

ПОЗДРАВЛЯЕМ С ЮБИЛЕЕМ!

25 июля исполнилось 75 лет доктору технических наук, профессору, лауреату Государственной премии Украины, Заслуженному деятелю науки Республики Беларусь, члену Российской Национального Комитета по теоретической и прикладной механике, сопредседателю (наряду с В. Т. Троценко, Н. А. Махутовым и Гао Ванчженом) Международного координационного совета по трибофатике, созданного академиями наук Беларуси, России и Украины в 1993 г., почетному гражданину города Чечерска *Леониду Адамовичу СОСНОВСКОМУ*.

Леонид Адамович родился в с. Полесье Чечерского района Гомельской области, окончил Шилевичскую среднюю школу с серебряной медалью, Ленинградский ордена Ленина и Трудового Красного Знамени горный институт им. Г. В. Плеханова, где получил квалификацию инженера-механика. Работал на машиностроительном заводе, в научно-исследовательских институтах и высших учебных заведениях России, Украины, Беларуси.

В настоящее время профессор Белорусского государственного университета транспорта, директор ООО «НПО ТРИБОФАТИКА», научный руководитель Межведомственной лаборатории «ТРИБОФАТИКА».



Профессор Л. А. Сосновский – ученый в области *трибофатики* – нового раздела механики, который определяют как *механику износоусталостного повреждения и разрушения* (ГОСТ 30638-99). Результатом его деятельности в этой сфере является установление прямого эффекта (Сосновского-Серенсена), согласно которому сопротивление усталости трибофатических систем, в зависимости от условий трения и изнашивания, может не только резко (в 2–3 раза и более) снижаться, но и существенно повышаться (на 30–60 % и более). Им установлен обратный эффект (Сосновского-Шарая), согласно которому характеристики трения и износостойкости, в зависимости от условий объемного циклического деформирования хотя бы одного из элементов трибофатической системы, могут не только уменьшаться, но и значительно расти (на ± 70 % и более в обоих случаях) и экспериментально обнаружен рассеянный эффект множественного микросдвига (Сосновского-Махутова-Чижика), что позволило понять и изучить закономерности образования и развития комплексного повреждения в сложных условиях нагружения.

Л. А. Сосновский сформулировал (с участием К. В. Фролова) принцип Λ -взаимодействий необратимых повреждений, обусловленных нагрузками разной природы (циклической, фрикционной, термодинамической и др.), который широко подтвержден экспериментально и положен в основу перехода от анализа факторов в механике деформируемого твердого тела (механической усталости, механики трения и износа и др.) к феноменологическому анализу в трибофатике. Это позволило установить и объяснить четыре «сюрприза» в трибофатике:

S1 – неожиданное падение сопротивления усталости стали, обусловленное взаимодействием механо-физико-химических явлений при трении полимера (загадка трибофатики);

S2 – эффективное управление процессами трения и изнашивания путем возбуждения циклических напряжений от внеконтактной нагрузки (обратный эффект);

S3 – аномально низкое сопротивление разрушению при фреттинг-усталости, обусловленное сильным взаимодействием комплекса слабых повреждений (трибофатическая бомба (Махутова));

S4 – аномально высокое сопротивление разрушению при контактно-механической усталости, обусловленное процессами самопроизвольного упрочнения (подарок трибофатики).

Применительно к системам «деформируемое твердое тело/излучения» установлено, что если прямой эффект характеризует влияние радиационного облучения на изменение характеристик длительной прочности, то обратный эффект – это силовое стимулирование радиационного повреждения; его степень сильнее для нагруженных образцов, тогда как она значительно меньше для образцов, облученных той же дозой в ненагруженном состоянии. Предложена модель радиационной поврежденности, на основании которой получено уравнение для расчета эквивалентного напряжения с учетом характера и параметров облучения (доза; интенсивность быстрых и тепловых нейтронов и др.); уравнение удовлетворительно соответствует экспериментальным результатам.

