

УДК 531:536; 538.539

Л.А. СОСНОВСКИЙ, д-р техн. наук, проф.

директор

E-mail: tribo-fatigue@mail.ru

ООО «НПО ТРИБОФАТИКА», г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 09.11.2016.

МЕХАНОТЕРМОДИНАМИКА (ОБ ОБЪЕДИНЕНИИ ВЕЛИКИХ КОНКУРЕНТОВ: 1850–2015)

*Пусть никто в молодости не откладывает занятия философией,
а в старости не устаёт заниматься философией.*

Эпикур

Более 150 лет в рамках механики и термодинамики разрабатывается теория эволюции мира. Теория эволюции, построенная в термодинамике, оказалась, по современным представлениям, неудовлетворительной: она прогнозирует грядущую тепловую смерть Вселенной, а к настоящему времени ученые осознали, что таковой не будет. В механике общую теорию эволюции систем до сих пор разработать не удалось, потому что в ее уравнениях не различается прошлое и будущее: они одинаково работают при замене времени $+t$ (будущее) на $-t$ (прошлое). В трибофатике была поставлена задача объединения двух великих конкурентов, чтобы более адекватно описать некоторые основные проблемы эволюционного развития мира, используя фундаментальные представления философии и, в частности, всеобщие (качественные) законы диалектики. Эта задача решена (в первом приближении, конечно) в рамках механотермодинамики — нового раздела физики. Основные положения механотермодинамики кратко изложены ниже. При этом дан ряд примеров практического использования результатов фундаментальных исследований.

Ключевые слова: термодинамика, механика, трибофатика, механотермодинамика, теория эволюции, факторный анализ, феноменоанализ, диалектический синтез; механотермодинамическая, органическая, неорганическая системы, междисциплинарные и трансдисциплинарные исследования

1. Общие положения. Во второй половине XX века ученые пришли к пониманию того, что длинная череда объединения частных наук (ее истоки и начало проанализированы еще в знаменитой работе Ф. Энгельса [1]) в науки комплексные неизбежно ведет к созданию единой нерасчлененной науки будущего (рисунок 1) [2]. В начале XXI века мы сделали попытку нового анализа иерархической структуры познания материального мира: от простого к сложному. И хотя поначалу наш анализ выполнялся на базе и в рамках развития технических наук, оказалось, что обсуждение темы с позиций философии представляет и более общий интерес как пример разработки методологии развития научных исследований: от факторного анализа через феноменоанализ к диалектическому синтезу. Синтез дает знание общего — на уровне физики и философии. А кто знает общее, тот знает все (Аристотель). Естественно, что познание общего возможно на базе междисциплинарных и трансдисциплинарных исследований. Поскольку наш доклад предназначен для специалистов научно-технической сферы, общий анализ проблемы и путей его решения дан в тезисном изложении, и тем не менее сочтено необходимым

показать эффективность полученных обобщенных результатов для практических целей.

Новый анализ привел нас к заключению, что построение механотермодинамики путем прямого объединения механики и термодинамики (показано вертикальными пунктирами на рисунке 2) невозможно в принципе, потому что методология указанных двух разделов физики кардинально различна.

Механотермодинамическая система представляет собой сплошную термодинамическую среду с распределенными (рассеянными) в ней движущимися твердыми деформируемыми телами, взаимодействующими как между собой, так и со средой.

В самом деле, по существу они имеют дело с существенно различающимися объектами, хотя и могут анализировать их поведение (опять же, по существу) с единых — энергетических представлений. Так, в термодинамике энтропия есть характеристика рассеяния энергии в сплошной среде (газ, жидкость) [3], тогда как в механике энтропия есть характеристика поглощения энергии в твердой деформируемой (сплошной) среде [4, 5]. Между тем энергетический и энтропийный подходы являются наиболее общими в науке, они могут (и должны) быть положены в основу междисциплинарных

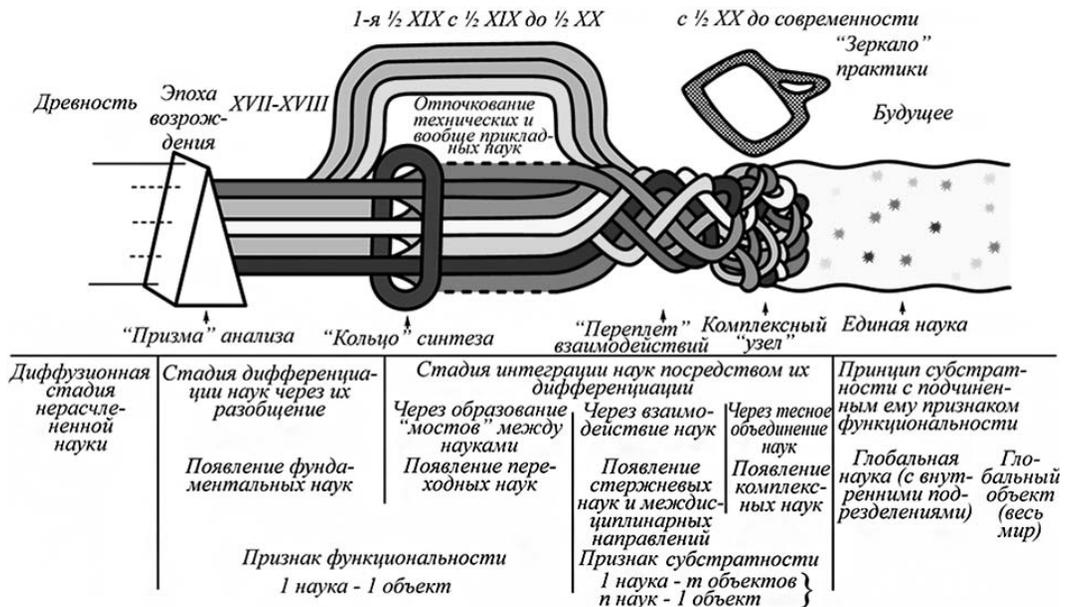


Рисунок 1 — Схема эволюции наук по Б. Кедрову

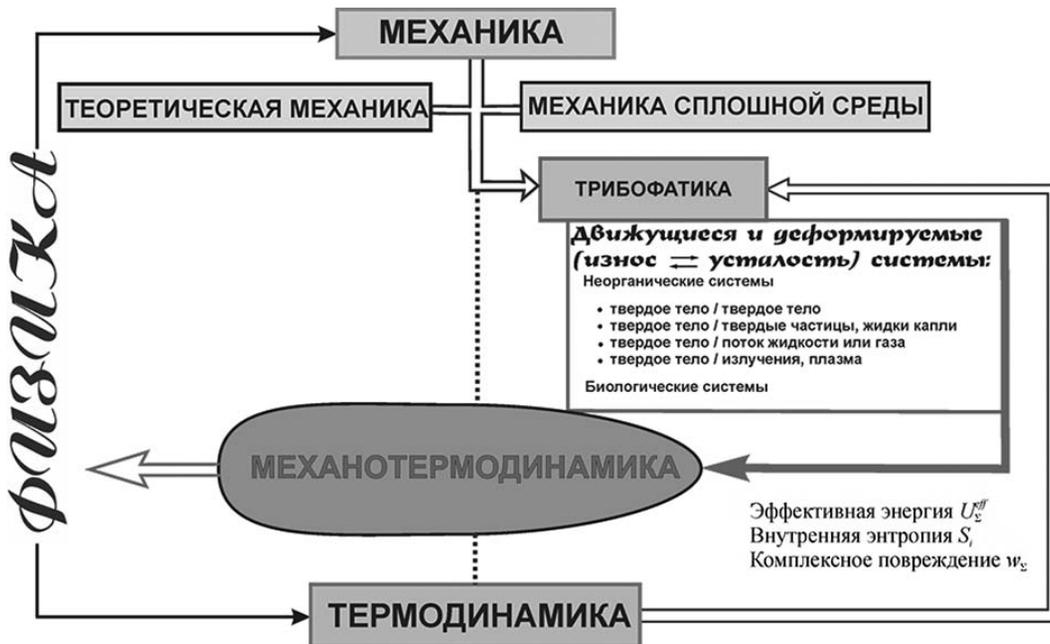


Рисунок 2 — Реализованный путь к механотермодинамике (МТД) — новому разделу механики

и *трандисциплинарных* исследований с целью объединения двух великих конкурентов, чтобы далее стало возможным *разработать непротиворечивую обобщенную теорию эволюции сложных систем и материального мира.*

В этой связи был сделан важный шаг: разработан *новый раздел механики* (рисунок 3), который получил краткое название *трибофатика*. Методологические, теоретические и экспериментальные основания трибофатики [4–16] и стали необходимым *соединительным мостиком* между двумя великими конкурентами (см. рисунок 2). И тогда были сформулированы основополагающие *принципы механотермодинамики* [17–25], которые позволили в первом приближении разработать *обобщенную теорию эволюции неорганических и органических, в том*

числе *живых и разумных систем.* Философское осмысление результатов исследований по трибофатике и механотермодинамике выполнено в работах [26–29]. И теперь длинный общий путь (через трибофатику и механотермодинамику) к объединенной *теории А-эволюции* представляется так, как это проиллюстрировано на рисунке 4. В *трандисциплинарном плане* этот путь схематично показан на рисунке 5. А на рисунке 6 в качестве примера дано общее качественное описание эволюции системы «Земля — околоземное пространство», краткое содержание которой таково.

По рисунку 6 проследим *судьбу любой материальной системы* — неорганической либо органической, в том числе живой и разумной — «с начала до конца», т. е. от начала существования в прошлом,

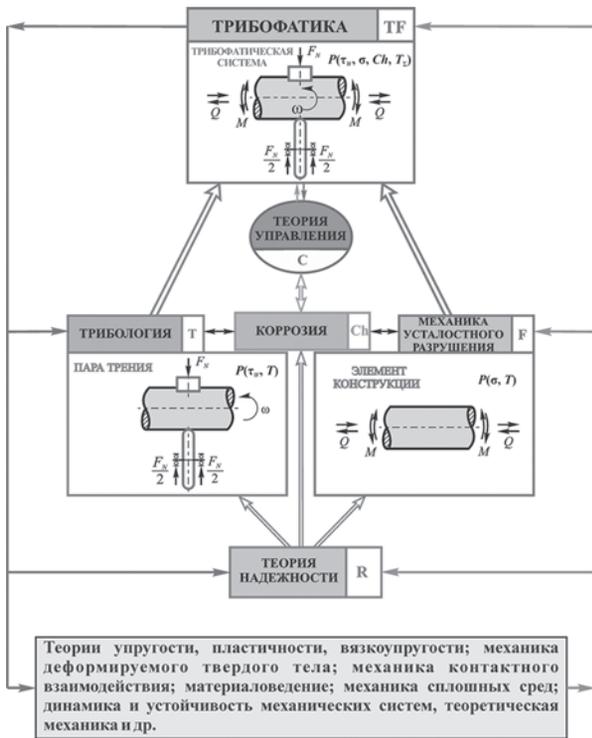


Рисунок 3 — Трибофатика как комплексная научная дисциплина, составляющая новый раздел механики

Современная западная цивилизация достигла необычайных высот в искусстве расчленения целого на части... Мы изрядно преуспели в этом искусстве, преуспели настолько, что забываем собрать разъятые части в то единое целое, которое они некогда составляли.

О. Тоффлер

...Именно в Белоруссии родилась и успешно развивается новая наука – трибофатика, один из наиболее перспективных разделов механики.

К. В. Фролов

“Целое, мыслимое как многое,” – такой... представляется нам трибофатика по отношению к сопряженным с ней наукам, в том числе и к тем, которые являются ее прародителями...

Не взаимное влияние факторов, а взаимодействие явлений – вот что изучает трибофатика.

Л. А. Сосновский

ГОСТ 30638-99 «Трибофатика. Термины и определения»

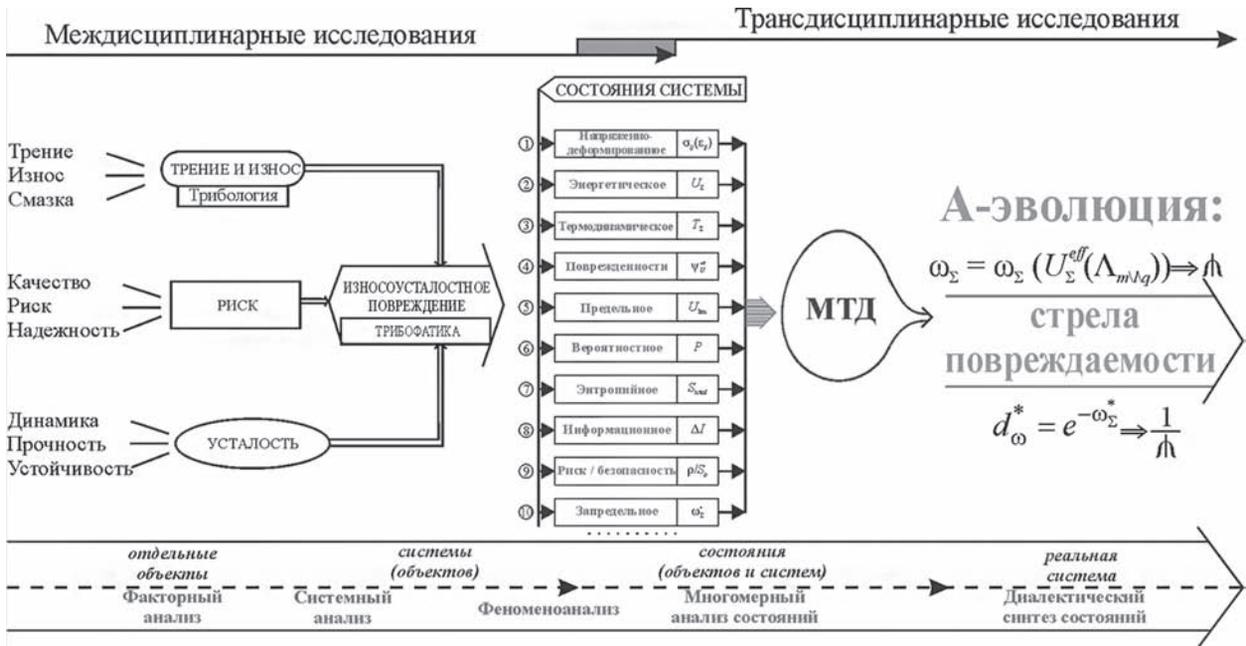
Трибофатика: наука об износоусталостных повреждениях и разрушении силовых систем машин и оборудования

Силовая система: механическая система, в которой реализуется процесс трения в любых его проявлениях и которая одновременно воспринимает и транзитно передает повторно-переменную нагрузку

Износоусталостное повреждение: повреждение, обусловленное кинетическим взаимодействием явлений усталости, трения в любых его проявлениях, изнашивания и (или) эрозии

Белорусская энциклопедия: 2002 г., т.15

Трыбафатыка: навукова-тэхнічная дысцыпліна, якая вывучае зносамомленасныя пашкоджанні (ЗСП) і разруэрні сілавых сістэм



ФЕНОМЕНОАНАЛИЗ: Исследование закономерностей и анализ результатов диалектического взаимодействия и взаимного влияния различных явлений как в природе, так и в сообществе людей

ДИАЛЕКТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ: представление множества событий, состояний, процессов, ситуаций (в природе либо обществе) как единого и взаимообусловленного совокупностью явлений обобщенного целого с характерными интегральными свойствами и функциями

Рисунок 4 — Путь к А-эволюции сложных систем от трибофатики через механотермодинамику

через бытие в настоящем и до конца последующего (нового) существования в будущем. Нетрудно понять, что полный цикл эволюции системы опре-

деляется последовательностью и совокупностью их характерных состояний. Особенности существования и бытия конкретных систем могут быть опи-

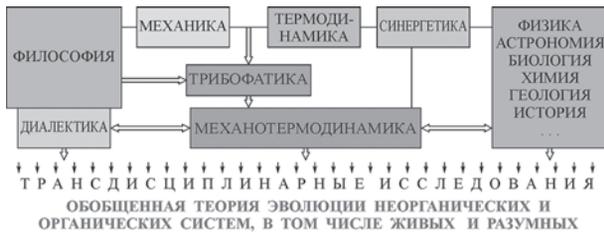


Рисунок 5 — А-эволюция как парадигма глобальной науки

саны как определенные их *состояния*, например: механическое, термодинамическое, биохимическое, интеллектуальное, психо-эмоциональное, общественное, информационное, энтропийное, энергетическое, электромагнитное, риска и безопасности, механотермодинамическое, поврежденности и многие другие.

