

20 КАК УТОЛИТЬ  
КАДРОВЫЙ  
ГОЛОД?

24 О ВОЗМОЖНОСТИ  
ПОСТРОЕНИЯ  
МЕХАНОТЕРМОДИНАМИКИ

45 ПОТЕПЛЕНИЕ  
ИННОВАЦИОННОГО  
КЛИМАТА

61 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ  
СОВЕСТНОСТЬ И  
ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГИЙ

# НАУКА И ИННОВАЦИИ

научно-практический журнал



№ 2(60)\_2008



## ЛОГИСТИКА- ИНСТРУМЕНТ МЕНЕДЖМЕНТА



Леонид Сосновский

Сергей Щербаков

заведующий межведомственной лабораторией «Трибофатика»,  
преподаватель кафедры строительной механики  
Белорусского государственного университета транспорта,  
профессор

ассистент кафедры теоретической и прикладной механики  
Белорусского государственного университета,  
аспирант

УДК 531 / 534

## О возможности построения механотермодинамики

В данной работе сделана попытка сформулировать основные положения механотермодинамики систем. Последовательность нашего анализа такова. Сначала мы вводим представление о трибофатической энтропии, порождаемой в механической системе, — подобно термодинамической энтропии, определяемой обменом энергией и веществом. Принципиальная разница этих представлений такова: если термодинамическая энтропия — это характеристика рассеяния энергии, то трибофатическая энтропия — характеристика ее поглощения. Объединение этих представлений и позволяет построить общие контуры механотермодинамики — в терминах энтропии. Но, чтобы понять эволюцию системы, потребовалось установить принципиальные особенности диалектического взаимодействия необратимых повреждений — так называемых  $\Lambda$ -взаимодействий. Оказалось:  $\Lambda$ -взаимодействия определяют эволюцию системы по поврежденности с учетом многообразных и сложных процессов упрочнения-разупрочнения, а повреждаемость — фундаментальное физическое свойство (и обязанность) любой системы.

Стремление к обобщению естественно для исследователя, ибо оно есть путь к познанию неизвестного. Поэтому в заключение сделана попытка с новой точки зрения взглянуть на эволюцию любых систем, в том числе и Вселенной.

Для описания состояния термодинамических систем используют функции

$$U = U(T, V, N_k) \quad \text{или} \quad S = S(T, V, N_k), \quad (1)$$

в которых температура  $T$ , объем  $V$ , число молей химических компонентов  $N_k$  — макроскопические переменные состояния.

В общем случае открытой системы изменение  $dU$  внутренней энергии  $U$  представляется [1] в виде

$$dU = dQ + dA + dU_{\text{об}} = TdS - pdV + \sum_k \mu_k dN_k, \quad (2)$$

так что изменение энтропии

$$dS = \frac{dU + pdV}{T} - \frac{1}{T} \sum_k \mu_k dN_k, \quad (3)$$

где  $dQ$  — количество тепла;  $dA$  — количество механической энергии;  $dU_{\text{об}}$  — количество вещества, которым система обменилась с окружающей средой за интервал времени  $dt$ ;  $p$  — давление;  $\mu_k$  — химические потенциалы. Планк особо подчеркивал, что в формуле (2)  $dU$  есть бесконечно малая разность, тогда как  $dQ$ ,  $dA$ ,  $dU_{\text{об}}$  — бесконечно малые количества.

Таким образом, в термодинамике энтропия  $S$  — это мера необратимого рассеяния энергии [2], которая характеризует состояние системы с точки зрения ее внутренней упорядоченности или структуры.

Приращение энтропии (3), по Пригожину, может быть представлено как сумма ее изменения  $d_i S \geq 0$ , обусловленного обменом системы энергией и веществом с внешней средой, и изменения  $d_e S \leq 0$ , обусловленного необратимыми процессами внутри системы:

$$dS = d_e S + d_i S. \quad (4)$$

В (2) и (3) не принимаются во внимание многие процессы, например изменение внутренней энергии при повреждении движущихся и деформируемых твердых тел и силовых систем [3]. А обмен веществом рассматривается лишь в результате таких процессов, как диффузия и химические реакции, тогда как обмен веществом

при поверхностном изнашивании и объемном (например, усталостном) разрушении не учитывается. Поэтому возникает задача об оценке изменения энтропии в связи с развитием многообразных явлений повреждаемости.