Применительно к системам «твердое тело/жидкость» разработана (совместно с В. В. Воробьевым) модель коррозионно-эрозивной усталости, согласно которой процессы эрозии могут приводить как к снижению, так и к повышению сопротивления коррозионно-механической усталости (пря-

мой эффект); обратный эффект при коррозионной усталости состоит в изменении скорости химических процессов циклическими напряжениями.

К настоящему времени по трибофатике (с участием Л. А. Сосновского) опубликовано более 500 научных работ, в том числе 20 книг; проведено пять Международных симпозиумов по трибофатике (1993 – Гомель, 1996 – Москва, 2000 – Пекин, 2002 – Тернополь, 2005 – Иркутск); разработано (при поддержке В. Н. Корешкова) 7 государственных стандартов (в том числе 3 – межгосударственных); 120 ученых разных стран награждены Почетным дипломом «За вклад в развитие трибофатики», среди них – 16 белорусских ученых. За последние 5 лет подготовлены 6 кандидатов и 1 доктор наук; получен экономический эффект свыше 3 млн долларов США. В учебный план 5 университетов Республики Беларусь включены (при поддержке В. И. Сенько, А. С. Шагиняна, М. А. Журавкова, Б. М. Хрусталева, Е. А. Ровбы, А. В. Богдановича, П. С. Пойты, В. И. Драгана, Д. Г. Медведева) курсы «Основы трибофатики» и «Фундаментальные и прикладные задачи трибофатики», для которых создано полное научнометодическое обеспечение. основополагающие работы по трибофатике выполнены, в частности, в рамках нескольких государственных научно-исследовательских программ («Приоритет», «Машиностроение», «Надежность», «Механика» и др.), организаторами и научными руководителями которых были М. С. Высоцкий, П. А. Витязь, О. В. Берестнев, В. А. Марченко, А. В. Кухарев, Л. А. Сосновский и др.

Трибофатика создавалась на стыке таких хорошо разработанных научных дисциплин, как теория механической усталости, трибология, теория надежности механических систем, материаловедение, теория коррозии. Поэтому при ее создании широко используются методы и достижения механики деформируемого твердого тела, прикладной механики (механики материалов и конструкций), механики поврежденности, механики контактного взаимодействия, теории упругости, механики сплошной среды, динамики механических систем и др. Естественно, что обобщенные методы и результаты, полученные в трибофатике, оказались полезными и обогащают соответствующие классические разделы механики.

Дано развитие традиционной *механики деформируемого твердого тела*: исследуются механические состояния не отдельного нагруженного тела, а движущейся и деформируемой системы как целого, состоящего из двух взаимодействующих элементов; такие системы называют трибофатическими. Разработаны (совместно с К. В. Фроловым, М. С. Высоцким, Н. А. Махутовым, В. Т. Троценко, М. А. Журавковым, П. А. Витязем и С. С. Щербаковым) методология и механико-математические модели комплексного изучения механических состояний такой системы и ее элементов; она включает последовательную постановку и решение обобщенных задач об их напряженно-деформированном состоянии, состояниях поврежденности и предельном состоянии. Выполнены исследования систем типа «ролик / вал, ролик / кольцо» и др. по такой методике. Дано общее решение задачи об объединенном напряженно-деформированном состоянии трибофатических систем, анализ которого приводит к двум заключениям:

а) изменение локального поля контактных напряжений (деформаций), когда на него накладывается поле напряжений

(деформаций), обусловленных объемным деформированием, по существу, представляет собой особый класс задач в *механике контактного взаимодействия*;

б) изучение поля напряжений (деформаций), обусловленных объемным деформированием, когда оно возмущается в локальной области, в которой одновременно возбуждается поле контактных напряжений (деформаций), по существу, представляет собой специальный раздел *теории упругости*.