Таким образом, *состояние* — это *определенная совокупность свойств и функций*, присущих для изучаемого (ощущаемого, измеряемого, воображаемого, наконец) материального объекта данной протяженности и формы при его движении с определенной скоростью. А изменение состояния определяется, следовательно, *соотношением и борьбой* тех *противоположностей*, которые определяют *существование и бытие* данной системы в конкретных условиях. Но каковы бы ни были эти условия — и независимо от особенностей существования и бытия систем — *начало и конец их един: материя*, или *материальное состояние* (см. рисунок 6). Следовательно, *прошлое и будущее* любой системы *не* различаются кардинально. Но из рисунка 6 убедительно следует, что материя, из которой родилась данная система, не та материя, в которую в конце концов она превратилась, ибо *материальный мир изменчив вследствие нескончаемого движения и повреждения*;

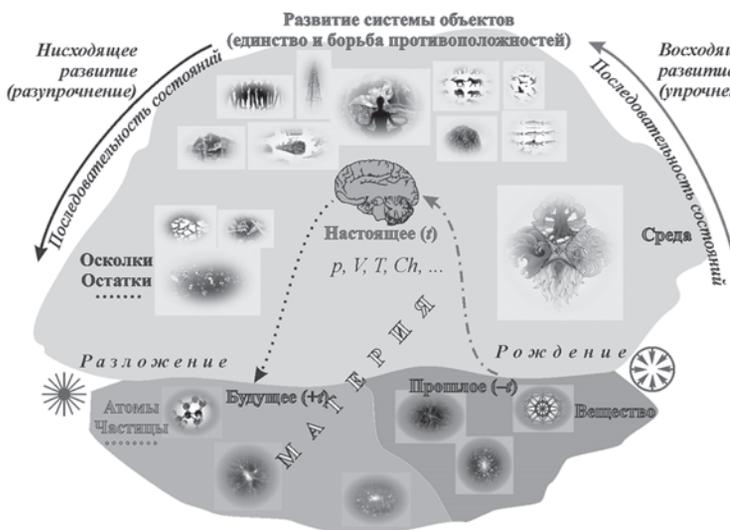
именно такова сущность *гистерезиса эволюции*. Как человеку нельзя вступить в одну и ту же реку дважды, так нельзя даже одному атому системы выйти из прошлого и вернуться в будущее в одном и том же месте *пространства материи*. Это значит, что *движение материи вне пространства невозможно и пространство без движения материи не существует*. Следовательно, *движение в пространстве есть единственный способ существования материи*, ее всеобщая и обязательная функция. А для цикла А-эволюции неизбежен (материальный) гистерезис.

Изучая данный выше краткий перечень некоторых возможных характерных состояний любых систем, приходим к выводу: *только состояния повреждаемости фундаментальны*, поскольку они сопровождают всякую систему «от начала до конца», т. е. на всем протяжении ее эволюции, в любой момент ее существования и бытия. Все другие состояния лишь *временны*, они характерны и важны только в определенные интервалы жизненного периода определенной системы. Очень важно подчеркнуть, что *всякое повреждение реально, так как его можно ощутить, увидеть, пощупать, измерить; оно объективно, так как существует и развивается независимо от сознания человека разумного, а только отражается в нем*. Таким образом, *повреждаемость — это фундаментальное свойство и обязательная функция* как всякой материальной системы, так и любой ее компоненты.

Если обратиться к живому организму, то его эволюционное развитие кратко охарактеризовано на рисунке 7 [30].

Здесь уместно подчеркнуть, что время (см. рисунки 6 и 7) не рассматривается нами в качестве атрибута материи, а определяется как фундамен-

ЗАКОН ПРИРОДЫ: Повреждаемость – фундаментальное свойство и обязательная функция материального мира, любых систем и объектов, его составляющих



МАТЕРИЯ есть объективная реальность любой пространственной протяженности, данная нам в ощущениях, измерениях и, наконец, в воображении, которая отражается в сознании человека разумного, существуя независимо от него.

- УНИКАЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ**
- материи: воспроизводить себя после любых превращений;
 - пространства: неограниченная трансформация соответственно n-мерной протяженности и формы (масштабов) материи (объектов);
 - объектов: неизбежная повреждаемость и разложение на частицы сколь угодно малых размеров

ПОВРЕЖДЕНИЕ есть необратимое изменение состава, строения, структуры, размеров, формы, объема, массы, плотности и, следовательно, свойств и функций объекта

Рисунок 6 — А-эволюция сложной системы «Земля — околоземное пространство»: полный цикл

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ВСЕГО СУЩЕГО НЕ ИМЕЕТ МЫСЛИМЫХ ГРАНИЦ

$$\bar{\omega}_\Sigma = \bar{\omega}_\Sigma \left(U_\Sigma^{eff} \right) \xrightarrow{t} \infty$$

$$d^*_\omega = e^{-\omega_\Sigma} \xrightarrow{t} 0$$

Первое начало утверждает, что для эволюции всякой системы неизбежен односторонний процесс ее повреждения и разложения на бесконечно большое количество малых составляющих (фрагментов, атомов, элементарных частиц и т.д.). По существу, оно равносильно признанию тезиса о нескончаемости эволюции, если принять во внимание, что продукты имеющего быть распада любой системы становятся строительным материалом для новых систем.

Таким образом, независимо от условий и особенностей существования (бытия) любых конкретных систем (неорганических и органических, в том числе живых и разумных) источник (начало) и конец их один - это материя. Следовательно, материя есть единое прошлое, настоящее и будущее всего. Иными словами, наша Вселенная неуничтожима, поскольку она эволюционирует по поврежденности. Это соответствует философскому представлению о том, что материя и движение вечны, и представлению механотермодинамики о том, что повреждаемость есть фундаментальное свойство и обязанность всех систем, в том числе живых и разумных.

Следствие. Производство внутренней механотермодинамической энтропии так же вечно, как и движение и повреждение; это значит, что энтропия Вселенной возрастает.

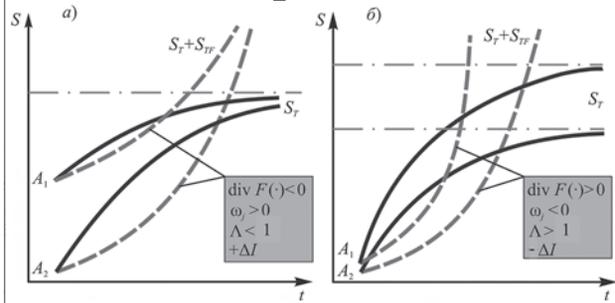
Закон возрастания энтропии

$$dS_{total} = \Lambda_{T \setminus TF} \left[(dS)_T = (d_i S)_{TF} \right] = \Lambda_{T \setminus TF} \left[\left(\frac{dU + pdV}{T} - \frac{1}{T} \sum_1^n \mu dN_k \right)_T + \left(\gamma_1^{(w)} \frac{L_{\omega_\Sigma}}{T_\Sigma} dV_{P\gamma} \right)_{TF} \right] \uparrow$$

Рисунок 8 – Первое начало механотермодинамики

Трибофатическая энтропия и эволюция систем

$$dS_{TF} = \frac{\gamma_1^{(w)}}{T_\Sigma} \omega_\Sigma dV_{P\gamma} > 0$$



Эволюция термодинамического (S_T) либо механотермодинамического ($S_T + S_{TF}$) состояния системы (A_1, A_2): а – колебательные и асимптотические сходящиеся процессы; б – колебательные и асимптотические расходящиеся процессы

Эволюция системы	Состояния поврежденности		A-эволюция: Развитие состояний системы по поврежденности и ситуации по безопасности $\bar{\omega}_\Sigma = \bar{\omega}_\Sigma(U_\Sigma^{eff}) \xrightarrow{t} \infty$ $S_p = S_p(\omega_\Sigma) \Rightarrow -\infty$	Ситуации по безопасности	
	Неповрежденное	$\omega_\Sigma = 0$		Абсолютная безопасность	$S_p = 1$
B-состояние	Поврежденное	$0 < \omega_\Sigma(t) < 1$	Опасность	Ограниченная безопасность	$1 > S_p > 0$
C-состояние	Критическое (предельное)	$\omega_\Sigma = 1 = \omega_c$		Нулевая безопасность	0
D-состояние	Закрытое (запредельное)	$1 < \omega_\Sigma^*(t) < \infty$		Отрицательная безопасность	$0 > S_p > -\infty$
E-состояние	Разложение	$\omega_\Sigma^* = \infty$		Абсолютная опасность	$-\infty$

$$0 \leq \omega_\Sigma(U_\Sigma^{eff}) = \omega_\Sigma(U_\sigma^{eff}, U_\tau^{eff}, U_T^{eff}, U_{ch}^{eff}, \dots, U_0) \leq \infty$$

$$0 \leq \omega_\Sigma = U_\Sigma^{eff} / U_0 = \omega_\Sigma(\sigma^2, \tau_w^2, \mathbf{v}_{ch}(m_v), \Lambda_{\sigma\tau}) \leq 1$$

$$\omega_\Sigma = U_\Sigma^{eff} / U_0 = 1 = \omega_c$$

Всякое повреждение реально, оно не зависит от сознания человека разумного, но он может физически его ощутить, увидеть, измерить и, наконец, вообразить.

Рисунок 9 – Эволюция объектов по повреждаемости: количественный анализ

началами МТД) [17, 19], три из которых кратко изложены ниже.

Первый принцип представлен на рисунке 8. Здесь надо добавить, что он стал основанием для количественного описания A-эволюции систем по повреждаемости ω_Σ (рисунок 9). Важнейшим до-

стижением было представление о трибофатической энтропии (см. рисунок 8), которая связана именно с повреждаемостью ω_Σ движущихся и деформируемых тел в пределах опасных объемов V_{PI} , обусловленных нагрузками разной природы. Поскольку трибофатическая энтропия всегда больше

ПОТОКИ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ (ЭНТРОПИИ), И, СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ПОВРЕЖДЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИСТОЧНИКАМИ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ, НЕ АДДИТИВНЫ – ОНИ ДИАЛЕКТИЧЕСКИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ:

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

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

Второе начало указывает движущую силу и основную причину возникновения и развития процессов внутренней повреждаемости любой системы – это диалектические Λ -взаимодействия составляющих эффективной энергии (энтропии) и, следовательно, повреждений в поглощающей среде.

Λ -функции взаимодействия должны принимать три класса значений ($\Lambda \geq 1$), чтобы отражать не только единство и борьбу, но и направленность процессов упрочнения-разупрочнения в системе.

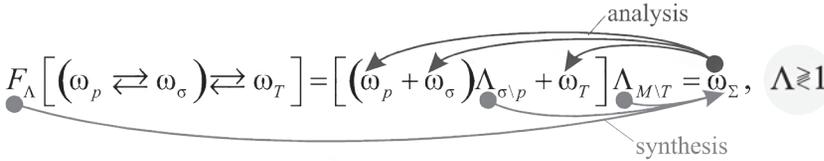
Поскольку разупрочнение всегда конечно, тогда как интенсивность разупрочнения может быть неограниченно высокой, то взаимодействие таких процессов неизбежно приводит систему к критическому, или предельному по поврежденности состоянию.

Следствие. Эффективная энергия, поглощенная в системе в процессе достижения ею критического (предельного) состояния, тождественно равна высвободившейся (и рассеянной) энергии в процессе ее деградации вплоть до разложения.

Закон сохранения эффективной энергии

$$\int_0^{T_{\oplus}} u_{\Sigma}^{eff}(t) dt \equiv \int_{T_{\oplus}}^{T_*} u_{eff}^{\Sigma}(t) dt$$

Правило взаимодействия повреждений



$\omega_p, \omega_{\sigma}, \omega_T$ - повреждения, обусловленные контактной (индекс p), механической (индекс σ) и термодинамической (индекс T) нагрузками; S_T, S_{TF} – термодинамическая и механотермодинамическая энтропия; Λ - функции диалектического взаимодействия повреждений (или составляющих энтропии)

Правило взаимодействия составляющих энтропии

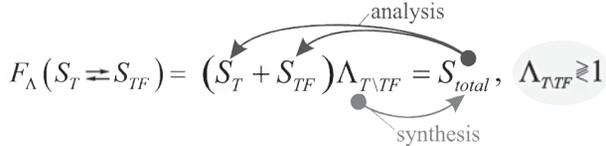


Рисунок 10 – Второе начало механотермодинамики

нуля, то именно она и «диктует» впервые записанный закон возрастания энтропии (см. рисунок 8). Отметим, что в качественном смысле он ранее был сформулирован в философии. Этот закон иллюстрируется изменением термодинамической и механотермодинамической энтропии (см. графики на рисунке 8): если первая неизбежно достигает некоего экстремума, то для второй он не прогнозируется.

Второй принцип МТД представлен на рисунке 10. основополагающие правила диалектического взаимодействия повреждений (энтропии), обусловленных нагрузками разной природы, записаны там же. Иллюстрация результатов взаимодействия повреждений проиллюстрирована на рисунке 11 а применительно к проблемам прочности и износостойкости МТД. Если $\Lambda \gg \gg 1$, то прева-

лирует процесс разупрочнения объекта, так что его прочность (или износостойкость) резко падает, а достижение критического состояния (объемного либо поверхностного разрушения) стремительно ускоряется. Если же, наоборот, преимущественным процессом оказывается упрочнение ($\Lambda \ll \ll 1$), достижение критического состояния существенно замедляется, но оно все равно неизбежно реализуется, поскольку упрочнение всегда конечно.

