

С. В. ФЁДОРОВ

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
Калининград, Россия

Выделяя машину (механизм) из окружающей среды ее материальными внешними границами, придаем ей смысл системы. Принципиальными подсистемами машин, обладающих основным функциональным смыслом элементов взаимосвязи или объектов трансформации движения, являются пары трения – трибосистемы. Естественно, что по отношению к трибосистемам машины являют собой трибонадсистемы.

Состояние трибосистемы совместимого трения можно оценить коэффициентом трения, который в рамках уравнения энергетического баланса трения [1, 2] имеет вид

$$f = f_{\text{адапт}} + f_{\text{дис}}'' = \frac{\Delta U_e}{N_{\text{конт}} l_f} + \frac{\vec{Q}}{N_{\text{конт}} l_f} = \frac{S_U}{S_*} + \frac{\vec{S}_Q}{S_*} = B_{TS} + \Pi_{TS} = 1, \quad (1)$$

где  $\Delta U_e$  и  $\vec{Q}$  – изменение накопленной скрытой энергии различного рода элементарных дефектов и повреждений структуры контактного объема и мощность динамической диссипации энергии;  $N$  и  $l$  – нагрузка и путь трения.

В этом уравнении интегральным параметром состояния (повреждаемости и сопротивления движению) трибосистемы является адаптивный коэффициент трения  $f_{\text{адапт}}$  совместимого трения. Он связан отношением энтропий  $f_{\text{адапт}} = S_U/S_*$  и поэтому является параметром вероятности состояния повреждаемости трибосистемы

$$f_{\text{адапт}} = \frac{\Delta U_e}{N_{\text{конт}} l_f} = \frac{S_U}{S_*} = \text{Беспорядок}.$$

Диссипативный же коэффициент совместимого трения  $f_{\text{дис}}$ , в данном случае, также является интегральным параметром состояния (работоспособности и содействия движению). Он связан отношением энтропий  $f_{\text{дис}} = \vec{S}_Q/S_*$  и поэтому является параметром вероятности состояния работоспособности трибосистемы

$$f_{\text{дис}} = \frac{\vec{Q}}{N_{\text{конт}} l_f} = \frac{\vec{S}_Q}{S_*} = \text{Порядок}.$$

Энтропия любой термодинамической системы, как величина аддитивная, равна сумме энтропий ее отдельных частей (подсистем). Поскольку относительная, критическая (конфигурационная) энтропия трибосистемы равна единице, то число трибосистем в машине (сложной системе) определяет, по существу, число машины  $n_{\text{МАШ}}$  – степень ее сложности или совершенства. Если учесть, что коэффициенты совместимого трения отдельных трибосистем машины в балансе каждой отдельной трибосистемы всегда меньше единицы, а число машины всегда равно целому числу, то, следовательно, суммы, как адаптивных коэффициентов трения  $\sum f_{\text{адапт}}$ , так и диссипативных коэффициентов трения  $\sum f_{\text{дис } i}$  машины (трибонадсистемы) должны быть равными также целым числам.

При этом возможно сделать вывод – машина обладает именно признаками машины, т.е. она оптимальна, когда сумма адаптивных коэффициентов совместимого трения ее трибосистем становится равной единице

$$\sum_1^n f_{\text{адапт } i} = 1.$$

Следовательно, механизм (машина) это устройство, у которого сумма адаптивных коэффициентов совместимого трения (относительных структурных (конфигурационных) энтропий трибосистем) равна единице

$$\sum_1^n f_{\text{адапт } i} = \sum_1^n \frac{S_{U_i}}{S_*} = \mu_U^{\text{МАШ}} = 1.$$

Отсюда следует, что сумма диссипативных коэффициентов трибосистем машины или относительных колебательных ( $\vec{S}_{Q_i}$ ) энтропий равна числу машины  $n_{\text{МАШ}}$  минус единица

$$\sum_1^n f_{\text{дис } i} = \sum_1^n \frac{\vec{S}_{Q_i}}{S_*} = \vec{\mu}_Q^{\text{МАШ}} = n_{\text{МАШ}} - 1.$$