Для инженерного решения указанных задач предложена гипотеза о разделении (в трибофатической системе) контактной нагрузки на собственно контактную и изгибную составляющие; уравнение равновесия записано в энергетической и феноменологической постановках; получено экспериментальное подтверждение гипотезы. В отличие от известных подходов, в рамках которых повреждаемость оценивается лишь в опасных точках поверхности либо опасном сечении деформируемых тел, дано общее решение задачи о состоянии объемной поврежденности. Тем самым открывается возможность прогнозирования зон возможного появления и развития первичного (начального) трещинообразования. В отличие от известных подходов, в рамках которых оценка предельного состояния материала выполняется, как правило, по одному критерию, разработана обобщенная энергетическая теория предельных состояний трибофатических систем, находящихся под воздействием объемных, фрикционной и термодинамической нагрузок и работающих в коррозионной среде. Она позволяет давать прогноз отказа элементов системы по разным критериям достижения предельного состояния (объемное разрушение – разделение на части; критическое поверхностное разрушение – предельный износ и др.). Разработана и реализована (совместно с Н. А. Махутовым, А. В. Богдановичем и С. А. Тюриным) методика построения материальной диаграммы предельных состояний; дана ее экспериментальная апробация. В отличие от известных подходов, в рамках которых характеристики трения (в паре трения) определяются лишь при действии контактной нагрузки, дано (совместно с С. С. Щербаковым) общее решение задачи о силе и коэффициенте трения в трибофатической системе, в основу которого положен анализ перемещений и деформаций в области контакта. Тем самым удается учесть влияние на изменение характеристик трения не только контактной нагрузки, но и деформаций, обусловленных неконтактными нагрузками. Показано, что сила трения в трибофатической системе является циклической (знакопостоянной либо знакопеременной – в зависимости от условий нагружения) и не совпадает по направлению с обычной силой трения в аналогичной паре трения. А значение коэффициента трения может регулироваться за счет изменения величины и знака циклических напряжений до $\pm(30-70)\%$ и более.

В *механике поврежденности* предложил обобщенное представление о повреждении: это всякое изменение состава, строения, размеров, массы, объема, сплошности и, следовательно, механо-физико-химических свойств материала; разрушение (в традиционном понимании) трактуется как один из видов повреждения (критического повреждения). Численно обобщенное повреждение может характеризоваться любым числом в интервале $0 \leq \omega \leq \infty$; при этом, если $\omega \rightarrow \infty$, то это значит, что характерный размер продуктов распада тела $d_\omega \rightarrow 0$, т. е. происходит его разложение на сколь угодно малые частицы, атомы и т. д. В общем плане рассматриваются два принципиально разных типа состояний поврежденности: докритическое (традиционное понимание: $0 \leq \omega \leq 1$) и закритическое – разделение тела на большое число (множество) частей: $1 < \omega \rightarrow \infty$. В *механике контактного взаимодействия* и в трибофатике предложено (совместно с М. А. Журавковым и С. С. Щербаковым) несколько видов мер объемной поврежденности при статическом и динамическом нагружении и дана их классификация по характеру напряженно-деформированного состояния (компонентная, октаэдрическая, девиаторная, тензорная, энергетическая и др.). Предложена методика оценки параметров асимметрии процессов повреждаемости; их анализ позволяет описать соотношение механического и теплового либо силового и фрикционного повреждений элементов трибофатической системы в заданных условиях эксплуатации (испытаний). Дано развитие *механики локального повреждения* на базе разработанных (совместно с О. М. Еловым, А. В. Богдановичем, В. В. Комисса-

ровым, С. С. Щербаковым) экспериментальных и теоретических методов исследования. Разработана и реализована методика измерения и анализа локального износа и локальных деформаций на дорожке трения систем при главном вращательном движении за каждый оборот вала (до 64 точек измерения) в течение всего времени испытаний (10^7 циклов нагружения). Предложены процедуры построения диаграмм локального износа, локальной деформации и кривой усталости по критерию локального повреждения. В основу механо-математической модели положен анализ пересечений и объединений опасных объемов, обусловленных всеми компонентами тензоров напряжений (при действии контактной и внеконтактной нагрузок).

