоя и сила трения скольжения не зависят от площади поверхностей соприкосновения соприкасающихся тел, подверженных трению. Эти силы пропорциональны модулю силы нормального давления ( $N$ ), которая прижимает трущиеся поверхности:

$$F_{\text{тр}} = \mu N; \quad (1)$$

где  $\mu$  – безразмерный коэффициент трения (покоя или скольжения). Данный коэффициент зависит от природы и состояния поверхностей трущихся тел, например от наличия шероховатостей. Если трение возникает как результат скольжения, то коэффициент трения является функцией скорости. Довольно часто вместо коэффициента трения применяют угол трения, который равен:

$$\operatorname{tg} \varphi = \mu; \quad (2)$$

Угол  $\varphi_0 = \operatorname{arctg} \mu_0$  равен минимальному углу наклона плоскости к горизонту, при котором тело, лежащее на этой плоскости, начинает скользить, под воздействие силы тяжести.

Более точным считают закон трения, который принимает во внимание силы притяжения между молекулами тел, которые подвергаются трению:

$$F_{\text{тр}} = \mu_0 (N + S \cdot p_0); \quad (3)$$

где  $S$  – общая площадь контакта тел,  $p_0$  – добавочное давление, которое вызывается силами молекулярного притяжения,  $\mu_0$  – истинный коэффициент трения.

Трение между твердым телом и жидкостью (или газом) называют вязким (жидким). Сила вязкого трения становится равной нулю, если скорость относительного движения тел обращается в нуль.[3]

При движении тела в жидкости или газе появляются силы сопротивления среды, которые могут стать существенно больше, чем силы трения. Величина силы трения скольжения зависит от формы, размеров и состояния поверхности тела, скорости движения тела относительно среды, вязкости среды. При не очень больших скоростях сила трения вычисляется при помощи формулы:

$$\overline{F_{\text{тр}}} = -\mu' \vec{v}; \quad (4)$$

где знак минус означает, что сила трения имеет направление в сторону противоположную направлению вектора скорости. При увеличении скоростей движения тел в вязкой среде линейный закон (4) переходит в квадратичный:

$$\overline{F_{\text{тр}}} = -\mu'' v^2 \frac{\bar{v}}{v}; \quad (5)$$

Коэффициенты  $\mu'$  и  $\mu''$  существенно зависят от формы, размеров, состояния поверхностей тел, вязкости среды.

Помимо этого выделяют трение качения. В первом приближении трение качения рассчитывают, применяя формулу:

$$F_{\text{тр}} = k \frac{N}{r}; \quad (6)$$

где  $k$  – коэффициент трения качения, который имеет размерность длины и зависит от материала тел, подверженных контакту и качеств поверхностей и т.д.  $N$  – сила нормального давления,  $r$  – радиус катящегося тела.

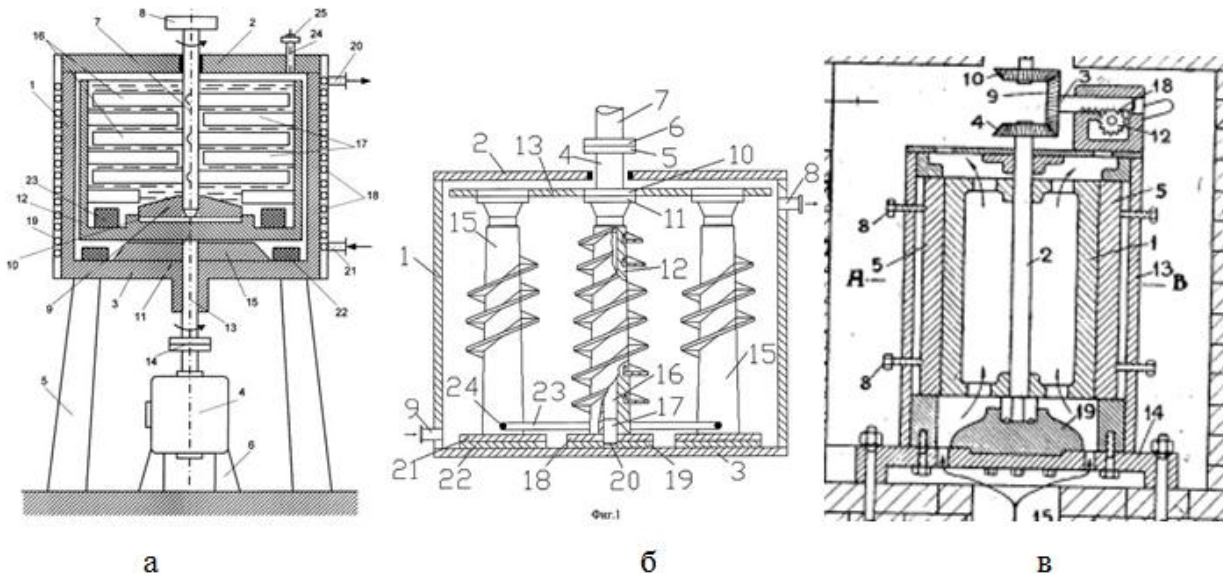
Если тело движется с постоянной скоростью (равномерно) против сил трения, то над ним совершается работа

$$A = F \cdot S; \quad (7)$$

При этом сила  $F$  совпадает по направлению с перемещением  $S$  и равна по величине силе трения  $F_{\text{тр}}$ . Работа против сил трения превращается в тепловую энергию.

$$A = F_{\text{тр}} \cdot S = \mu \cdot F_{\text{норм}} \cdot S; \quad (8)$$

После чего можно рассуждать о конструкциях так называемых триботеплогенераторов («трибо» с латинск. трение), позволяющих преобразовывать механическое трение в теплоту. Они чаще всего представляют собой конструкции трущихся элементов в форме дисков, колодок, винтов (см.рис 1). [4]



**Рисунок 1 – Триботеплогенераторы: а – с дисковым элементом, б-с винтовым элементом, в-с колодочным элементом**

Известные триботеплогенераторы имеют основной практический недостаток- быстрый износ рабочих поверхностей(трущихся элементов). Именно это остается самым насущным вопросом в создании подобных теплогенераторов. Сегодня с износом борются различными способами:

нанонапылением твердыми сплавами, наслоением электрохимическими методами, сочетания менее плотных материалов с более плотными. И эти методы борьбы производятся только на заводах, специализированных лабораториях и т.п. Однако считают возможным использовать некоторые методы восстановления (гальваностегия) одновременно с процессом работы теплогенератора.

В заключении хотелось бы отметить, что общепринятой теории превращения механической энергии в теплоту в результате трения твердых тел на сегодня не существует.

#### **Список использованных источников**

1. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения. И.И.Беркович, Уч. пос. СГТУ, Самара, 2000. – 268 с.
2. Современная трибология: Итоги и перспективы, К.В. Фролов. – М.: ЛКИ, 2008. – 480 с.
3. Триботехника: Уч.пос. 4-е изд., М.: МСХА, 2001. 616 с., ил. 280.
4. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 13, №4(3), 2011 «Элементарные теплофизические модели трения» А.П. Амосов.