Согласно обобщенным представлениям [3, 4], повреждение — это изменение состава, строения, структуры, размеров, формы, объема, массы, сплошности и, следовательно, соответствующих физико-химических, механических, электромагнитных и других свойств объекта; в конечном счете повреждение связывают с нарушением сплошности и целостности тела, вплоть до его разложения (например, на атомы) [4]. Таким образом, повреждаемость трактуется как фундаментальное свойство (и обязанность) движущихся и деформируемых систем, а разрушение рассматривается как специфический тип повреждения — соответствующее нарушение их сплошности и целостности.

В трибофатике показано [3], что для силовых систем необратимая повреждаемость  $\omega_{\Sigma}$  есть функция эффективных механической  $U_{\Sigma}^{off}$ , тепловой  $U_{\Sigma}^{off}$  и электрохимической  $U_{\Sigma}^{off}$  энергий, при этом различается механическая энергия, обусловленная изменением размеров тела ( $U_{\Sigma}^{off}$ ), и механическая энергия, обусловленная изменением его формы ( $U_{\Sigma}^{off}$ ):

$$\omega_{\Sigma} = \omega_{\Sigma}(U_{\Sigma}^{off}, U_{\Sigma}^{off}, U_{\Sigma}^{off}, U_{\Sigma}^{off}) =$$

$$\omega_{\Sigma}(\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, T_{\Sigma}, v_{ch}(m_k), \Lambda_{\sigma/p}, \Lambda_{T/M}) = \omega_{\Sigma}(U_{\Sigma}^{off}) \cdot (5)$$

Здесь  $\Lambda$ -функции характеризуют взаимодействие необратимых повреждений, обусловленных разными нагрузками (силовой и контактно-фрикционной — индекс  $\sigma/p$ ; тепловой и механической — индекс  $T/M$ ).

В (5) принимаются известные связи энергии с соответствующими силовыми факторами ( $\sigma_{ij}$  и  $\varepsilon_{ij}$  — тензоры напряжения и деформации,  $v_{ch}$  — скорость электрохимических процессов с учетом свойств ( $m$ ) материала). Эффективной называют энергию, непосредственно расходуемую на образование и развитие необратимых повреждений, то есть  $U^{off}$  — это поглощенная часть энергии, подведенной к системе [3]. Методика ее определения изложена в работах [3, 4]. Там же можно найти и формулы для оценки  $\omega_{\Sigma}$  в различных условиях работы силовых систем. Согласно (5), поврежденность  $\omega_{\Sigma}$  является термомеханической функцией, поскольку учитывает как силовые факторы, так и температуру  $T_{\Sigma}$ , обусловленную всеми источниками тепла.

Как правило, необратимые повреждения образуются и накапливаются не во всем (геометрическом) объеме деформируемого твердого тела, а лишь в некоторой его конечной области с критическим состоянием; эту область называют опасным объемом. Модель тела с опасным объемом разработана в [5], а в работе [3] дано ее обобщение применительно к силовым системам. Так называют всякую механическую систему, которая воспринимает и передает повторно-переменную рабочую нагрузку и в которой одновременно реализуется процесс трения в любых его проявля-

ниях, сопровождаемый многообразными и сложными электрохимическими явлениями.

Поскольку внутренние необратимые повреждения термомеханической природы возникают вследствие изменения эффективной энергии в опасном объеме  $W_{py}$  системы, то в общем случае

$$dU_{\Sigma}^{off} = \gamma_1^{(w)} \omega_{\Sigma} dW_{py} \quad (6)$$

где  $\gamma_1^{(w)}$  — напряжение, которое приводит к повреждению единичного опасного объема ( $W_{py} = 1$ ).

И тогда в соответствии с (2)–(4) можно ввести представление о трибофатической энтропии, изменение которой

$$(dI_{\Sigma})_{TF} = \frac{\gamma_1^{(w)}}{T_{\Sigma}} \omega_{\Sigma} dW_{py} \quad (7)$$

Таким образом, трибофатическая энтропия служит мерой необратимого поглощения энергии  $U_{\Sigma}^{off}$  в опасном объеме  $W_{py}$  силовой системы.

Теперь рассмотрим открытую термодинамическую систему, содержащую повреждаемое твердое тело; это — механотермодинамическая система. Полное изменение энтропии в такой системе, очевидно, определяется суммой (3) и (7) термодинамической и трибофатической энтропии:

$$(dS)_{\Sigma} + (dI_{\Sigma})_{TF} = \frac{dU + \Delta p dV}{T} - \frac{1}{T} \sum_k \mu_k dN_k + \frac{\gamma_1^{(w)}}{T_{\Sigma}} \omega_{\Sigma} dW_{py} \quad (8)$$

Если  $\omega_{\Sigma} = 0$ , то (8) сводится к (2).