В *механике сплошной среды* поставлена и решена задача о влиянии пристеночного трения и геометрических неоднородностей канала при движении турбулентного потока жидкости на изменение напряженно-деформированного состояния трубы. Формулируется (совместно с М. А. Журавковым и С. С. Щербаковым) модель о взаимодействиях сплошных сред и ищутся определяющие соотношения их состояний.

В области *динамики механических систем* обнаружил и аналитически описал (совместно с С. С. Щербаковым) явление тропки – образование нерегулярных остаточных поверхностных волнообразных повреждений в результате нестационарного процесса циклического упругопластического деформирования в зоне контактного взаимодействия при трении качения (сюрприз S5 в трибофатике). Это явление реально наблюдается в определенных условиях движения экипажей (поездов, трамваев) по рельсам. Оно воспроизведено (совместно с С. А. Тюриным) в лабораторных условиях при испытании малоразмерных моделей системы колесо/рельс; изучены его основные закономерности. Поставил и обосновал содержание задачи оптимизации динамической системы и указал *tf*-каналы (трибофатические) управления ее ресурсом. Применительно к движущимся и деформируемым системам твердое тело/твердое тело обнаружил эффект взаимообусловленности процессов движения, информации и повреждения (сюрприз S6: трибофатическая триада); аналитическое описание дано совместно с О. Т. Вавиловым. Согласно этому эффекту, движение порождает новую информацию в системе, если индекс ее повреждаемости – ненулевой. Информация будет положительной, когда система упрочняется, и отрицательной, когда она разупрочняется. В результате сформулировал общие принципы и дал алгоритм автоматического управления системой с элементами разума.

В области *механической усталости* разработал (с участием В. Т. Трошенко) статистическую теорию усталостного разрушения при произвольном напряженном состоянии, достоинством которой является возможность расчета сопротивления усталости деталей машин одновременно по трем критериям: вероятности усталостного разрушения, эквивалентному напряжению и коэффициенту запаса прочности; оценка последних дается в вероятностном аспекте. Предложено условие статистической эквивалентности различных напряженных состояний, не зависящее от соотношения главных напряжений: сложное напряженное состояние тела эквивалентно однородному или неоднородному линейному напряженному состоянию того же тела или тела других размеров и формы, если вероятности их разрушения за одинаковый срок службы равны. Введено представление о функции эквивалентного напряжения, которая прогнозирует такую же вероятность разрушения, что и заданные величины главных напряжений; ее предельная поверхность при заданной вероятности усталостного разрушения может интерпретироваться кубом, эллипсоидом (частные случаи) и другими поверхностями высших порядков. Дана методика расчета критического значения коэффициента запаса, которое разделяет опасную и безопасную (по вероятности повреждения) области напряжений. Обоснована и апробирована модель объединения частных вероятностей повреждения усталостными трещинами при соответствующих линейных напряженных состояниях в оценку вероятности повреждения при произвольном сложном напряженном состоянии. Введено представление о детерминанте (тензоре) вероятностей усталостного разрушения от главных напряжений, инварианты которого аналогичны инвариантам тензора напряжений. Предложена процедура и дан сравнительный анализ опасности различных напряженных состояний по вероятности разрушения.

Получены критерии сопротивления усталости для типичных случаев линейного и двухосного напряженных состояний; расчетные формулы для оценки вероятности усталостного разрушения, эквивалентного напряжения и коэффициента запаса получены с учетом влияния многих факторов (свойства материалов, размеры и форма деталей, состояние поверхности и др.). Аналитически построена функция распределения пределов выносливости деталей с учетом влияния на сопротивление усталости комплекса конструкционных, технологических и эксплуатационных факторов; показано, что она имеет приемлемую погрешность. Разработал статистическую модель деформируемого твердого тела с опасным объемом (модель ТОПО), которая была положена в основу объединенной теории масштабного эффекта в сопротивлении усталости (с учетом влияния определяющих факторов – температуры, состояния поверхности и др.) и на которой базируется предложенный им критерий подобия усталостного разрушения. Для условий сложного напряженного состояния ввел представление о тензоре повреждений второго ранга, компонентами которого являются либо абсолютная (опасный объем), либо относительная (относительный опасный объем) меры поврежденности. Сформулирована и в первом приближении решена задача оптимизации по критериям сопротивления усталости с учетом экономической и иной ответственности деталей. Предложена кинетическая функция накопления повреждений, применимая для циклически стабильных, упрочняющихся и разупрочняющихся материалов, а также материалов со сложным поведением во времени. На её базе построены (совместно с А. В. Богдановичем и Н. А. Махутовым) степенные модели и получены формулы для расчета долговечности при регулярном и блочном режимах нагружения. Предложены уравнения кривой усталости с учетом процессов повреждаемости, развивающихся во времени по экспоненциальному либо степенному закону. Создан и опубликован (совместно с В. Т. Трошенко) согласованный с Государственной службой справочных данных банк основных характеристик сопротивления усталости металлов и конструктивных элементов с учетом влияния основных факторов, влияющих на их усталостное разрушение (содержит более 10 000 значений для более 400 марок металлов и сплавов).