По существу, уровень повреждений (ω_{Σ}), которые можно отождествить просто с любыми дефектами, однозначно определяет предельное сопротивление разрушению (σ_{lim}) объекта (см. рисунок 11 б): прочность его тем меньше, чем больше поврежденность (кривая AB). Следовательно, предельное состояние объекта достигается при различных нагрузках – в зависимости от его B -состояния (см. рисунок 9). Применением специальных методов и технологий упрочнения на кривой AB можно получить всплеск прочности от σ_{C1} до σ_{C2} (см. кривую C_1C_2 при $\Lambda < 1$), но, как уже отмечалось, поскольку всякое упрочнение является конечным и ограниченным, далее неизбежно наступает (см. кривую C_2B_2 при $\Lambda \gg \gg 1$) катастрофическое падение сопротивления разрушению. Нулевую прочность (точка B) имеет предельно поврежденный объект (при $\omega_{\Sigma} = 1$), например, разрушенный вал, при этом происходит полная потеря его функций. Это и есть «конец жизни» объекта, или его смерть (что характерно для живых организмов), а далее реализуются его запредельные

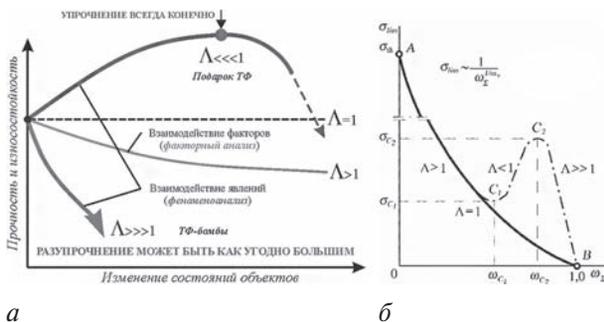


Рисунок 11 – Прочность и износостойкость: влияние факторов и взаимодействие явлений: $\omega_{\Sigma} = \omega_{\sigma} \rightleftharpoons \omega_T = \omega_{\Sigma} (\omega_{\sigma} + \omega_T) \Lambda_{\sigma \setminus T}$, $\Lambda \geq 1$ (а) и зависимость предельных напряжений от концентрации (плотности) повреждений (б)

тра, которые количественно характеризуют неравновесные состояния в процессе А-эволюции. Согласно данным таблицы имеем:

$$K_S = \frac{S_{TF}}{S_T} \sim \frac{T}{T_\Sigma} \cdot \frac{\gamma_1^{(w)} \omega_\Sigma dV_{Py}}{U + pdV - \Sigma \mu_k N_k}, \quad K_S \gg 1;$$

$$K_U = \frac{U_{eff}}{U_{cons}} \sim \frac{1}{\exp(-\lambda_e V)} - 1, \quad K_U \gg 1.$$

Заметим, что при $K = 1$ данная система равновесна в том смысле, что в ней производство трибофатической и термодинамической энтропии одинаково, т. е. эффективная и консервативная составляющие полной энергии, генерируемой в системе, численно равны. Все это и позволяет, по-видимому, впервые предложить обобщенную теорию эволюции любых систем.

Таким образом, в основу механотермодинамики и объединенной теории А-эволюции [17–20, 32–35] положены следующие представления.

Обобщенное представление о необратимом повреждении (ω_Σ) любых систем — неорганических и органических, в том числе живых и разумных, и хотя оно базируется на принципах механики, но имеет и ясно выраженное термодинамическое и биологическое содержание.

Фундаментальное представление о (внутренней) трибофатической энтропии (S_{TF}), порождаемой при движении и повреждении систем (деформируемых) твердых тел, и хотя оно базируется на принципах термодинамики, но имеет и ясно выраженное механическое и биологическое содержание.

Диалектическое представление о всеобщих Λ -взаимодействиях между повреждениями (эффективными энергиями), обусловленными нагрузками разной природы (механической, термодинамической, электрохимической, биологической и т. д.), а также характерными составляющими энтропии (трибофатической, термодинамической, химической и др.).

Оригинальное представление о масштабе повреждений, обусловленном множественным характером взаимодействующих повреждений под воздействием нагрузок разной природы, который определяет опасность (или риск) функционирования объекта и, значит, безопасность его существования (бытия).

Философская концепция об L-риске и S_p -безопасности существования (бытия) всякой материальной системы. На ее основе анализируются возможные стратегии А-эволюции и ее характерные этапы. Она не излагается в данной статье, и мы отсылаем читателей к советующей литературе [20, 37].

Инновационная гипотеза о том, что источниками новой информации в Природе являются материя и ее повреждения при движении. Движение порождает новую информацию в системе, если индекс ее повреждаемости ненулевой ($\omega_j > 0$); информация оказывается положительной, когда си-

стема упрочняется либо отрицательной, когда она разупрочняется. Взаимосвязь движения, повреждения и информации дается соотношениями взаимности [12, 19]. Возможен скачкообразный рост информации в сингулярных (критических) точках развития, когда количество накопленной информации становится критическим. Эти скачки означают изменение качества информации; в случае живых организмов они отождествляются с возникновением элементов разума. Данная гипотеза составляет содержание четвертого начала механотермодинамики, которое тоже не излагается в докладе, и мы снова отсылаем читателя к литературе [17, 19, 21].

Первая теория запредельных состояний любых систем (неорганических и органических, в том числе живых и разумных), предложенная в работах [12, 17, 20, 30], на основании которой стало возможным ввести основополагающее представление о гистерезисе эволюции.

Междисциплинарное представление о трибофатической жизни как особом способе накопления повреждений.

3. Некоторые практические приложения. Как известно, результаты любых фундаментальных исследований, как правило, приводят к (часто неожиданным) инновациям в соответствующих областях практической деятельности сообщества людей. Скажем о них несколько слов. Схемы типичных практически важных МТД-систем представлены на рисунке 13. Как видно, это наиболее распространенные и достаточно сложные системы ответственного назначения, в том числе и биологических. Ниже, ввиду ограниченного объема доклада, дано лишь несколько примеров анализа подобных систем.

3.1. Трибофатическая жизнь. Что такое жизнь? На этот традиционный и архисложный вопрос исчерпывающий ответ не удалось найти никому. Но каждый из нас пытается ответить на него, исходя из собственного опыта и знаний. И поэтому

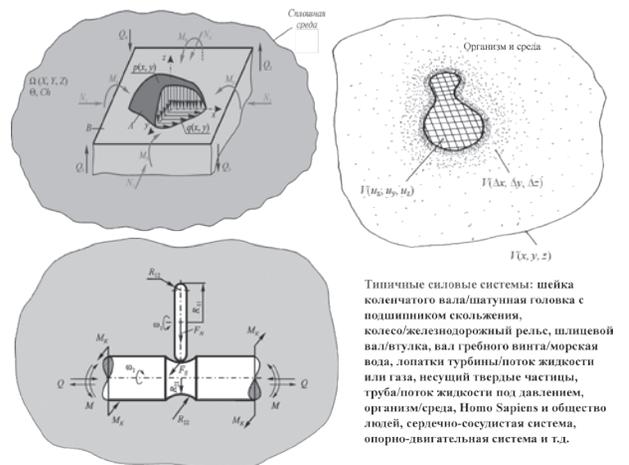


Рисунок 13 — Обобщенные схемы простейших МТД-объектов (систем)

специалисты, работающие в области трибофатики, могут взглянуть на данную проблему с *трибофатической точки зрения*. И хотя это, конечно, частная точка зрения, но похоже, что она дает возможность правильно понять одну из главных сторон того феномена, который мы называем жизнью.

Итак, мы будем говорить о *трибофатической жизни*.

Представление о *комплексных* повреждениях системы сформировалось в трибофатике на основе анализа *износоусталостного* повреждения специфических технических объектов — *силовых систем*. А если объект — *живой организм*? Или его часть? Разве сердечный клапан не работает в условиях трения, изнашивания, усталости? Разве сердечно-сосудистая система не изнашивается, не устает? Размышления показывают: повреждение вообще характерно для сложных биологических систем и особенно — для человека. Устают мышцы рук и ног при ходьбе и работе; изнашиваются, становясь все тоньше, стенки кровеносных сосудов; деформируется и истирается сердечный клапан; ломаются от износа и усталости зубы; поверхности трения суставов крошатся при недостаточной смазке...

Подобные рассуждения приводят к общему представлению: жизнь — это *особый способ накопления необратимых повреждений*; краткий анализ этого представления дан на рисунке 14. Там записан хотя и простейший (см. степенное уравнение), но достаточно общий *закон жизни* любого организма в любых условиях: *данному относительному (t/t_{\oplus}) возрасту неизбежно соответствует определенное повреждение $0 < \omega \leq 1$* (примеры анализа указаны

пунктирами на рисунке 14). Исследование этого закона и позволило впервые предложить *классификацию основных типов жизни человека разумного* (см. рисунок 14). Более подробный анализ закономерностей трибофатической жизни можно найти в литературе [14, 16, 19–21, 30, 32, 33].

Но здесь мы вспомним об известном *философском* определении жизни: *жизнь есть особый способ существования белковых тел, обладающих способностью к обмену веществ, раздражению, размножению, саморегуляции и адаптации*. Представляется естественным объединить эти (изложенные выше) два определения: *жизнь есть особый способ существования белковых систем, эволюционирующих по неизбежным состояниям необратимой повреждаемости*. Похоже, что это — *фундаментальное* определение жизни. Как видно, в нем преодолевается два главных недостатка философского определения жизни, в котором не оказалось места переходу от жизни к смерти и разложению организма, а также его способности к самовоспроизводству.

3.2. Температурная зависимость предельных напряжений. Поиск такой зависимости важен для энергетического машиностроения, поскольку современные машины и оборудование работают в очень широком диапазоне температур. Задача давно и успешно решается во многих частных случаях. Так, для условий крайнего севера разработаны модели температурной зависимости предельных напряжений в диапазоне от +20°C до –(60...80) °C; для условий работы авиационных двигателей — при высоких температурах поряд-

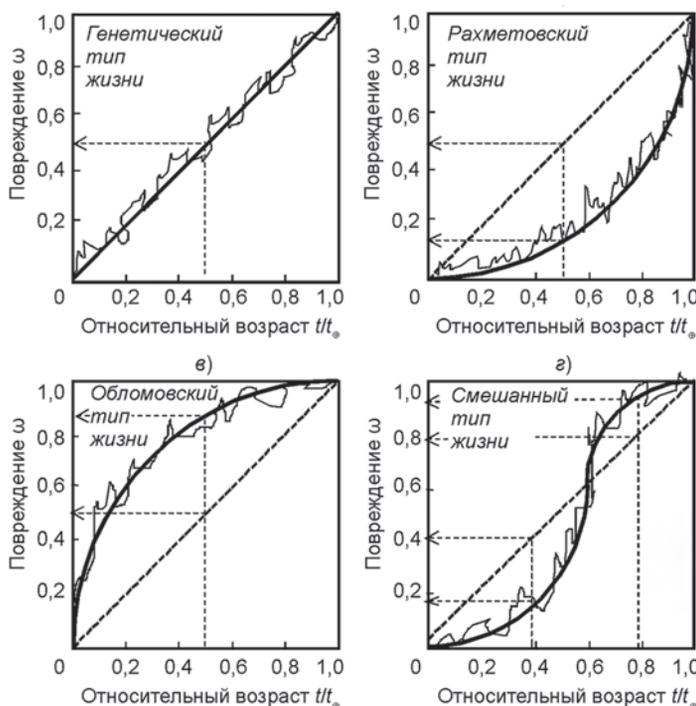


Рисунок 14 — Трибофатическая жизнь: основные типы жизни Homo Sapiens

Жизнь есть особый способ накопления необратимых повреждений.

Прожить жизнь — значит перейти поле, одно измерение которого — время, а другое — необратимые повреждения. И тогда смерть любого организма представляется «всего лишь» как событие, когда достигается критическая величина повреждений (полная потеря функций).

«Хожение» организма по полю жизни поддается, в рамках развиваемого подхода, количественному анализу:

$$\omega(t) = \left[1 - \left(1 - \frac{t}{T_{\oplus}} \right)^m \right]^q \delta$$

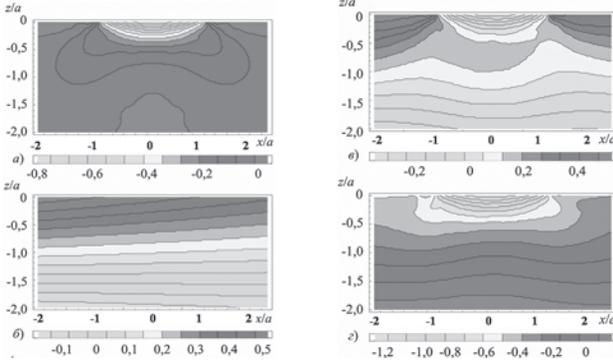
$m \geq 1, q \geq 1$ — параметры *упрочнения-разупрочнения*, $\delta = e^{-\gamma + \beta}$ — параметры *благополучия* (γ) и *смуты* (β) в диалектической функции δ .

Похоже, существует всеобщий закон для смертных: чем меньше скорость накопления повреждений, тем продолжительнее жизнь. Это означает, что существует единственно верный способ продления жизни: уменьшение скорости накопления повреждений

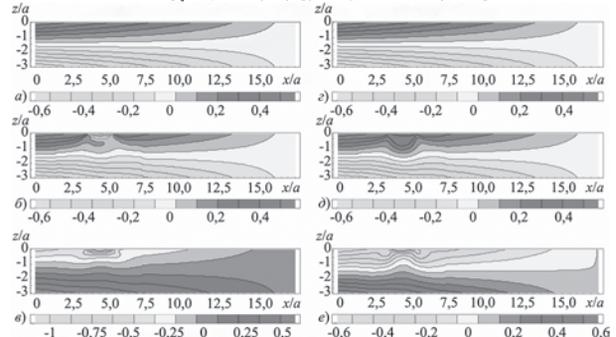
Механико-математическая модель:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{(n)} + \sigma_{ij}^{(\tau)} + \sigma_{ij}^{(b)} = \left[\sigma_{ij}^{(hs)} \sqrt{z} \sigma_{ij}^{(surf)} \right] + \sigma_{ij}^{(\tau)} + \sigma_{ij}^{(b)} = \left[\iint_{S(\xi, \eta)} p(\xi, \eta) \sigma_{ij}^{(B)}(\xi - x, \eta - y, z) d\xi d\eta \sqrt{z} \sigma_{ij}^{(S)}(x, y, z) \right] + \iint_{S(\xi, \eta)} q(\xi, \eta) \sigma_{ij}^{(C)}(\xi - x, \eta - y, z) d\xi d\eta + \sigma_{ij}^{(M)}(x, y, z) + \sigma_{ij}^{(N)}(x, y, z) + \sigma_{ij}^{(O)}(x, y, z).$$

Распределения напряжений $\sigma_{xx}^{(n)}$ (а), $\sigma_{xx}^{(b)}$ (б), $\sigma_{xx}^{(n)} + \sigma_{xx}^{(b)}$ ($Q > 0$) (в), $\sigma_{xx}^{(n)} - \sigma_{xx}^{(b)}$ ($Q < 0$) (г), отнесенных к p_0 в окрестности контакта в плоскости $y = 0$ при $a/b = 0,5$



Распределения напряжений $\sigma_{xx}^{(b)}$ (а), $\sigma_{xx}^{(n)} + \sigma_{xx}^{(b)}$ ($Q > 0$) (б), $\sigma_{xx}^{(n)} - \sigma_{xx}^{(b)}$ ($Q < 0$) (в), отнесенных к p_0 и деформаций $\varepsilon_{xx}^{(b)}$ (г), $\varepsilon_{xx}^{(n)} + \varepsilon_{xx}^{(b)}$ ($Q > 0$) (д), $\varepsilon_{xx}^{(n)} - \varepsilon_{xx}^{(b)}$ ($Q < 0$) (е), отнесенных к p_0 / E (E – модуль упругости), в плоскости $y = 0$ при $a/b = 0,5$