Функция (8) механотермодинамического состояния принципиально отличается от функции (3) термодинамического состояния: она допускает анализ любого состояния системы (в том числе  $A$ -,  $B$ -,  $C$ -,  $D$ - и  $E$ -состояний поврежденности (табл. 1) [4]), так как в общем случае  $0 \leq \omega_{\Sigma} \leq \infty$  [4, 5]. Следовательно, согласно (8), именно рост производства трибофатической энтропии (7), обусловленный термомеханическим состоянием системы, может привести ее и к разрушению, и к разложению; в термодинамической функции (3) о подобных состояниях речи не идет. Проблема критических уровней энтропии, обусловленных повреждением и разрушением систем, пока не исследована [1].

Таблица 1. Характеристика состояний объектов

A-состояние	Неповрежденное	$\omega_{\Sigma} = 0$	A-эволюция: характерные состояния системы
B-состояние	Поврежденное	$0 < \omega_{\Sigma} < 1$	
C-состояние	Критическое	$\omega_{\Sigma} = 1 = \omega_{\Sigma}$	
D-состояние	Закритическое	$1 < \omega_{\Sigma} < \infty$	
E-состояние	Разложение	$\omega_{\Sigma} = \infty$	

Таблица 2. Термодинамические потоки и силы в некоторых часто наблюдаемых необратимых процессах

Явление	Поток	Сила	Характер
Теплоперенос	Тепловой поток, $J_{th}$	$\nabla(1/T)$	Вектор
Диффузия	Поток массы компонента $i$ , $J_{d,i}$	$-\nabla[\mu_i/T] - F_i$	Вектор
Вязкое течение	Диссипативная часть тензора давления, $P$	$\nabla \nabla(1/T)$	Тензор 2-го ранга
Химическая реакция	Скорость реакции $\rho$ , $\omega_p$	Сродство реакции, деленное на $T$ , $A_p/T$	Скаляр
Повреждение	Поток повреждений, $J_{W_p}$	$L_{\omega_{\Sigma}}(1/T_{\Sigma})$	Тензор 2-го ранга

$T$  — температура;  $\mu_i$  — химический потенциал компонента  $i$ ;  $F_i$  — внешняя сила, действующая на единицу массы компонента  $i$ ;  $\nabla$  — гидродинамическая скорость.

Сродство  $A_p$  связано с  $\mu_i$  соотношением

$$A_p = - \sum_i \nu_i \mu_i,$$

где стехиометрические коэффициенты  $\nu_i$  дают полное число молекул, образующихся ( $\nu > 0$ ) или исчезающих ( $\nu < 0$ ) в реакции.

Таким образом, процессы необратимого повреждения в опасном объеме силовой системы порождают трибофатическую энтропию, изменение которой прекращается только после гибели системы.

Обобщая, запишем (7) через тензор  $L_{\omega_{\Sigma}}$  повреждений системы:

$$dT_s = \gamma_1^{(\omega)} \frac{L_{\omega_{\Sigma}}}{T_{\Sigma}} dW_{\Sigma}; \quad (9)$$

$$L_{\omega_{\Sigma}} = \begin{vmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} \end{vmatrix}, \quad (10)$$

который может состоять из того числа компонент ( $\omega$ ), которое соответствует числу компонент напряжения, влияющих на изменение состояния поврежденности системы. Понятие о тензоре повреждений (10) введено в [3, 4].

Теперь известную сводку [6] термодинамических потоков и сил в некоторых часто наблюдаемых процессах можно дополнить (табл. 2) представлением о трибофатической энтропии.

Из изложенного следует, что судьба (или долговечность) системы в общем случае определяется интенсивностью процессов необратимого изменения энтропии — термодинамической и трибофатической; производство внутренней механотермодинамической энтропии так же вечно, как движение и повреждение.

Укажем здесь на одну важную проблему. В работах [3, 7] показано, что повреждения, обусловленные нагрузками разной природы (например, тепловой и механической), не складываются — не обнаруживают простого свойства аддитивности; напротив, они обладают способностью нелинейного взаимодействия. Результаты такого взаимодействия описываются функциями  $\Lambda_{\Sigma pp}$ ,  $\Lambda_{\Sigma pm}$  (выражение (5)). В работе [3] выполнена конкретизация  $\Lambda$ -функций для некоторых деформируемых систем.