В области *механики трещин* разработал одну из концепций циклической вязкости разрушения, которая применима к пластичным материалам, поскольку базируется на предложенной им же поправке на пластичность. Последнюю используют при построении (совместно с А. В. Богдановичем) диаграммы циклического упругопластического разрушения образца с трещиной в координатах коэффициент интенсивности напряжений – поперечная составляющая пластической деформации (остаточная утяжка поперечного сечения) – диаграммы ЦУПРОТ. По диаграмме ЦУПРОТ устанавливают несколько характеристик циклической трещиностойкости для пластичных сталей. В инженерных приложениях эта диаграмма, будучи простой и ясной, имеет такое же значение, как и диаграмма растяжения. Предложена (совместно с А. В. Богдановичем) процедура преобразования подобия и – на ее основе – методика построения обобщенной диаграммы ЦУПРОТ для образцов различных типоразмеров. При малоцикловом нагружении установлены (совместно с И. В. Кудрявцевым) основные закономерности перераспределения остаточной деформации в связи с движением трещины и формированием зоны с предельной утяжкой опасного сечения. На стадии развития магистральной усталостной трещины предложены инженерные формулы для расчета живучести объектов и (совместно с А. В. Богдановичем и А. М. Бордовским) модель для прогнозирования ресурса нефтепроводных труб при наличии трещиноподобных дефектов. Экспериментально установлено (совместно с И. В. Кудрявцевым), что при циклическом упругопластическом деформировании из области трещинообразования выкалываются и удаляются микро- и макрочастицы металла; дана их классификация (по форме и размерам). Изучено (совместно с А. В. Богдановичем и др.) влияние радиационного облучения на трещиностойкость нержавеющей стали. Показано, что после 100 тыс. часов эксплуатации (в условиях первого контура главного циркуляционного трубопровода АЭС) трещины стравиваются при нагрузках примерно вдвое меньших, чем это требуется для материала в исходном состоянии, при этом они растут со скоростью в 6–7 раз большей, чем в материале до облучения,

поскольку его деформационная способность уменьшается на 15–25 %.