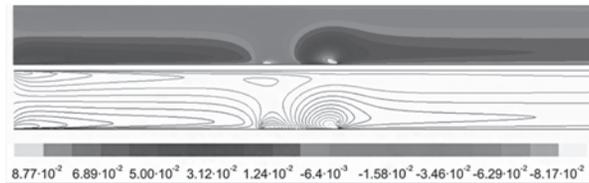
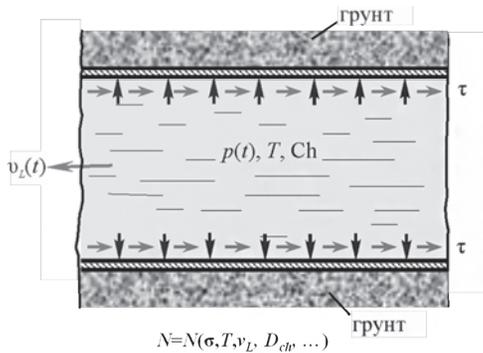


Можно интересоваться как изменяется локальное поле, контактных напряжений (деформаций), когда на него накладывается поле напряжений (деформаций), обусловленных объемным деформированием. По существу, это новый класс задач в механике контактного взаимодействия

Можно интересоваться как поле напряжений (деформаций), обусловленных объемным деформированием, возмущается в локальной области, в которой одновременно возбуждается поле контактных напряжений (деформаций). По существу, это новый раздел теории упругости – теория упругости, освобожденная от принципа Сен-Венана

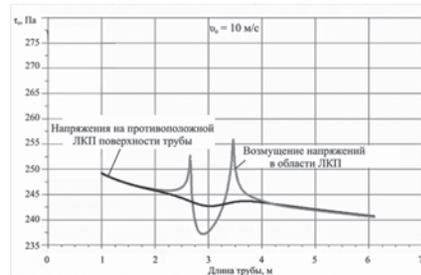
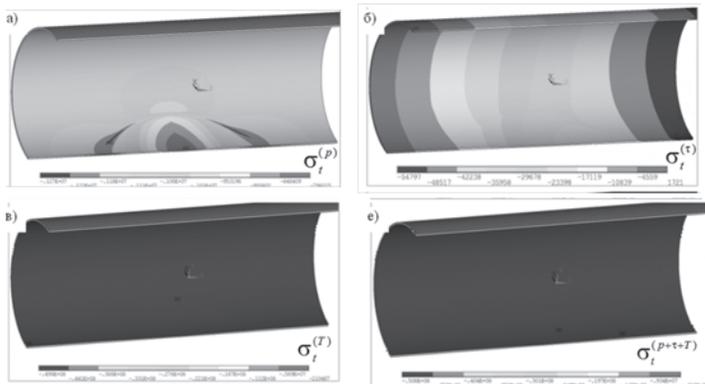
Если не учитывается совмещение НДС от контактных и внеконтактных нагрузок, погрешность оценки напряжений (деформаций) достигает $\pm 30...60\%$ и более

Рисунок 17 — Новый класс контактных задач и особый раздел теории упругости

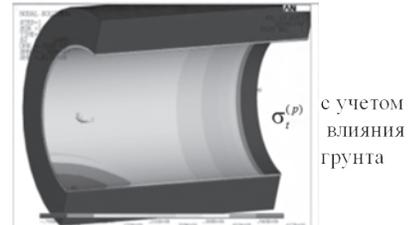


Распределение поперечной составляющей (v_y) скорости потока с локальными коррозионными повреждениями (ЛКП) при скорости потока $v_0 = 10$ м/с

$$\sigma_{ij}^{(p+\tau+T)} = \sigma_{ij}^{(p)} + \sigma_{ij}^{(\tau)} + \sigma_{ij}^{(T)}$$



Касательные напряжения на стенке трубы



с учетом влияния грунта

Рисунок 18 — Нефтепроводная труба как механотермодинамическая система

ханотермодинамической системы. По-видимому, впервые разработана модель расчета НДС с учетом совокупного действия как внутреннего давления, так и пристеночного трения с анализом влияния коррозионного повреждения и окружающего

грунта. Более подробные результаты моделирования изложены в литературе [13].

3.6. Масштабный эффект. Проблема масштабного эффекта (МЭ) в механике деформируемого твердого тела, в сопротивлении усталости

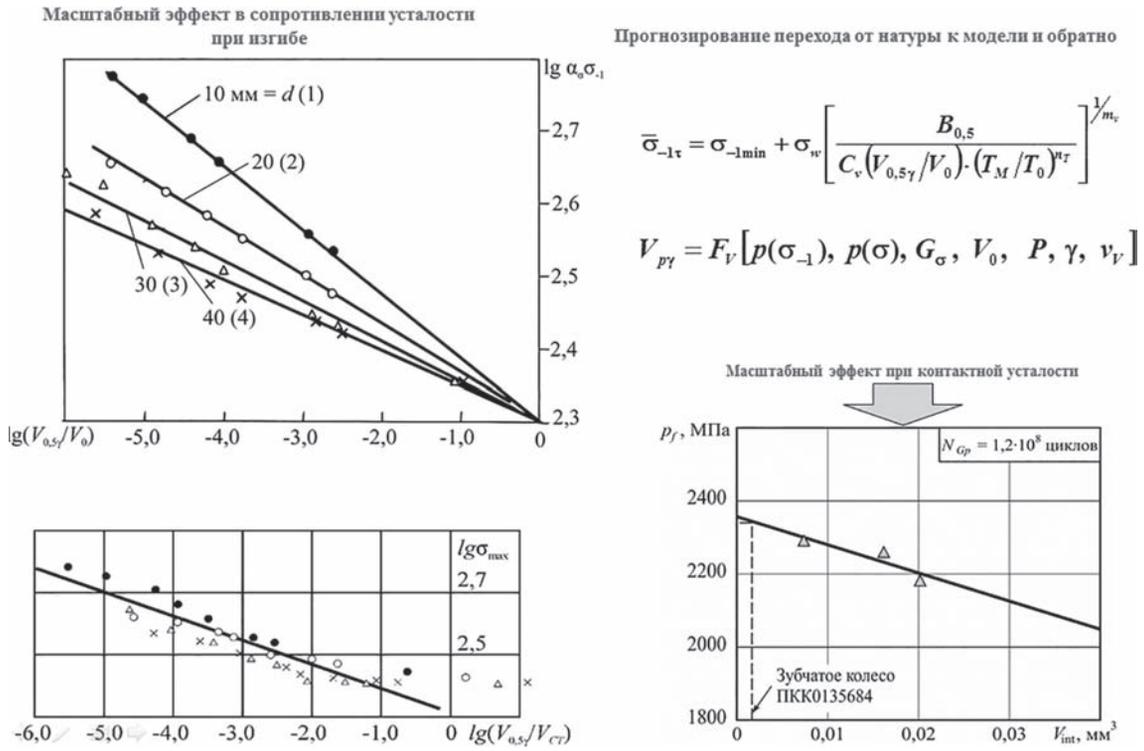


Рисунок 19 — Масштабный эффект в сопротивлении усталости

и износостойкости имеет большое практическое значение: теория МЭ обеспечивает адекватный *переход от природы к испытываемой модели и наоборот*. И если она применительно к механической усталости решена достаточно давно и успешно,

то применительно к контактной усталости общепринятого решения до сих пор не было. Более того, в литературе бытует тезис об *инверсии МЭ при контактной усталости*, а экспериментальные результаты просто противоречивы [42]. В рамках

От сплошной макросреды к дискретному наноконтакту и наоборот

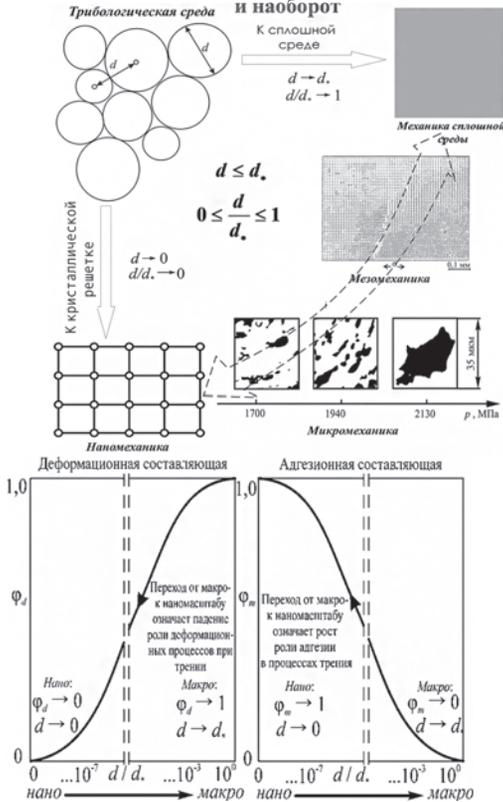
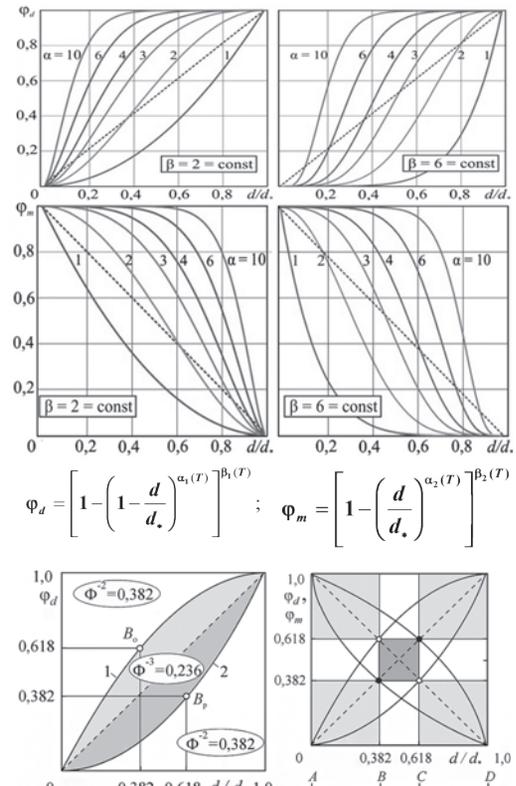


Рисунок 20 — Масштабные зависимости механизмов трения: $\Phi = \Phi_d + \Phi_m = 1$



Масштабные зависимости параметров трения и золотые пропорции: кривая 1: $\alpha / \beta = 2$; ($\alpha = 2, \beta = 1,0$); кривая 2: $\alpha / \beta = 0,5$; ($\alpha = 1,0, \beta = 2$)

нашего подхода эта проблема получила, наконец, теоретическое решение и экспериментальную апробацию на базе обобщенного представления об опасном объеме V_{Pr} деформируемого твердого тела (рисунок 19), относительное значение которого служит критерием подобия усталостного повреждения и разрушения. Подробности можно найти в литературе [42, 43].

В механике и в физике особое значение имеет нерешенная проблема перехода от атомного к макроуровню (и наоборот) с учетом промежуточных микро- и мезоуровней. Как правило, результаты, полученные на малоразмерных уровнях, очень трудно переносимы (или вовсе не переносятся) на более высокий размерный уровень. На рисунке 20 представлено наше аналитическое решение при-

менительно к двум основным механизмам трения; примечательно, что оно связано с золотыми пропорциями. В работе [44] можно найти более подробное изложение полученных результатов.

3.7. Явление троппи. В рамках трибофатики было открыто и изучено новое явление троппи: образование нерегулярных остаточных поверхностных волнообразных повреждений в результате нестационарного процесса упругопластического деформирования в зоне контактного взаимодействия при трении качения. Аналитическое описание явления и его экспериментальное подтверждение представлено на рисунке 21. Оказалось, что это явление имеет большое практическое значение: в определенных условиях эксплуатации рельсов и ж/д колес образуются аналогичные нерегулярные повреждения, ко-

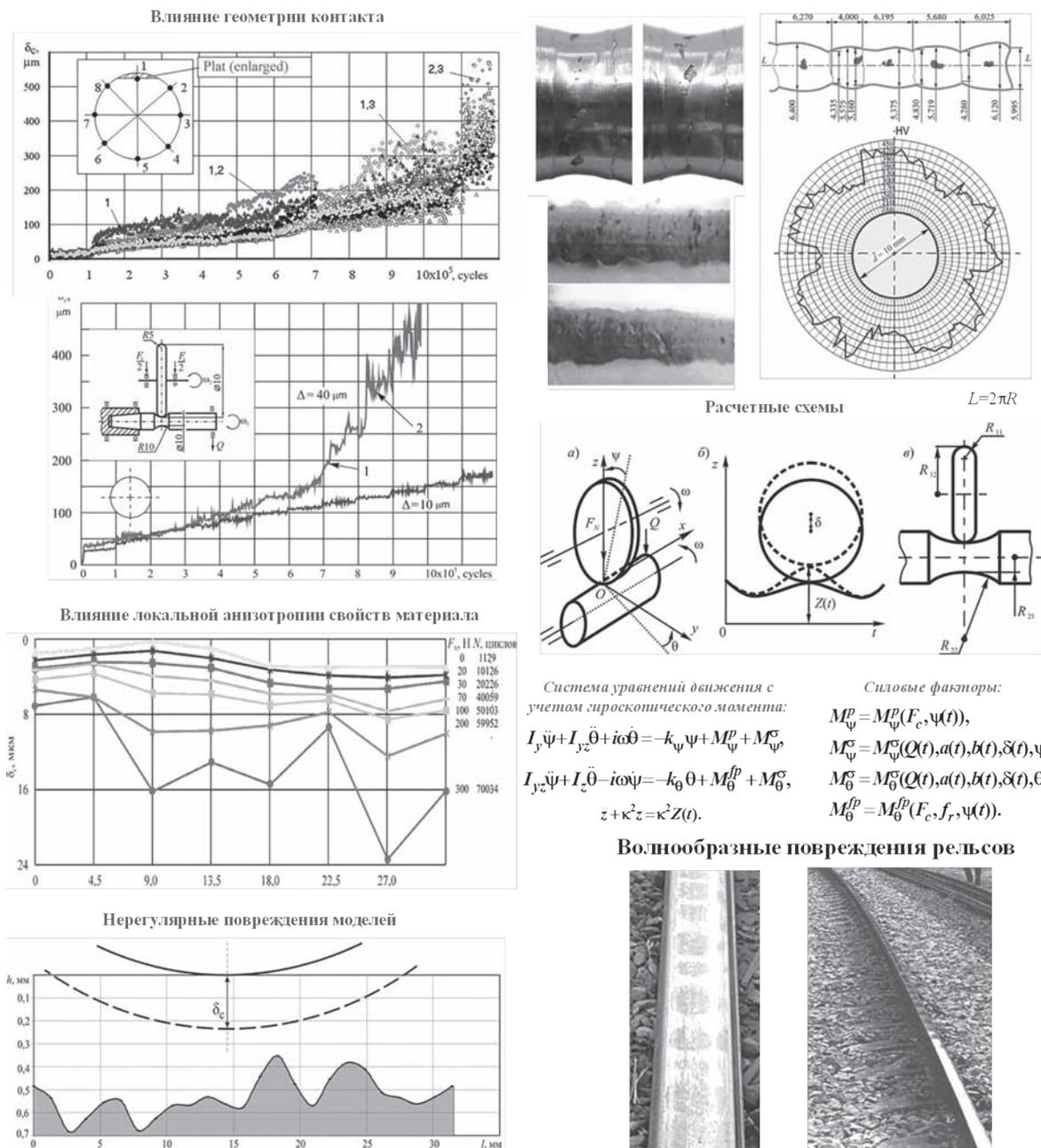


Рисунок 21 — Некоторые результаты исследования явления троппи

Формализация закона трения в деформационной постановке

$$F_{\sigma/p} = F^{(s)} + F^{(b)} = \int_S f^{(s)} p(x, y) ds = \int_S f^{(s)} [p_c(x, y) + p_b(x, y)] ds = f^{(s)} (F_N + P_b).$$