Приведем экспериментальное подтверждение сказанного. Было сравнительно изучено [8] повреждение деформируемой системы при трении качения и при комплексном нагружении: трение качения + механическая усталость. Испытания в обоих случаях проводили при многоступенчатом повышении контактного давления  $p_0$  в широком диапазоне его изменения (рис. 1, ступени I, II, ..., XII). В процессе испытания системы «вал/ролики» измеряли сближение  $\delta_c$  осей этой пары элементов в условиях трения качения (когда амплитуда циклических напряжений  $\sigma_c = 0$ ) и в условиях контактно-механической усталости (при  $\sigma_c = 0,8\sigma_{-1}$  и  $\sigma_c = 1,0\sigma_{-1}$ , где  $\sigma_{-1}$  — предел выносливости). Можно видеть (рис. 1), что процесс накопления комплексных износоусталостных повреждений существенно замедляется по сравнению с процессом повреждения при трении качения, при этом диапазон нормального трения по контактному давлению увеличивается примерно на 14%. На основе этих экспериментальных данных поясним различие между процессами суммирования и взаимодействия повреждений.

Пусть за время  $t_i$  повреждения от контактной ( $\omega_c$ ) и внеконтактной ( $\omega_u$ ) нагрузок накапливаются так, как это показано на рис. 2,  $\alpha$ : критическое состояние ни по одному из этих критериев не

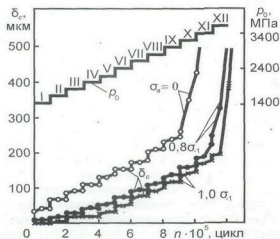


Рис. 1. Результаты испытаний

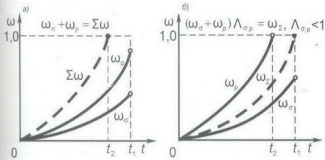


Рис. 2. Схема, поясняющая суммирование (а) и взаимодействие (б) повреждений

достигается ( $\omega \ll 1,0$ ;  $\omega_p \ll 1,0$ ). Если повреждения суммируются ( $\omega_p + \omega_0 = \Sigma\omega$ ), то в случае износоусталостных испытаний критическое состояние ( $\Sigma\omega = 1,0$ ) будет достигнуто за время  $t_c < t_1$ . Однако применительно к экспериментальным данным, представленным на рис. 1, такой прогноз оказывается очевидно неверным. Если же принять во внимание, что повреждения от контактной и внеконтактной нагрузок взаимодействуют

$$(\omega_p + \omega_0)\Lambda_{оп} = \omega_{\Sigma}\Lambda_{оп} \approx 1, \quad (11)$$

так, что в анализируемых условиях  $\Lambda_{оп} < 1$ , то схема, адекватно отражающая экспериментальные данные, представлены на рис. 1, выглядит так, как показано на рис. 2, б. При трении качения критическое состояние достигается за время  $t_c$ , тогда как при механической усталости оно не реализуется и при  $t_c \gg t_p$ . А в условиях износоусталостных испытаний долговечность ( $t_c$ ) оказывается большей, чем при трении качения ( $t_p$ ).

Поскольку необратимая повреждаемость есть функция поглощенной в системе эффективной энергии (см. (5)), то из (11) следует общее заключение: при износоусталостном повреждении эффективные энергии от контактной ( $U_{оп}^{эф}$ ) и внеконтактной ( $U_{\Sigma}^{эф}$ ) нагрузок не суммируются, они диалектически взаимодействуют. Теперь можно записать принцип взаимодействия эффективных составляющих энергии в силовой системе [3, 9]

$$(U_{\Sigma}^{эф} + U_{оп}^{эф}) \Lambda (\omega_{\Sigma} \rightleftharpoons \omega_p) = U_{\Sigma}^{эф}, \quad \Lambda \approx 1. \quad (12)$$

Согласно (12), результат ( $U_{\Sigma}^{эф}$ ) взаимодействия повреждений ( $\omega_{\Sigma} \rightleftharpoons \omega_p$ ) и, следовательно, энергий определяется как условиями нагружения, так и направленностью процессов упрочнения-разупрочнения ( $\Lambda \approx 1$ ) [3]. Из (12) следует, что при  $\Lambda (\omega_{\Sigma} \rightleftharpoons \omega_p) = 1$  возможен частный случай взаимодействия эффективных энергий (и, следовательно, повреждений) — их суммирование.