В наиболее общем случае возможно для машины (сложной системы) записать следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \mu^{\text{МАШ}} &= \sum_1^n \frac{S_i}{S_*} = \frac{S_1}{S_*} + \frac{S_2}{S_*} + \frac{S_3}{S_*} + \dots + \frac{S_n}{S_*} = n_{\text{МАШ}}; \\ \mu_U^{\text{МАШ}} &= \sum_1^n \frac{S_{U_i}}{S_*} = \frac{S_{U_1}}{S_*} + \frac{S_{U_2}}{S_*} + \frac{S_{U_3}}{S_*} + \dots + \frac{S_{U_n}}{S_*} = 1,0; \end{aligned}$$

$$\bar{\mu}_Q^{MACH} = \sum_1^n \frac{\bar{S}_{Q_i}}{S_*} = \frac{\bar{S}_{Q_1}}{S_*} + \frac{\bar{S}_{Q_2}}{S_*} + \frac{\bar{S}_{Q_3}}{S_*} + \dots + \frac{\bar{S}_{Q_n}}{S_*} = n_{MACH} - 1, 0;$$

$$\mu^{MACH} = \mu_U^{MACH} + \bar{\mu}_Q^{MACH} = n_{MACH},$$

которым целесообразно придать смысл наиболее характерных уравнений машины. Здесь, параметры  $\mu^{MACH}$ ,  $\mu_U^{MACH}$ ,  $\bar{\mu}_Q^{MACH}$  – обобщенные коэффициенты трения машины как трибонадсистемы.

Полученная выше информация об обобщённых свойствах машин (трибонадсистем), позволяет выявить и рассмотреть некоторые столь же характерные количественные признаки идеальных (номинальных) машин, т.е. машин, обладающих оптимальными свойствами. Из правила  $\sum f_{АДАПТ_i} = 1$  следует, что не все числовые значения адаптивных коэффициентов совместимого (оптимального) трения  $f_{АДАПТ_i}$  могут в сумме дать единицу, а только вполне определенные (табл.1).

Табл.1. Возможный ряд трибосистем, образующих машину (трибонадсистему)

$f_{АДАПТ_i}$	$f_{ДИС_i}$	$n_{mach_i} = \frac{1}{f_{АДАПТ_i}}$	$f_{АДАПТ_i}$	$f_{ДИС_i}$	$n_{mach_i} = \frac{1}{f_{АДАПТ_i}}$
0,5	0,5	2	0,005	0,995	200
0,25	0,75	4	0,004	0,996	250
0,2	0,8	5	0,0025	0,9975	400
0,1	0,9	10	0,002	0,998	500
0,05	0,95	20	0,001	0,999	1000
0,04	0,96	25	0,0005	0,9995	2000
0,025	0,975	40	0,0004	0,9996	2500
0,02	0,980	50	0,00025	0,99975	4000
0,01	0,990	100	0,0002	0,9998	5000

0,0001 и т.д.

Для простейших рычажных механизмов, образованных по правилу Л.В. Ассура, использование величин номинальных коэффициентов трения (см. табл. 1) позволяет реализовать теоретическое правило идеальной машины (механизма) [1], то есть  $\sum \mu_{АДАПТ_i} = 1$ . Как видно из табл. 2 правило трибооптимальной машины (механизма) для количества трибосистем, получаемых в рамках структурного анализа механизмов, выполняется. Таким образом, подтверждается объективность правила трибооптимальной машины (механизма), предложенного в работе [1], и его практическая целесообразность.

Табл. 2. Подбор коэффициентов трения в трибосистемах для плоских рычажных механизмов

№ п/п	$n$	$p_5$	$n_{mach_i}$	$\sum \mu_{АДАПТ_i}$
1	2	3	4	$0,25 \times 4 = 1,0$
2	4	6	7	$0,05 + 0,25 + (0,2 \times 2) + (0,1 \times 3) = 1,0$
3	6	9	10	$0,1 \times 10 = 1,0$
4	8	12	13	$(0,05 \times 8) + 0,2 + (0,1 \times 4) = 1,0$
5	10	15	16	$(0,05 \times 12) + (0,1 \times 4) = 1,0$
6	12	18	19	$0,1 + (0,05 \times 18) = 1,0$

На основании вышесказанного обозначим ряд выводов.

1. Число машины (степень сложности) определяется числом элементов (трибосистем) ее кинематической цепи.

2. Число машины (оптимальной) определяется суммой адаптивных и диссипативных коэффициентов трения совместимых трибосистем.

3. В системно-совместимой, номинальной машине сумма адаптивных коэффициентов трения элементов кинематической цепи должна быть равной единице.

4. Первоначально, действительные (оптимальные) машины следует образовывать таким образом, чтобы суммы адаптивных коэффициентов трения её элементов были равны единице и др.

5. Правило машины  $\sum \mu_{АДАПТ_i} = 1$  позволяет реализовать инженерный метод оптимизации конструкции узлов трения машины по трибома-териаловедческому и трибоконструкционному признакам.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фёдоров, С. В.** Основы трибоэргодинамики и физико-химические предпосылки теории совместимости / С. В. Фёдоров. – Калининград: КГТУ, 2003. – 416 с.

2. **Фёдоров, С. В.** Расчет износа зубчатого зацепления по модели механического кванта / С. В. Фёдоров // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – № 5. – С. 33–39.