Деформационная модель трения

$$f_{\sigma/p} = f^{(s)} + f^{(b)} = f^{(s)} \left[1 + k_{\sigma/p} \left(\frac{\sigma_{xy}^{(b)}}{P_0} \right) \right],$$

Феноменологическая модель трения

$$\tau_{\sigma} = \tau_w \left(1 \pm \mu_p \frac{\sigma_a}{\tau_w} \right) = \tau_w (1 \pm \mu_p f_F), \quad \tau_{\sigma} \approx \tau_w.$$

$$f_{\sigma} = f_S \left(1 \pm \mu_p \frac{\sigma_a}{\tau_w} \right) = f_S (1 \pm \mu_p f_F), \quad f_{\sigma} \approx f_S.$$

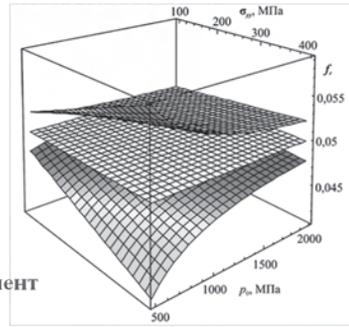
Сопоставление экспериментальных результатов и теоретического решения

Силовая система	p ₀ , МПа	Параметр трения в силовой системе f _z				Погрешность, %	
		результаты эксперимента		результаты расчета			
		σ > 0	σ < 0	σ > 0	σ < 0	σ > 0	σ < 0
Сталь 18ХГТ / Сталь 18ХГТ	2000	0,060	0,070	0,058	0,067	2,06	5,08
	3200	0,076	0,090	0,077	0,089	2,51	1,77
	5600	0,087	0,089	0,083	0,095	4,49	6,39

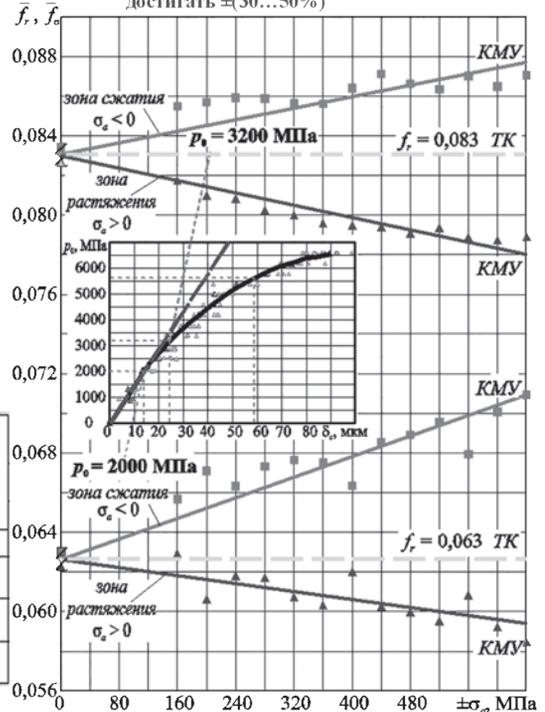
Коэффициент трения качения в зависимости от контактной (p₀) и внеконтактной (σ_{xx}) нагрузок

Расчет

↓ Эксперимент



Если в ТФС трение вследствие действия циклической нагрузки не будет учтено, погрешность оценки коэффициента трения может достигать ±(30...50%)



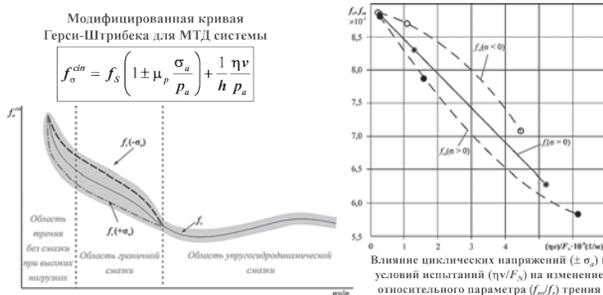
Обобщенный закон трения: в общем случае сила трения пропорциональна как контактной, так и объемной нагрузке, если последняя возбуждает циклические напряжения (σ_a) в области контакта

Рисунок 22 — Обобщенный закон трения

торые инициируют сильные вибрации подвижного состава, а иногда и сход поезда с рельсов. Более подробные сведения об этом явлении и его моделирования можно найти в работах [12–14, 21].

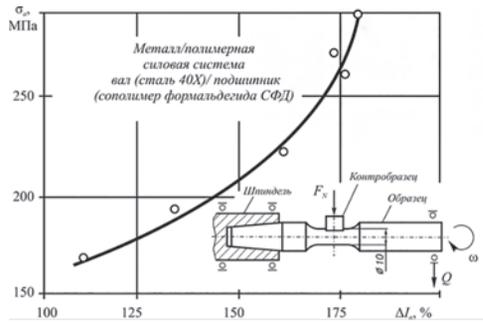
3.8. Закон трения и износ. Как известно, *трение — удивительный феномен природы.* Простей-

ший закон трения Амонтона предложен более 200 лет назад. В рамках исследований по трибофатике и МГД впервые установлен, аналитически описан и экспериментально подтвержден *обобщенный закон трения*, формулировка и экспериментальная апробация которого дана на рисунке 22. А на рисунке 23 показана *модифицированная диаграмма Герси–Штрибека* и приведены результаты ее экспериментальной проверки. Наконец, на рисунке 24 обсуждается проблема *трибофатического износа*. Показано, что в зависимости от уровня циклических напряжений, возбуждаемых в зоне трения от неконтактной нагрузки, *износ может как возрастать, так и снижаться* — до ±(20–60) % в зависимости от условий трения. Это, во-первых, означает что износ в определенных условиях является полезным. Во-вторых, это означает, что повторно-переменные нагрузки (с растяжением) в определенных условиях не являются опасными. Переоценить

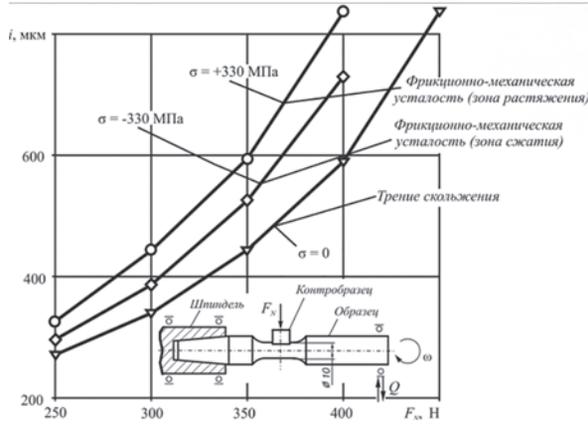


Если в ТФС со смазкой трение вследствие действия циклической нагрузки не будет учтено, погрешность оценки коэффициента трения может достигать ±(7...9%)

Рисунок 23 — К механотермодинамической теории смазки



Зависимость приращения интенсивности изнашивания полимера от амплитуды циклических напряжений



Результаты износоустойчивых испытаний системы сталь 45 / полимер Ф4-ВМ для случаев, когда трение осуществляется в зоне растяжения либо сжатия изгибаемого образца

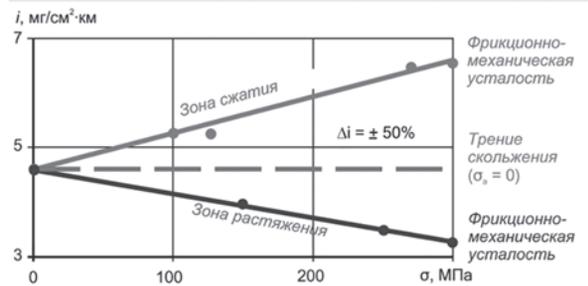


Рисунок 24 — Сравнительный анализ износа в парах трения и трибофатических системах

практическую значимость таких заключений невозможно. Более подробно результаты исследования прямого (влияние процессов трения на изменение характеристик сопротивления усталости) и обратного (влияние циклических напряжений от внеконтактной нагрузки на изменение изно-

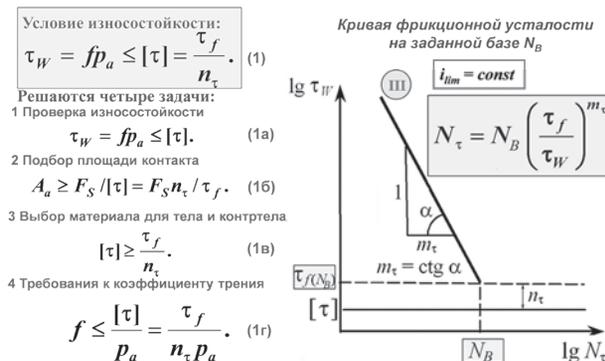


Рисунок 25 — Универсальная методика расчета и проектирования узлов трения

Модели интенсивности и абсолютной величины износа

$$I_{h/\sigma} = K_0 \left(\frac{\bar{p}}{1 - D_{\sigma, T, \tau}} \right)^{1 + \beta_0 m_{\sigma}} \frac{K_{вз}}{N_{\tau\sigma}} K_{RR}; \quad i_{n(\tau_w, \sigma)} = \Delta h \left[1 - \left(1 - \frac{n(\sigma, \tau_w)}{N_{\tau\sigma}} \right) \right]$$

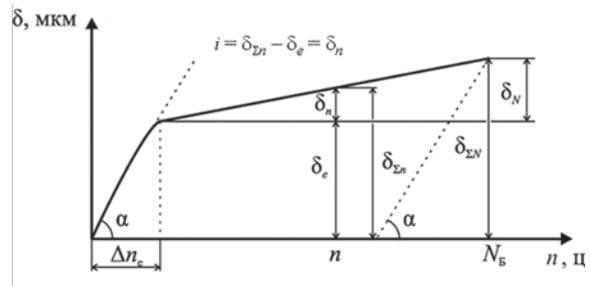
$$\frac{\tau_f^{ПВБ}}{\tau_f^{ПЛ}} = K_{RR}; \quad \bar{p} = \left(\frac{f p_a \sigma_{-1}}{\tau_f \sigma} \right)^2 \approx 1$$

Группы износоустойчивости и силовых систем

$I_{вз}$	$< 10^{-7}$	$10^{-7} \dots 10^{-5}$	$> 10^{-5}$
Группа износоустойчивости	А	В	С
Износоустойчивость $1/I_{вз}$	> 7	$7 \dots 5$	< 5

Параметры работоспособности системы асфальтобетон / шина

Параметр	Обозначение	Численные значения
Упругое сближение осей, мкм	δ_e	80
Количество циклов в течении которых происходит упругое сближение осей, цикл	Δn_e	6800
Остаточное сближение осей при $n \cdot 10^5$ циклов, мкм (износ)	$\delta_n = i_n$	386
Суммарное сближение осей при $n \cdot 10^5$ циклов, мкм	$\delta_{\Sigma n} = \delta_e + \delta_n = \delta_e + i$	466
Остаточное сближение осей при достижении базы (N_B) испытания, мкм (износ)	$\delta_N = i_N$	669
Суммарное сближение осей при достижении базы (N_B) испытания, мкм	$\delta_{\Sigma N} = \delta_e + \delta_N$	749
Базовое число циклов	N_B	$9 \cdot 10^5$



Схематизация графика сближения осей при трении качения

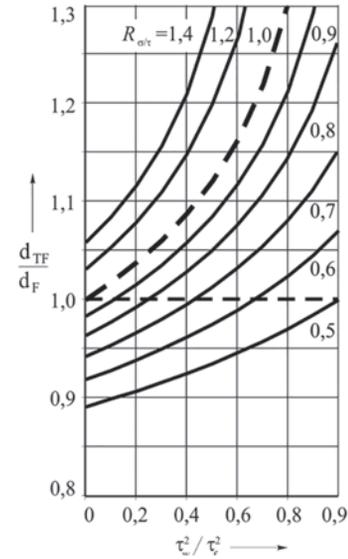
состоятельности) эффектов можно найти в работах [12, 14, 15].

3.9. Расчет и проектирование узлов трения и силовых систем. В обычной практике расчетов отдельных деталей на прочность при проектировании решают две основные задачи. Обычно из условия прочности,



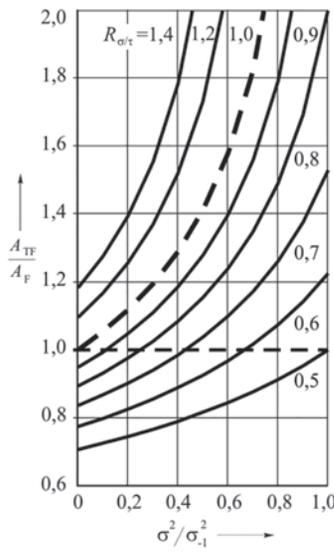
Рисунок 26 — Повреждаемость и ресурс механотермодинамической системы

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ



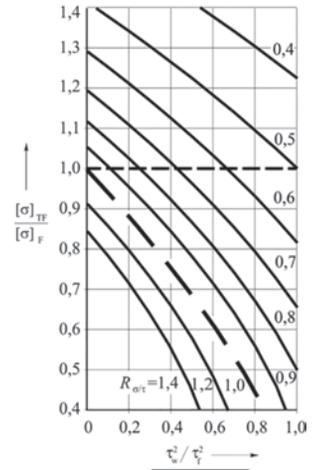
$$d_{TF} \geq \sqrt[3]{\frac{32Mn_{\sigma\tau}}{\pi\sigma_{-1\tau}}} = \sqrt[3]{\frac{32Mn_{\sigma\tau}}{\pi\sigma_{-1} \sqrt{\frac{1}{\Lambda_{\sigma/\tau}} - \frac{\tau_w^2}{\tau_f^2}}}}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА



$$A_{TF} \geq \frac{2F_N n_{p\sigma}}{\pi p_{f\sigma}} = \frac{2F_N n_{p\sigma}}{\pi p_f \sqrt{\frac{1}{\Lambda_{\sigma/p}} - \frac{\sigma^2}{\sigma_{-1}^2}}}$$

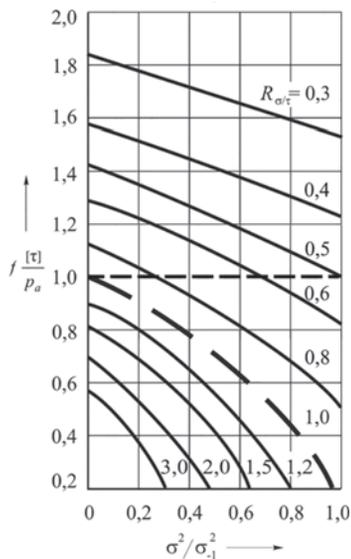
ВЫБОР МАТЕРИАЛА



$$[\sigma]_{TF} = \frac{\sigma_{-1} \sqrt{\frac{1}{\Lambda_{\sigma/\tau}} - \frac{\tau_w^2}{\tau_f^2}}}{n_{\sigma\tau}} \geq \sigma$$