Обсудим изложенное. Пусть, например, силовая система работает в условиях циклического нагружения (нормальные напряжения  $\sigma$  при растяжении-сжатии либо изгибе — эффективная энергия  $U_{\Sigma}^{эф}$ ), трения скольжения (фрикционные напряжения  $\tau_{fr}$  в зоне контакта — эффективная энергия  $U_{оп}^{эф}$ ) и повышенной темпера-

туры  $T$  (эффективная энергия  $U_{\Sigma}^{эф}$ ). Специфические нагрузки ( $\sigma$ ,  $\tau_{fr}$ ,  $T$ ) или энергии деформации, обусловленные ими ( $U_{\Sigma}^{эф}$ ,  $U_{оп}^{эф}$ ,  $U_{T}^{эф}$ ), вызывают специфические же остаточные повреждения: растяжение-сжатие, сдвиг, объемное расширение и далее: микротрещины по любым направлениям в пространстве, поры и т. п. Эти многообразные остаточные повреждения хотя и возникают, например, в одном и том же элементе объема, но складываются — они сложным образом взаимодействуют, образуя комплексное повреждение ( $\omega_{\Sigma}$ ), которое имеет не только своеобразный характер, но зачастую и иное, чем специфические повреждения, направление развития. Это убедительно подтверждает сделанный выше вывод: комплексное повреждение обусловлено эффективной энергией  $U_{\Sigma}^{эф}$ , которая является сложной функцией (см. (5)) взаимодействующих ( $\Lambda$ ) составляющих  $U_{\Sigma}^{эф}$ ,  $U_{оп}^{эф}$ ,  $U_{T}^{эф}$ .

Развитие представлений о взаимодействии эффективных энергий разной природы, согласно модели (12) [3, 7], ведет к многообразным новым выводам, поскольку влечет за собой физически ясный результат: реальное повреждение и разрушение систем. Четыре первых сюприза трибологии [9, 10] невозможно было бы ни понять, ни описать без знания принципа (12).

При анализе поведения термодинамических систем проблема взаимодействия рассеянной части энергий разной природы, по имеющимся сведениям, не ставилась. Естественно, что не изучено и возможное взаимодействие энтропии, порождаемой механотермодинамическими силами и потоками при реализации различных необратимых процессов (см. (2), (8), (12) и табл. 2). Но, поскольку связь  $S(U)$  энтропии и энергии является органической (см. (1) и (2)), то на основании изложенного в общем случае анализа механотермодинамического состояния систем, измерение (12) во времени должно быть записано с учетом возможных  $\Lambda$ -взаимодействий:

$$S_{total} = (S_f(t) + S_{fr}(t))\Lambda_{ITP}. \quad (13)$$

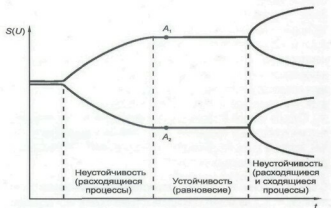


Рис. 3. Некоторые из возможных переходов системы и возникновение бифуркации

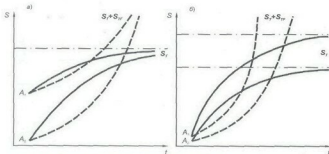


Рис. 4. Эволюция термодинамического ( $S_T$ ) либо механотермодинамического ( $S_T + S_{TR}$ ) состояния системы ( $A_1, A_2$ ): а) сходящиеся процессы; б) расходящиеся процессы

Как уже отмечалось, основы теории  $\Lambda$ -взаимодействия необратимых повреждений в силовых системах к настоящему времени сформулированы и в некоторой степени разработаны [3, 7, 10]. Создание же теории необратимых  $\Lambda$ -взаимодействий в механотермодинамических системах ждет своего исследователя. Но уравнение (13) в совокупности с изложенными результатами позволяет приступить к принципиальному анализу механотермодинамического состояния систем.

Обратимся к рис. 3. При определенных соотношениях параметров уравнение (13) прогнозирует разнообразие и сложные «траектории» энтропии. В процессе эволюции система может, например, входить в устойчивые и равновесные состояния и выходить из них так много раз, как это возможно в конкретных условиях ее существования; наблюдаемые точки  $A_1, A_2$  системы могут сближаться и расходиться либо двигаться практически параллельно; система может претерпевать бифуркации и другие, более сложные, преобразования. Естественно, возникает вопрос: в чем состоит различие механотермодинамических и термодинамических процессов?

Один из возможных ответов на этот вопрос иллюстрирует рис. 4. Здесь сплошными линиями показано прогнозируемое поведение термодинамической системы, для которой в (13) принимается  $S_{TR} = 0$  и  $\Lambda_{TR} = 1$ ; здесь энтропия  $S_T$  такой системы стремится к некоторому (локальному) максимуму. Поведение механотермодинамической системы представлено на рис. 4 пунктирными линиями в предположении, что в (13) имеем  $S_{TR} \neq 0, \Lambda_{TR} > 1$ . Принимается, что начальное состояние обеих систем одинаково (точки  $A_1, A_2$ ). Судьба каждой в обоих случаях определяется интенсивностью многообразных процессов, обусловленных множеством причин, которые здесь не обсуждаются. Но она будет принципиально разной у сравниваемых систем.

С одной стороны, траектория механотермодинамического состояния ( $S_T + S_{TR}$ ) не может совпадать с траекторией термодинамического ( $S_T$ ), поскольку в первом случае появляется ненулевая добавка трибофатической энтропии ( $S_{TR} > 0$ ). Это обуславливает

количественные различия в траекториях сравниваемых систем. С другой стороны, обнаруживается и принципиальное различие в их поведении: когда энтропия термодинамической системы достигает, например, локального максимума (равновесное состояние — штрихпунктирные линии на рис. 4), механотермодинамическая может не иметь такого и будет находиться в неравновесном состоянии. Это наблюдается и в случае сходящихся (рис. 4, а), и в случае расходящихся (рисунком 4, б) процессов движения как для упрочняющихся, так и для разупрочняющихся во времени систем. В работах [9, 10] можно найти некоторые обобщения, касающиеся сравнительного поведения термодинамических и механотермодинамических систем.

Таким образом, принцип (12) взаимодействия эффективных составляющих энергии, обусловленных различными источниками (например, механической и тепловой либо циклической и фрикционной нагрузками и т.п.), при движении и повреждении системы позволяет прогнозировать особенности ее поведения согласно (13) с учетом развития внутренних процессов упрочнения-разупрочнения. И на основе (13) можно построить механотермодинамику, подобно тому как на основе (1)–(4) построена термодинамика (например, [1]).

Если эволюцию рассматривать с объединенной точки зрения о механотермодинамическом состоянии системы, становится понятно: всякой системе грозит не термодинамическая смерть, но повреждение и разложение на составляющие, которые, в свою очередь, могут и должны рассматриваться как исходные элементы для образования и развития новых систем, способом существования которых является движение. Следовательно, эволюция оказывается однонаправленной во времени и, по существу, бесконечной, поскольку материя, как и способ ее существования — движение, является неуничтожимой.

Так, первое начало механотермодинамики гласит: повреждаемость всего сущего не имеет мыслимых границ. Иначе говоря, «количество повреждений» системы может быть сколь угодно большим:

$$\bar{\omega}_\Sigma = \bar{\omega}_\Sigma (U_\Sigma^{\text{эф}}) \Rightarrow \infty.$$

Если, обобщая, говорить об эволюции Вселенной, то первое начало механотермодинамики тождественно признанию тезиса о неуничтожимости Вселенной, ибо продукты ее возможного распада станут строительным материалом для новых систем. Это соответствует философскому представлению о том, что материя и движение вечно, а повреждаемость есть фундаментальное свойство (и обязанность) любой системы.

Из изложенного выше следует: судьба системы (или ее долговечность) определяется интенсивностью и направленностью процессов взаимодействия необратимых внутренних повреждений, обусловленных любыми воздействиями. Этот вывод можно сформулировать короче: производство внутренней (трибофатической) энтропии так же вечно, как и движение.

Первое начало механотермодинамики, по существу, может трактоваться как утверждение: энтропия Вселенной возрастает.