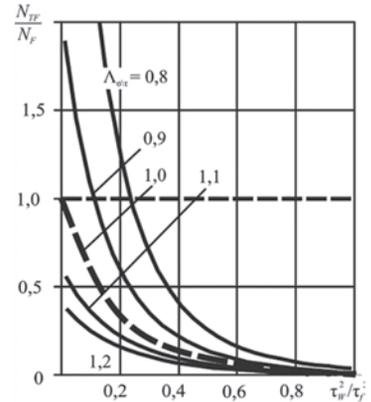
$$[\tau]_{TF} = \frac{\tau_f \sqrt{\frac{1}{\Lambda_{\sigma/\tau}} - \frac{\sigma_{-1}^2}{\sigma^2}}}{n_{\tau\omega}} \geq \tau_w$$

ТРЕБОВАНИЯ К КОЭФФИЦИЕНТУ ТРЕНИЯ



$$f_{TF} \leq \frac{\tau_f \sqrt{\frac{1}{\Lambda_{\sigma/\tau}} - \frac{\sigma^2}{\sigma_{-1}^2}}}{p_a n_{\tau\omega}}$$

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ



$$d_R \geq \sqrt[3]{\frac{32MK_R}{\pi\sigma_{-1} \sqrt{\frac{1}{\Lambda_{\sigma/\tau}} - \frac{\tau_w^2}{\tau_f^2}}}}$$

$$K_R = \left(\frac{N_R}{N_{G\sigma}} \right)^{\frac{1}{m_{\sigma\tau}}}$$

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ:

$$\begin{cases} P(\sigma, \tau_w) \Rightarrow \min; \\ C_0(\sigma_{-1\min}, \sigma_w, m_{\sigma\tau}, \tau_d, \tau_{if}^{(1)}, m_S) \Rightarrow \min, \end{cases}$$

Повреждение	Опасный объем	Условие безотказной работы	Мера поврежденности	Условия повреждения и разрушения с вероятностью P
Механическая усталость	$V_{P\gamma} = \iiint_{\sigma(x,y,z) > \sigma_{-1\min}} dx dy dz$	$V_{P\gamma} = 0$	$\omega_{P\gamma} = \frac{V_{P\gamma}}{V_0}$	$0 < \omega_{P\gamma} \leq 1$
Трение и изнашивание	$S_{P\gamma} = \iiint_{\tau_w(x,y,z) > \tau_{f\min}} dx dy dz$	$S_{P\gamma} = 0$	$\omega_{SP} = \frac{S_{P\gamma}}{S_k}$	$0 < \omega_{SP} \leq 1$
Износоусталостное повреждение	$W_{P\gamma} = (V_{P\gamma} + S_{P\gamma})\phi_{SV}$	$W_{P\gamma} = 0$	$\omega_{WP} = \frac{W_{P\gamma}}{V}$	$0 < \omega_{WP} \leq 1$

Рисунок 27 — Методы расчета и проектирования трибофатических систем

записанного, например, по критерию усталостного разрушения, определяют 1) размеры поперечного сечения детали и 2) выбирают материал для ее изготовления. Методики таких расчетов разработаны давно и широко известны. В практике проектирования узлов трения подобный подход пока не применяется [45, 46]. Это, по нашему мнению, связано с тем, что в трибологии расчетно-экспериментальные оценки характеристик трения и изнашивания базируются преимущественно на механике дискретного контакта.

При проектировании силовых систем *решаются более сложные задачи*, чем при расчетах на прочность. Во-первых, требуется определить размеры не одного, а двух элементов системы в комплексных условиях нагружения, а также выбрать материалы для их изготовления. Во-вторых, надо учесть работу системы как целого, т. е. определить требуемые для надежной работы площадь контактного взаимодействия элементов системы, а также интегральную характеристику ее работоспособности — коэффициент трения.

На рисунке 25 представлена новая универсальная и эффективная *методика расчета и проектирования узлов трения*.

А на рисунке 26 дана обобщенная схема расчета ресурса механотермодинамических систем. Наконец, на рисунке 27 дана конкретизация метода расчета и проектирования силовых систем. Ее высокая эффективность очевидна. В литературе [12, 14, 38] можно найти более подробные указания.

Анализ рисунка 27 приводит к следующему общему заключению: неучет взаимодействия повреждений, обусловленных контактной и внеконтактной нагрузок, приводит не только к большой погрешности (до (20...50) % и более) оценки параметров работоспособности системы и ее элементов, но, что очень важно, не позволяет решать задачи уменьшения их массы (без потери надежности) вследствие некорректного анализа реализуемых процессов упрочнения-разупрочнения.

В трибофатике и МТД разработаны и известны многие другие практически важные результаты. Так, например, разработаны теоретические основы и экспериментальные методы механики локального повреждения [12]; создан новый конструкционный материал Моника, который обнаруживает механические свойства термоупрочненной стали, а также служебные и технологические свойства высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (два в одном) [47–49 и др.]. Однако из-за ограниченности объема статьи они здесь не приводятся.

Заключение. По «большому счету», следует сделать два общих заключения.

1. В дополнение к схеме Б. Кедрова (см. рисунок 1) на рисунке 28 представлена иерархическая структура эволюции наук: от простого к сложному. Она построена на базе научных дисциплин механического цикла, но имеет выход на биологические организмы и далее к Homo Sapiens. Области

наших инновационных (и, думается, пионерских) разработок отмечены цветом.

2. Применительно к механическим системам на рисунке 29 сформулирован *научно-практический кластер*, основанный на полученных новых результатах; он подлежит разработке и внедрению в промышленность. Нетрудно видеть, что это тоже инновационная (и, думается, пионерская) разработка.

Хотелось бы обратить внимание читателей на цикл работ в социогуманитарной области [50–57 и др.], которые, несомненно имеют большое практическое значение для общества людей. Автор надеется, что читатели данного доклада не будут иметь серьезных к нему претензий по поводу тезисности текста: на многочисленных рисунках представлен большой фактический материал, содержание которого многократно расширяет текстовую часть. Конечно, рисунки требуют немалого времени для внимательного изучения, но зато их количественный характер оказывается весьма полезным для специалистов. Следует добавить, что подробный список литературы может в какой-то мере удовлетворить их практические запросы. А в конце концов хочется вспомнить следующее выражение [20]: все мы вертимся вокруг истины, но дело состоит в том, чтобы приближаться к ней, а не удаляться от нее! Думаю, что выше сделан шаг приближения. И еще [17]: новое знание озаряет пространство и время.

Благодарности. Тридцатилетний путь к трибофатике и далее через механотермодинамику к теории А-эволюции было бы невозможно пройти без творческого сотрудничества и помощи известных ученых, коллег и учеников. Результаты известны



Рисунок 28 — От бесструктурной точки через сплошную среду к реальной системе

Цели: импортозамещение, инновации, энергосбережение, снижение затрат труда, средств и материалов в сферах производства и эксплуатации, конкурентоспособность изделий (Hi-Tech)



ККП – комплекс компьютерных программ;
 НДС – пространственное напряженно-деформированное состояние;
 V_{ij}, ω_{Σ} – состояния объемной поврежденности;
 Λ – функции взаимодействий;
 ПЭ, ОЭ – прямой, обратный эффекты;

ПС – многокритериальное предельное состояние;
 R – управляемый ресурс;
 ρ/S_{ρ} – состояние риск / безопасность;
 C_{Σ} – совокупные затраты в сферах производства и эксплуатации;
 $\Pi(X)$ – интегральное качество.

НАУЧНО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ КЛАСТЕР:

механико-математическое моделирование и расчет динамики, прочности, износостойкости и надежности машин, оборудования и материалов с прогнозированием и оптимизацией контролируемого и управляемого ресурса изделия и обеспечением его интегрального качества в соответствии с требованиями рынка, в том числе по критериям безопасности для людей, техногенного и экологического риска эксплуатации

Рисунок 29 — Механотермодинамика: методология и алгоритм расчета и проектирования изделий ответственного назначения

[58, 59]: в этой области опубликовано свыше 1000 работ и более 40 книг; в четырех странах (Беларусь, Россия, Китай, Украина) проведено шесть международных симпозиумов, в работе которых приняли участие более 2000 ученых, которые сделали более 900 докладов. Работы 147 ученых разных стран (в том числе 16 из Беларуси) отмечены Почетным дипломом «За вклад в развитие трибофатики», а 25 из них награждены Почетным юбилейным знаком «Трибофатика-25». Имена (и работы) многих из них названы и охарактеризованы [60–64]. Нельзя забывать и о том, что наши ученые представили оригинальные результаты на более чем на 120 авторитетных международных научно-технических конференциях, съездах, конгрессах, коллоквиумах, которые проходили в 50 известных научных центрах мира (Вашингтон, Лондон, Москва, Пекин, Минск, Париж, Киев, Киото, Турин, Краков, Штутгарт и т. д.). И везде они вызвали интерес участников указанных форумов и получили положительную оценку. Из специальной подборки высказываний ученых о трибофатике [65] можно составить общее представление о фундаментальных и практических результатах исследований в новой области знания. Здесь я интегрально выражаю глубокую признательность немалой когорте как трибофатов, так и ученым, которые, так или иначе, поддержали исследования в новой области знания.

Теперь, в наше рыночное время, огромное значение имеет финансовая поддержка научных исследований. Я должен отметить здесь, что финансирование работ шло и по государственным

программам Республики Беларусь («Приоритет», «Механика», «Металлургия» и др.), и по грантам Белорусского и Российского фонда фундаментальных исследований, и по крупным хозяйственным договорам с несколькими известными организациями (ПО «Гомсельмаш», ОАО «Гомельтранснефть Дружба» и др.). Большую моральную поддержку оказывали нам высокие организации и ведомства (НАН Беларуси, Министерства образования Республики Беларусь, ОАО «Российские железные дороги» и др.): как правило, мы получали их высшие награды. А закончить эту статью хочу словами Гете — для читателей: «Создавать самому прекрасно, но то, что другими найдено, знать и ценить — меньше ли чем создавать?».

Список литературы

1. Энгельс, Ф. Диалектика природы / К. Маркс, Ф. Энгельс // Сочинения. — Т. 20. — С. 339–626.
2. Кедров, Б.М. О современной классификации наук (основные тенденции в ее эволюции). Диалектика в науке о природе и человеке. Единство и многообразие мира, дифференциация и интеграция научного знания / Б.М. Кедров. — М.: Наука, 1983. — С. 5–45.
3. Кондепуди, Д. Современная термодинамика / Д. Кондепуди, И. Пригожин. — М.: Мир, 2002. — 461 с.
4. Седов, Л.И. Механика сплошной среды / Л.И. Седов. — М.: Наука, 1973. — Т. 2. — 420 с.
5. Мейз, Дж. Теория и задачи механики сплошных сред / Дж. Мейз. — М.: Мир, 1974. — 318 с.
6. Горохов, В.Г. Основы философии техники и технических наук / В.Г. Горохов. — М.: Гардарики, 2007. — 335 с.
7. Прайд, В. Феномен NBIC-конвергенции: Реальность и ожидания / В. Прайд, Д.А. Медведев // Философские науки. 2008. — № 1. — С. 97–117.
8. Степин, В.С. О философских основаниях синергетики /

- В.С. Степин // Синергетическая парадигма. Синергетика образования. — М.: Прогресс — Традиция, 2007. — 592 с.
9. Киященко, Л.П. Философия трансдисциплинарности / Л.П. Киященко, В. И. Моисеев. — М.: Институт философии РАН, 2009. — 203 с.
 10. Блауберг, И.В. Проблема целостности и системный подход / И.В. Блауберг. — М.: Эдиториал УРСС, 1997. — 450 с.
 11. Сосновский, Л. А. Основы трибофатики: учеб. пособие: [доп. Мин-вом образования Респ. Беларусь в качестве учеб. пособия для студ. технич. высших учебных заведений] / Л. А. Сосновский. — Гомель: БелГУТ, 2003. — Т. 1. — 246 с.; Т. 2. — 234 с.; Sosnovskiy, L. A. Tribo-Fatigue. Wear-Fatigue Damage and Its Prediction / L.A. Sosnovskiy // Series: Foundations of Engineering Mechanics, Springer, 2005. — 424 p.
 12. Сосновский, Л.А. Механика износоусталостного повреждения / Л.А. Сосновский. — Гомель: БелГУТ, 2007. — 434 с.
 13. Щербаков, С.С. Механика трибофатических систем / С.С. Щербаков, Л.А. Сосновский. — Минск: БГУ, 2010. — 407 с.
 14. Сосновский, Л.А. Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики: курс лекций / Л.А. Сосновский, М.А. Журавков, С.С. Щербаков. — Минск: БГУ, 2010. — 488 с.
 15. Сосновский, Л.А. Введение в трибофатику: пособие для студентов мех.-мат. ф-та, обучающихся по специальности 1-31 03 02 «Механика» (по направлениям) / Л.А. Сосновский, М.А. Журавков, С.С. Щербаков. — Минск: БГУ, 2010. — 77 с.
 16. Труды VI международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. — 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол.: М. А. Журавков (пред.) [и др.]. — Минск: БГУ, 2010. — Т. 1. — 840 с.; Т. 2. — 724 с.
 17. Сосновский, Л.А. Принципы механотермодинамики / Л.А. Сосновский, С.С. Щербаков. — Гомель: БелГУТ, 2013. — 150 с.
 18. Sosnovskiy, L. A. Mechanothermodynamical System and Its Behavior / L.A. Sosnovskiy, S.S. Sherbakov // Continuum Mechanics and Thermodynamics. — 2012. — № 24. — Pp. 239–256.
 19. Sosnovskiy, L.A. Mechanothermodynamics / L.A. Sosnovskiy, S.S. Sherbakov. — Springer, 2016. — 155 p.
 20. Сосновский, Л.А. L-Риск (механотермодинамика необратимых повреждений) / Л.А. Сосновский. — Гомель: БелГУТ, 2004. — 317 с.
 21. Сосновский, Л.А. Сюрпризы трибофатики / Л.А. Сосновский, С.С. Щербаков. — Гомель: БелГУТ, 2005. — 192 с.; Sosnovskiy, L.A. Surprises of Tribo-Fatigue / L.A. Sosnovskiy, S.S. Sherbakov. — Minsk: Magic Book, 2009. — 200 p.
 22. Sherbakov, S.S. Mechanothermodynamic Entropy and Analysis of Damage State of Complex Systems / L.A. Sosnovskiy, S.S. Sherbakov // Entropy. — 2016. — Mode of access: <http://www.mdpi.com/1099-4300/18/7/268/htm>. — Date of Access: 20.07.2016.
 23. Сосновский, Л.А. О возможности построения механотермодинамики / Л. А. Сосновский, С.С. Щербаков // Наука и инновации. — 2008. — № 2 (60). — С. 24–29.
 24. Высоцкий, М.С. Механотермодинамическая система как новый объект исследования / М.С. Высоцкий, П.А. Витязь, Л.А. Сосновский // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 2 (15). — С. 5–10.
 25. Щербаков, С.С. Обобщенная модель механотермодинамических состояний среды / С.С. Щербаков, Л.А. Сосновский // Теоретическая и прикладная механика: межвед. сб. науч.-метод. статей. — Вып. 29. — Минск: БНТУ, 2014. — С. 29–40.
 26. Лазаревич, А.А. На пути к синергии техно- и биоразвития: техносология и трибофатика / А.А. Лазаревич // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. — 2016. — № 1 (32). — С. 39–44.
 27. Лойко, А.И. Трибофатика и философия: стратегия трансдисциплинарных исследований / А.И. Лойко // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. — 2016. — № 1 (32). — С. 45–48.
 28. Сороко, Э.М. Трансдисциплинарность и трибофатика: о новой линии разработки информационных технологий, их эвристических возможностях, инновационном потенциале / Э.М. Сороко // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. — 2016. — № 1 (32). — С. 49–51.
 29. Спасков, А.Н. Генезис, регенерация и нелинейная эволюция сложных систем в механотермодинамической и субстанциально-информационной концепциях / А.Н. Спасков // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. — 2016. — № 1 (32). — С. 52–58.
 30. Сосновский, Л.А. Трибофатика: о диалектике жизни / Л.А. Сосновский. — Изд. 2-е. — Гомель: БелГУТ, 1999. — 116 с.
 31. Крушанов, А.А. О времени и картине вселенной, но иначе / А.А. Крушанов // Вестн. Российского философского общества. — 2015. — № 3. — С. 52–59.
 32. Сосновский, Л.А. О динамических системах с элементами разума / Л.А. Сосновский // Тр. VI международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. — 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол.: М.А. Журавков (пред.) [и др.]. — Минск: БГУ, 2010. — Т. 2. — С. 573–582.
 33. Сосновский, Л.А. Философия и трибофатика / Л.А. Сосновский, А.А. Лазаревич // Тр. VI международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. — 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол.: М.А. Журавков (пред.) [и др.]. — Минск: БГУ, 2010. — Т. 2. — С. 591–620.
 34. Сосновский, Л.А. О возможности построения общей теории эволюции систем / Л.А. Сосновский // Философия в Беларуси и перспективы мировой интеллектуальной культуры: материалы междунар. науч. конф. к 80-летию Института философии НАНБ, Минск, 14–15 апр. 2011 г. — Минск: Право и экономика, 2011. — С. 152–157.
 35. Сосновский, Л.А. Динамические системы с элементами разума: проблема и перспективы исследования / Л. А. Сосновский // Механика-2011: материалы V Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике, Минск, 26–28 окт. 2011 г. — Минск: ОИМ НАН Беларуси, 2011. — Т. I. — С. 64–79.
 36. О взаимодействии наук / Л.А. Сосновский [и др.] // Гармоничное развитие систем — третий путь человечества: тр. 1-го Междунар. конгр., Одесса, Украина, 8–10 окт. 2011 г. — Одесса: ООО «Институт креативных технологий», 2011. — С. 115–126.
 37. Сосновский, Л.А. Cujus periculum, ejus commodum / Л.А. Сосновский // Тр. VI международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. — 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол.: М. А. Журавков (пред.) [и др.]. — Минск: БГУ, 2010. — Т. 2. — С. 583–590.
 38. Богданович, А.В. Прогнозирование предельных состояний силовых систем / А.В. Богданович. — Гродно: ГрГУ им. Я. Купалы, 2008. — 372 с.
 39. Methods and Main Results of Tribo-Fatigue Tests / L.A. Sosnovskiy [et al.] // International Journal of Fatigue. — 2014. — Vol. 66. — Pp. 207–219.
 40. SI-Series Machines for Wear-Fatigue Tests. — Минск, 2009. — 62 с.
 41. Трибофатика-96/97: ежегодник / под общей ред. Л.А. Сосновского // Вып. 2: Моделирование силовых систем / под ред. В.А. Шуринова / В.Н. Корешков, Г.П. Ожигар, Л.А. Сосновский. — Гомель: НПО ТРИБОФАТИКА, 1999. — 80 с.
 42. Комиссаров, В.В. Оценка объемной поврежденности с сопротивления контактной усталости зубчатых колес с учетом масштабного эффекта: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / В.В. Комиссаров. — Гомель: БелГУТ, 2008. — 125 л.
 43. Сосновский, Л.А. Статистическая механика усталостного разрушения / Л.А. Сосновский. — Минск: Наука и техника, 1987. — 288 с.
 44. Сосновский, Л.А. Масштабные уровни механизмов трения: от сплошной макросреды к дискретному наноконтакту / Л.А. Сосновский, С.С. Щербаков, В.В. Комиссаров // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: науч. тр. III междунар. науч. конф., Москва, 13–15 мая 2014 г. — М.: ИМАШ РАН им. А.А. Благонравова, 2014. — С. 296–299.
 45. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. — М.: Машиностроение, 1977. — 526 с.
 46. Основы трибологии: (Трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше [и др.]; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. — 2. изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2001. — 663 с.
 47. Трибофатическая система колеса о рельс для тяжеловестного движения: повышение нагрузок и... снижение затрат? / Л.А. Сосновский [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. — 2016. — № 1 (32). — С. 219–226.

48. Новый конструкционный материал для железнодорожных рельсов: механические и служебные свойства / Л.А. Сосновский [и др.] // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. — 2014. — № 2(29). — С. 77–82.
49. Чугун и сталь в трибофатических системах современных машин и оборудования / Л.А. Сосновский [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2014. — № 4(29). — С. 5–20.
50. Сосновский, Л.А. Жизнь как особый способ накопления повреждений и золотое сечение / Л.А. Сосновский // Проблемы гармонии, симметрии и золотой пропорции в природе, науке и искусстве: сб. науч. тр. Винницкого Государственного аграрного университета. — Винница, 2003. — Вып. 15. — С. 214–221.
51. Сосновский, Л.А. Поле жизни и золотые пропорции / Л.А. Сосновский // Наука и инновации. — 2009. — № 9(79). — С. 26–33.
52. Лазаревич, А.А. О возможности количественного анализа добра и зла в социогуманитарных исследованиях / А.А. Лазаревич, Л.А. Сосновский // Тр. VI международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. — 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол.: М.А. Журавков (пред.) [и др.]. — Минск: БГУ, 2010. — Т. 2. — С. 497–500.
53. Сосновский, Л.А. Об анализе и управлении качеством жизни / Л.А. Сосновский, В.А. Жмайлик, А.А. Лазаревич // Тр. VI международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), 25 окт. — 1 нояб. 2010 г., Минск (Беларусь) / редкол.: М. А. Журавков (пред.) [и др.]. — Минск : БГУ, 2010. — Т. 2. — С. 621–630.
54. Об анализе качества жизни и управлении развитием человеческого потенциала с позиций фундаментальной концепции *L*-риска / Л.А. Сосновский [и др.] // Философия в Беларуси и перспективы мировой интеллектуальной культуры: материалы междунар. науч. конф. к 80-летию Института философии НАНБ, Минск, 14–15 апр. 2011 г. — Минск: Право и экономика, 2011. — С. 261–264.
55. Качество жизни: обобщение представлений с позиций концепции *L*-риска / Л.А. Сосновский [и др.] // Гармоничное развитие систем — третий путь человечества: тр. 1-го междунар. конгр., Одесса, Украина, 8–10 окт. 2011 г. — Одесса: ООО «Институт креативных технологий», 2011. — С. 127–136.
56. Сосновский, Л.А. Человек и общество с позиций трибофатической концепции качества жизни / Л.А. Сосновский, А.А. Лазаревич, Е.С. Таранова // Довгирдовские чтения III: философская антропология и социальная философия: материалы междунар. науч. конф., Минск, 26–27 апр. 2012 г. — Минск: Право и экономика, 2012. — С. 70–74.
57. Сосновский, Л.А. Некоторые соображения о триаде вера — знание — мировоззрение / Л.А. Сосновский // Религия и образование в светских обществах: материалы междунар. науч. конф., Минск, 27–28 мая 2014 г. — Минск: Право и экономика, 2014. — С. 49–53.
58. Новый раздел механики / Л.А. Сосновский [и др.] // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. — 2015. — № 1(30). — С. 5–35. = New Section of Mechanics / L. A. Sosnovskiy [et al.] // Bulletin of BelSUT. 2015. — № 1(30). — Pp. 96–124.
59. Сосновский, Л.А. Новый раздел физики / Л.А. Сосновский, С.С. Щербakov, М.А. Журавков // Вестн. БелГУТа: Наука и транспорт. — 2015. — № 1(30). — С. 64–93. = Sosnovskiy, L. A. New Section of Physics / L.A. Sosnovskiy, S.S. Sherbakov, M.A. Zhuravkov // Bulletin of BelSUT. 2015. — № 1(30). — Pp. 153–180.
60. Кухарев, А. В. Некоторые этапы и перспективы развития трибофатике // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. — 2015. — № 1(30). — С. 39–44. = Kukharev, A.V. Some Stages of Evolution and Prospects of Tribo-Fatigue // Bulletin of BelSUT. 2015. — № 1(30). — Pp. 128–133.
61. Перников, В.Г. Трыбафатыка — гэта інавацыі ў навуцы, адукацыі, тэхналогіях / В.Г. Перников, Л.А. Сасноўскі // Звезда. — 2010 г. — 27 жн. — № 167 (26775). — С. 1–2.
62. Котляров, И. Жизнь — это приятная обязанность / И. Котляров // Республика. — 2015. — 23 лп. — № 135 (6285). — С. 11.
63. Ученый-механик Леонид Адамович Сосновский (к научной биографии) / П. А. Витязь [и др.], Leonid A. Sosnovskiy — Scientist in Mechanics (Curriculum Vitae) / P. A. Vityaz [et al.]. // Личность. Ученый. Поэт / под общ. ред. В.И. Сенько ; Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель : БелГУТ, 2015. — С. 20–30; 31–45.
64. Некоторые события и этапы развития трибофатике / Сост. А.В. Кухарев, С.А. Тюрин // Вестн. БелГУТа : Наука и транспорт. — 2015. — № 1(30). — С. 45–63. = Some Events and Main Stages of Tribo-Fatigue Evolution / Compiled by A. V. Kukharev, S. A. Tyurin // Bulletin of BelSUT. 2015. — № 1(30). — Pp. 134–152.
65. Тюрин, С.А. Ученые о трибофатике / С.А. Тюрин. // Личность. Ученый. Поэт / под общ. ред. В.И. Сенько; Белорус. гос. ун-т трансп. — Гомель: БелГУТ, 2015. — С. 46–50.

SOSNOVSKIY Leonid A., D. Sc. in Eng., Prof.

Director

E-mail: tribo-fatigue@mail.ru

S&P Group TRIBO-FATIGUE Ltd., Gomel, Republic of Belarus

Received 09 November 2016.

MECHANOTHERMODYNAMICS (ON THE UNITED GREAT COMPETITORS: 1850–2015)

More than 150 years in the framework of mechanics and thermodynamics developed the theory of evolution in the world. The theory of evolution, built in thermodynamics, was, according to modern concepts, unsatisfactory: it predicts the impending heat death of the universe, and so far scientists have come to realize that such will not. The general theory of mechanics till now it was not possible to develop a long evolution of systems, because it does not differ equations past and future: they operate at the same time change $+t$ (future) on the $-t$ (past). In Tribo-Fatigue was tasked with combining the two great competitors in order to more adequately describe some of the basic problems of the evolutionary development of the world. This problem is solved (to a first approximation, of course) under Mechanothermodynamics — a new branch of physics. Mechanothermodynamics main provisions are summarized below. This gives a number of examples of the practical use of the results of fundamental research.

Keywords: thermodynamics, mechanics, tribo-fatigue, mechanothermodynamics, theory of evolution, factor analysis, phenomenoanalysis, dialectical synthesis, mechanothermodynamic, organic, inorganic systems, interdisciplinary and transdisciplinary research