В своих известных лекциях по физике [1] Фейнман второй закон термодинамики сформулировал аналогично. Он исходил из следующего соображения: для системы типа Вселенной всегда характерны необратимые термодинамические изменения. Напомним: еще в XIX веке Клаузиус пришел к заключению, ставшему в современной термодинамике классическим [1]: (термодинамическая) энтропия Вселенной стремится к максимуму. Правда, с тех пор никому не удавалось установить хотя бы порядок величины этого максимума, а само утверждение базировалось лишь на частном представлении о термодинамической энтропии. Но заключение Клаузиуса вытекает из всеобщего закона сохранения: энергия Вселенной постоянна.

Утверждение о постоянстве энергии Вселенной базируется на предположении, что Вселенная — изолированная система. А если признать, что Вселенная — открытая механотермодинамическая система, которая способна обмениваться энергией и веществом с иными космическими суперсистемами, то первое начало механотермодинамики обретает физическую реальность.

Далее, принимая во внимание (12) и (13), представляется возможным сформулировать второе начало механотермодинамики: потоки эффективной энергии (энтропии), обусловленные источниками разной природы, при необратимых изменениях в механотермодинамической системе не суммируются — они сложным образом взаимодействуют.

Такие  $\Lambda$ -взаимодействия описываются выражениями

$$U_{\Sigma}^{\text{eff}} = U_{\Sigma}^{\text{eff}}(\Lambda_1, \dots, \Lambda_m, U_1^{\text{eff}}, \dots, U_n^{\text{eff}}), \quad m < n, \quad (14)$$

$$S_i = S_i(\Lambda_1, \dots, \Lambda_m, S_i^{(1)}, \dots, S_i^{(n)}), \quad m < n. \quad (15)$$

Результат многообразных  $\Lambda$ -взаимодействий — развитие (накопление) в элементах системы внутренних повреждений, определяемых единством и борьбой противоположных процессов физического упрочнения-разупрочнения. Поэтому функции взаимодействий должны принимать три класса значений ( $\Lambda \in 1$ ) [3, 10].

Итак, состояние системы можно равнозначно описать в терминах энергии либо энтропии. Главный недостаток таких описаний — известная нереальность энергии и, следовательно, энтропии: материальные носители энергии не обнаружены и, по-видимому, не существуют [11]. И их нельзя, как образно говорил Фейнман в тех же лекциях, пощупать. Совсем иное дело — повреждения: они физические реальные, их можно пощупать, они в действительности определяют любое из мыслимых состояний материальных тел и систем; кинетический процесс их накопления, как и течение времени, является неизбежным и однонаправленным. И если механотермодинамика принимает во внимание повреждаемость системы как ее фундаментальное физическое свойство (и обязанность), то можно надеяться, что на ее базе удастся создать непротиворечивую общую теорию эволюции любых систем, в том числе живых и разумных. В работах [4, 10, 12], например, развивается представление о жизни как особом способе накопления повреждений (биологических, механических, интеллектуальных и т.д.).

Таким образом, нами сделана попытка сформулировать основные положения новой (или, лучше сказать, объединенной) физической дисциплины — механотермодинамики. В ней сошлись два раздела физики, чтобы не спорить, не конкурировать друг с другом, а по-новому взглянуть на мир и его эволюцию.

## Литература

- Конделуци Д., Пригожин И. Современная термодинамика (От тепловых двигателей до диссипативных структур). — М., 2002.
- Физический энциклопедический словарь. — М., 1983.
- Sosnovskiy L.A. Tribo-fatigue. Wear-fatigue damage and its prediction (Foundations of engineering mechanics). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.
- Sosnovskiy L.A. Риск (Механотермодинамика необратимых повреждений). — Гомель, 2004.
- Sosnovskiy L.A. Статистическая механика усталостного разрушения. — М., 1987.
- Николис Г., Пригожин И. Познание сложного (Введение). — М., 2003.
- Sosnovskiy L.A. Mechanics of irreversible damages caused by contact and noncontact load // Proc. World Tribology Congress III (September 12—16, 2005, Washington, USA).
- Sosnovskiy L.A., Богданович А.В., Тюрин С.А. Экспериментальное исследование контактно-механической усталости стали 45 методом многоступенчатого нагружения // Заводская лаборатория, 1996, №3. С. 30—34.
- Sosnovskiy L.A. Surprises of tribo-fatigue // Proc. World Tribology Congress III (September 12—16, 2005, Washington, USA).
- Сосновский Л.А., Щербак С.С. Сюрпризы трибофатиги. — Гомель, 2005.
- Фейнман Р. и др. Лекции по физике. — М., 1965.
- Сосновский Л.А. Трибофатига: о диалектике жизни. — Гомель, 1999.