References

- Engels F., Marx K. *Dialektika prirody* [Dialectics of Nature]. Vol. 20, pp. 339–626.
- Kedrov B.M. O sovremennoj klassifikacii nauk (osnovnyye tendencii v ee jevoljucii). *Dialektika v nauke o prirode i cheloveke. Edinstvo i mnogoobrazie mira, differenciacija i integracija nauchnogo znanija* [On modern classification of sciences (the main trends in its evolution). Dialectics in the science of nature and man. Unity and diversity of the world, differentiation and integration of scientific knowledge]. Moscow, Nauka, 1983, pp. 5–45.
- Kondepudi D., Prigozhin I. *Sovremennaja termodinamika* [Modern Thermodynamics]. Moscow, Mir, 2002. 461 p.
- Sedov L.I. *Mehanika splosnoj sredy* [Continuum Mechanics]. Moscow, Nauka, 1973, Vol. 2. 420 p.
- Maze G. *Teorija i zadachi mehaniki splosnyh sred* [Theory and problems of continuum mechanics]. Moscow, Mir, 1974. 318 p.
- Gorokhov V.G. *Osnovy filosofii tehniki i tehniceskikh nauk* [Basics of philosophy of technology and technical sciences]. Moscow, Gardariki, 2007. 335 p.
- Prayd V., Medvedev D.A. Fenomen NBIC-konvergencii: Real'nost' i ozhidaniya [Phenomenon of NBIC-convergence: Reality and expectations]. *Filosofskie nauki* [Philosophical sciences], 2008, no. 1, pp. 97–117.
- Stepin V.S. *O filosofskih osnovanijah sinergetiki* [On philosophical bases of synergy]. Moscow, Progress – Tradicija, 2007. 592 p.
- Kiyashchenko L.P., Moiseev V.I. *Filosofija transdisciplinarnosti* [Transdisciplinarity philosophy]. Moscow, Institut filosofii RAN, 2009. 203 p.
- Blauberger I.V. *Problema celostnosti i sistemnyj podhod* [Integrity problem and a systematic approach]. Moscow, Jeditorial URSS, 1997. 450 p.
- Sosnovskiy L.A. *Tribo-Fatigue. Wear-Fatigue Damage and Its Prediction*. Series: Foundations of Engineering Mechanics, Springer, 2005. 424 p.
- Sosnovskiy L.A. *Mehanika iznosoustalostnogo povrezhdenija* [Mechanics of wear-fatigue damage]. Gomel, BelGUT, 2007. 434 p.
- Shcherbakov S.S., Sosnovskiy L.A. *Mehanika tribofaticheskikh sistem* [Mechanics of tribo-fatigue systems]. Minsk, BGU, 2010. 407 p.
- Sosnovskiy L.A., Zhuravkov M.A., Shcherbakov S.S. *Fundamental'nye i prikladnye zadachi tribofatiki: kurs lekcij* [Fundamental and applied tribo-fatigue issues: lectures]. Minsk, BGU, 2010. 488 p.
- Sosnovskiy L.A., Zhuravkov M.A., Shcherbakov S.S. *Vvedenie v tribofatiku* [Introduction to Tribo-Fatigue]. Minsk, BGU, 2010. 77 p.
- Zhuravkov M.A. [et al.] *Trudy VI Mezhdunarodnogo simpoziuma po tribofatike* [Proc. VI International Symposium on Tribo-Fatigue]. Minsk, BGU, 2010, vol. 1. 840 p., vol. 2, 724 p.
- Sosnovskiy L.A., Shcherbakov S.S. *Principy mehanotermodinamiki* [Mechanothermodynamics principles]. Gomel, BelGUT, 2013. 150 p.
- Sosnovskiy L.A., Shcherbakov S.S. *Mechanothermodynamical System and Its Behavior*. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 2012, no. 24, pp. 239–256.
- Sosnovskiy L.A., Shcherbakov S.S. *Mechanothermodynamics*. Springer, 2016. 155 p.
- Sosnovskiy L.A. *L-Risk (mehanotermodinamika neobratimyh povrezhdenij)* [L-Risk (mechanothermodynamics of irreversible damage)]. Gomel, BelGUT, 2004. 317 p.
- Sosnovskiy L.A., Shcherbakov S.S. *Surprises of Tribo-Fatigue*. Minsk, Magic Book, 2009. 200 p.
- Sosnovskiy L.A., Shcherbakov S.S. *Mechanothermodynamic Entropy and Analysis of Damage State of Complex Systems*. Available at: <http://www.mdpi.com/1099-4300/18/7/268/html/> (accessed 20 July 2016).
- Sosnovskiy L.A., Shcherbakov S.S. O vozmozhnosti postroeniya mehanotermodinamiki [On the possibility of constructing mechanothermodynamics]. *Nauka i innovacii* [Science and Innovation], 2008, no. 2(60), pp. 24–29.
- Vysotskiy M.S., Vityaz P.A., Sosnovskiy L.A. *Mehanotermodinamicheskaja sistema kak novyj obekt issledovaniya* [Mechanothermodynamic system as a new object of study]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2011, no. 2(15), pp. 5–10.
- Shcherbakov S.S., Sosnovskiy L.A. *Obobshhennaja model' mehanotermodinamicheskikh sostojanij sredy* [A generalized model of mechanothermodynamic medium]. *Teoreticheskaja i prikladnaja mehanika: mezhdved. sb. nauch.-metod. statej* [Theoretical and Applied Mechanics: interdepartmental collection of scientific-methodological articles]. Minsk, BNTU, 2014, vol. 29, pp. 29–40.
- Lazarevich A.A. Na puti k sinergii tehn- i biorazvitiya: tehnosofija i tribofatika [On the way to synergy and technological biodevelopment: technosophy and tribo-fatigue]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2016, no. 1(32), pp. 39–44.
- Loyko A.I. Tribofatika i filosofija: strategija transdisciplinarnyh issledovanij [Tribo-fatigue and philosophy: a strategy of transdisciplinary research]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2016, no. 1(32), pp. 45–48.
- Soroko E.M. Transdisciplinarnost' i tribofatika: o novoj linii razrabotki informacionnyh tehnologij, ih jevrsticheskikh vozmozhnostyah, innovacionnom potenciale [Transdisciplinarity and tribo-fatigue: a new line of development of information technologies, their heuristic capabilities, innovation potential]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2016, no. 1(32), pp. 49–51.
- Spaskov A.N. Genezis, regeneracija i nelinejnaja jevoljucija slozhnyh sistem v mehanotermodinamicheskoi i substancijal'no-informacionnoj koncepcijah [Genesis, regeneration and evolution of complex nonlinear systems mechanothermodynamic and substantial-informational concepts]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2016, no. 1(32), pp. 52–58.
- Sosnovskiy L.A. *Tribofatika: o dialektike zhizni* [Tribo-fatigue: the dialectics of life]. Gomel, BelGUT, 1999. 116 p.
- Krushanov A. A. O vremeni i kartine vselennoj, no inache [About the time and the picture of the universe, but otherwise]. *Vestnik Rossijskogo filosofskogo obshhestva* [Bulletin of the Russian Philosophical Society], 2015, no.3, pp. 52–59.
- Sosnovskiy L.A., Zhuravkov M.A. [et al.] O dinamicheskikh sistemah s jelementami razuma [On dynamical systems with elements of the human brain]. *Trudy VI Mezhdunarodnogo simpoziuma po tribofatike* [Proc. VI Int. Symp. on Tribo-Fatigue]. Minsk, BGU, 2010, vol. 2, pp. 573–582.
- Sosnovskiy L.A., Lazarevich A.A., Zhuravkov M.A. [et al.] Filosofija i tribofatika [Philosophy and tribo-fatigue]. *Trudy VI Mezhdunarodnogo simpoziuma po tribofatike* [Proc. VI Int. Symp. on Tribo-Fatigue]. Minsk, BGU, 2010, vol. 2, pp. 591–620.
- Sosnovskiy L.A. O vozmozhnosti postroeniya obshhej teorii jevoljucii sistem [On the possibility of constructing a general theory of the evolution of systems]. *Trudy Mezhdunar. nauch. konf. k 80-letiju Instituta filosofii NANB "Filosofija v Belarusi i perspektivy mirovoj intellektual'noj kul'tury"* [Proc. International Scientific Conference by the 80th anniversary of the Institute of Philosophy of the NAS of Belarus "Philosophy in Belarus and the prospects of the world intellectual culture"], Minsk, Pravo i jekonomika, 2011, pp. 152–157.
- Sosnovskiy L.A. Dinamicheskie sistemy s jelementami razuma: problema i perspektivy issledovaniya [Dynamical systems with elements of mind: the problem and perspectives of research]. *Trudy V Belorusskogo kongressa po teoreticheskoi i prikladnoj mehanike "Mehanika-2011"* [Proc. V Belarusian Congress of Theoretical and Applied Mechanics "Mechanics-2011"]. Minsk, OIM NAN Belarusi, 2011, vol. 1, pp. 64–79.
- Sosnovskiy L.A. [et al.] O vzaimodejstvii nauk [On the interaction of sciences]. *Trudy 1-go Mezhdunar. kongr. "Garmonichnoe razvitiye sistem – tretij put' chelovechestva"* [Proc. 1st Int. Congress "Harmonious development of the systems – the third way of mankind"]. Odessa, OOO "Institut kreativnyh tehnologij", 2011, pp. 115–126.
- Sosnovskiy L.A. [et al.] *Cujus periculum, ejus commodum*. *Trudy VI Mezhdunarodnogo simpoziuma po tribofatike* [Proc. VI Int. Symp. on Tribo-Fatigue]. Minsk, BGU, 2010, vol. 2, pp. 583–590.
- Bogdanovich A.V. *Prognozirovanie predel'nyh sostojanij silovyh sistem* [Prediction of limit states of power systems]. Grodno, GrGU im. Ja. Kupaly, 2008. 372 p.
- Sosnovskiy L.A. [et al.] Methods and Main Results of Tribo-Fatigue Tests. *International Journal of Fatigue*, 2014, vol. 66, pp. 207–219.
- SI-Series Machines for Wear-Fatigue Tests. Минск, 2009. 62 p.

41. Shurin V.A., Koreshkov V.N., Ozhigar G.P., Sosnovskiy L.A. Modelirovanie silovoy system [Modeling of power systems]. *Tribofatika-96/97* [Tribo-fatigue-96/97], Gomel, NPO TRIBOFATIKA, 1999. 80 p.
42. Komissarov V.V. *Ocenka obemnoj povrezhdennosti i soprotivleniya kontaktnoj ustalosti zubchatykh koles s uchetom mashtabnogo jeffekta*. Diss. kand. tehn. nauk [Assessment of contact fatigue volume of damage and resistance gears considering scale effect. Ph. D. in Eng. sci. diss.]. Gomel, BelGUT, 2008. 125 p.
43. Sosnovskiy L.A. *Statisticheskaya mehanika ustalostnogo razrusheniya* [Statistical mechanics of fatigue damage]. Minsk, Nauka i tehnika, 1987. 288 p.
44. Sosnovskiy L.A., Shcherbakov S.S., Komissarov V.V. *Masshtabnye urovni mehanizmov treniya: ot sploshnoj makrosredy k diskretnomu nanokontaktu* [Scale levels of friction mechanisms from the solid macro to a discrete nanocontacts]. *Trudy III Mezhdunar. nauch. konf. "Fundamental'nye issledovaniya i innovacionnye tehnologii v mashinostroenii"* [Proc. III Int. scientific conference "Basic research and innovation in mechanical engineering"]. Moscow, IMASH RAN im. A.A. Blagonravova, 2014, pp. 296–299.
45. Kragelskiy I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S. *Osnovy raschetov na trenie i iznos* [Basics of calculations for friction and wear]. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 526 p.
46. Chichinadze A.V., Braun E.D., Bushe N.A. [et al.] *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka)* [Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)]. Moscow, Mashinostroenie, 2001. 663 p.
47. Sosnovskiy L.A. *Tribofaticheskaya sistema koleso / rels dlja tjazhelovesnogo dvizheniya: povyszenie nagruzok i... snizhenie zatrat?* [Tribo-fatigue system wheel / rail for heavyweight movement: increasing loads and ... reducing costs?]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2016, no. 1(32), pp. 219–226.
48. Sosnovskiy L.A. [et al.] *Novyj konstrukcionnyj material dlja zheleznodorozhnykh rel'sov: mehanicheskie i sluzhebnye svoystva* [New construction material for rails: mechanical and service properties]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2014, no. 2(29), pp. 77–82.
49. Sosnovskiy L.A. [et al.] *Chugun i stal v tribofaticheskikh sistemah sovremennykh mashin i oborudovaniya* [Iron and steel in tribo-fatigue systems of modern machinery and equipment]. *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2014, no. 4(29), pp. 5–20.
50. Sosnovskiy L.A. *Zhizn kak osobyj sposob nakopleniya povrezhdenij i zolotoe sechenie* [Life as a special way of the accumulation of damage and the golden section]. *Trudy Vinnickogo Gosudarstvennogo agrarnogo universiteta "Problemy garmonii, simmetrii i zolotoj proporcii v prirode, nauke i iskusstve"* [Proc. Vinnytsia National Agrarian University "Problems of harmony, symmetry and the golden ratio in nature, science and art"]. Vinnica, 2003, no. 15, pp. 214–221.
51. Sosnovskiy L.A. *Pole zhizni i zolotyie proporcii* [Field of life and golden proportions]. *Nauka i innovacii* [Science and Innovation], 2009, no. 9(79), pp. 26–33.
52. Lazarevich A.A., Sosnovskiy L.A. [et al.] *O vozmozhnosti kolichestvennogo analiza dobra i zla v sociogumanitarnykh issledovaniyah* [On the possibility of quantitative analysis of good and evil in the social and humanitarian studies]. *Trudy VI Mezhdunarodnogo simpoziuma po tribofatike* [Proc. VI Int. Symp. on Tribo-Fatigue]. Minsk, BGU, 2010, vol. 2, pp. 497–500.
53. Sosnovskiy L.A., Zhmaylik V.A., Lazarevich A.A. *Ob analize i upravlenii kachestvom zhizni* [Quality of life analysis and control]. *Trudy VI Mezhdunarodnogo simpoziuma po tribofatike* [Proc. VI Int. Symp. on Tribo-Fatigue]. Minsk, BGU, 2010, vol. 2, pp. 621–630.
54. Sosnovskiy L.A. [et al.] *Ob analize kachestva zhizni i upravlenii razvitiem chelovecheskogo potenciala s pozicij fundamental'noj koncepcii L-riska* [On analyzing the quality of life and management of human development from the standpoint of the fundamental concept of L-risk]. *Trudy Mezhdunar. nauch. konf. k 80-letiju Instituta filosofii NANB "Filosofija v Belarusi i perspektivy mirovoj intellektualnoj kultury"* [Proc. Int. scientific. Conference by the 80th anniversary of the Institute of Philosophy of the NAS of Belarus "Philosophy in Belarus and the prospects for the world intellectual culture"]. Minsk, Pravo i jekonomika, 2011, pp. 261–264.
55. Sosnovskiy L.A. [et al.] *Kachestvo zhizni: obobshchenie predstavlenij s pozicij koncepcii L-riska* [Quality of life: synthesis of ideas from the standpoint of the concept of L-risk]. *Trudy 1-go Mezhdunar. kongr. "Garmonichnoe razvitiie sistem – tretij put chelovechestva"* [Proc. 1st Int. Congress "The harmonious development of the systems – the third way mankind"]. Odessa, 2011, OOO «Institut kreativnykh tehnologij», 2011, pp. 127–136.
56. Sosnovskiy L.A., Lazarevich A.A., Taranova E.S. *Chelovek i obshestvo s pozicij tribofaticheskoy koncepcii kachestva zhizni* [Man and society from the point of tribo-fatigue concept of quality of life]. *Trudy Mezhdunar. nauch. konf. "Dovgirdovskie chteniya III: filosofskaya antropologija i social'naja filosofija"* [Proc. Int. Scientific Conference "Dovgirdovskie readings III: philosophical anthropology and social philosophy"]. Minsk, Pravo i jekonomika, 2012, pp. 70–74.
57. Sosnovskiy L.A. *Nekotorye soobrazheniya o triade vera – znanie – mirovozzrenie* [Some considerations about the triad of faith – knowledge – world]. *Trudy Mezhdunar. nauch. konf. "Religija i obrazovanie v svetskikh obshestvakh"* [Proc. Int. Scientific Conference "Religion and education in secular societies"]. Minsk, Pravo i jekonomika, 2014, pp. 49–53.
58. Sosnovskiy L.A. [et al.] *Novyj razdel mehaniki* [New Section of Mechanics]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2015, no. 1(30), pp. 96–124.
59. Sosnovskiy L.A., Shcherbakov S.S., Zhuravkov M.A. *Novyj razdel fiziki* [New Section of Physics]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2015, no. 1(30), pp. 153–180.
60. Kukharev A.V. *Nekotorye jetapy i perspektivy razvitiya tribofatiki* [Some Stages of Evolution and Prospects of Tribo-Fatigue]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2015, no. 1(30), pp. 128–133.
61. Pernikov V.G., Sosnovskiy L.A. *Trybafatyka – gjeta inovacii i nauki* [Tribo-fatigue is innovation in science, education, technology]. *Zvijazda* [Star], 2010, no. 167(26775), pp. 1–2.
62. Kotlyarov I. *Zhizn – jeto prijatnaja objazannost* [Life is a pleasant duty]. *Respublika* [Republic], 2015, no. 135(6285). 11 p.
63. Vityaz P.A. [et al.] *Uchenyj-mehaniik Leonid Adamovich Sosnovskij (k nauchnoj biografii)* [Leonid A. Sosnovskiy – Scientist in Mechanics (Curriculum Vitae)]. *Lichnost. Uchenyj. Pojet* [Personality. Scientist. Poet]. Gomel, BelGUT, 2015, pp. 20–30; 31–45.
64. Kukharev A.V., Tyurin S.A. *Nekotorye sobytija i jetapy razvitiya tribofatiki* [Some Events and Main Stages of Tribo-Fatigue Evolution]. *Vestnik BelGUTA: Nauka i transport* [Bulletin of the BelSUT: Science and Transport], 2015, no. 1(30), pp. 134–152.
65. Tyurin S.A. *Uchenye o tribofatike* [Scientists on Tribo-Fatigue]. *Lichnost. Uchenyj. Pojet* [Personality. Scientist. Poet]. Gomel, BelSUT, 2015. 109 p.