В области *механики трения и износа* (трибологии) установил энергетический аналог закона трения: соотношение фрикционной и контактной энергий деформации есть величина постоянная, равная энергетическому параметру трения; дана методика оценки этого параметра. Сформулировал (совместно с С. С. Щербаковым и В. В. Комиссаровым) закон трения в трибофатической системе: обобщенная сила трения пропорциональна как контактной, так и внеконтактной нагрузке; выполнена его экспериментальная проверка. Показано, что коэффициент трения представляется в виде линейной зависимости обычного коэффициента трения (в паре трения) и индекса трения в трибофатической системе, который определяется соотношением амплитуды циклических напряжений и контактного давления. Теоретически и экспериментально (с участием Н. А. Махутова) показал, что в общем случае может быть построена (по критерию предельного износа) полная кривая фрикционной усталости, которая имеет характерные участки, аналогичные соответствующим участкам полной кривой механической усталости; переходы от одного к другому участку обусловлены сменой механизмов изнашивания; уравнения участков оказываются едиными по форме, но различаются численными величинами управляющих параметров. На основе этих результатов предложено условие износостойкости (подобное условию прочности в сопротивлении материалов), использование которого позволяет сформулировать требования к коэффициенту трения для обеспечения заданной износостойкости. Показана применимость и эффективность модели ТОПО и критерия подобия к анализу повреждаемости и предельного состояния при трении; дана обобщенная формула для расчета интенсивности изнашивания (либо износа). Разработана (совместно с В. В. Комиссаровым) непротиворечивая теория масштабного эффекта при трении качения, согласно которой сопротивление контактной усталости тем меньше, чем больше опасный объем, определяемый по критерию интенсивности напряжений. Предложена феноменологическая модель изменения параметра трения при масштабном переходе от макро- к наноуровню (и обратно); этот параметр является функцией физической шероховатости поверхности и включает в себя деформационную и молекулярную составляющие, сумма которых постоянна (равна единице); дан анализ возможных путей указанного перехода, определяемых физико-механическими свойствами материалов, из которых изготовлены элементы системы. Построена модифицированная кривая Герси-Штрибека-Сосновского и разработана модель кинематического трения (при движении), в которой отражено влияние на изменение коэффициента трения не только обычных параметров (контактная нагрузка, скорость трения, динамическая вязкость смазочного материала), но и параметров взаимодействия необратимых повреждений, обусловленных действием нагрузок разной природы (поверхностная, объемная, термодинамическая); дан анализ модели. Установлен и исследован эффект (Сосновского-Комаровых) локального пластифицирования высокопрочной стали в определенных условиях трения качения; при трении скольжения для металл/полимерной пары найдены условия переноса полимера на сталь либо стали на полимер. Дана на основе широких экспериментальных исследований (совместно с А. В. Марченко) классификация типов кинетических кривых изнашивания в связи с изменением условий трения в широком временном интервале (до 80 млн циклов нагружения). Предложен параметр Роско-Рейбиндера, который численно характеризует соотношение процессов упрочнения-разупрочнения при трении. Совместно с В. В. Комиссаровым, В. В. Воробьевым и А. А. Кебиковым экспериментально установил основные закономерности влияния циклических напряжений сжатия либо растяжения, возбуждаемых в зоне трения, на изменение износа, сближения осей и коэффициента трения. В общем плане показано, что изучение обратного эффекта по существу открывает путь к построению «параллельной» трибологии, в которой известные закономерности процессов трения и изнашивания корректируются учетом влияния объемных (внеконтактных) нагрузок.

В *теории вероятностей* предложил одномерную L -функцию распределения случайных величин в интервале значений $(0; 1)$, которая не сводится ни к какому известному закону распределения; нашла применение в *механике повреждений*.

Ввел p -статистику в форме соотношения вероятностей противоположных событий, которая оказалась полезной в приложениях (технические и гуманитарные науки). В *теории надежности механических систем* установил двумерную S -функцию распределения предельных напряжений при изгибе и контактом нагружения, на основе которой разработал модель расчета вероятности отказа систем при комплексном нагружении; дал систематизацию обобщенных условий надежности. Применительно к условиям и степени поврежденности трибофатических систем в закритической области ввел представление о достоверной вероятности отказа, численные значения которой заключены в интервале $(1; \infty)$ – это так называемые трибофатические вероятности. Разработал концепцию L -риска и S_p -безопасности; она базируется на обобщенном понятии риска как доли «плохого в хорошем» (или p -статистике); эта концепция оказалась эффективной для анализа и прогнозирования безопасности систем ответственного назначения по критериям усталостного разрушения и износа. Совместно с В. А. Жмайликом предложен и реализован подход КРН (качество-риск-надежность) для прогнозирования работоспособности трибофатических систем. Введены три взаимосвязанных показателя (качества; нарушения качества; риска), для которых установлены и нормируются три категории (высшая, первая, вторая). Разработана методика построения оперативной характеристики и круговых диаграмм риска. Установлена связь вероятности эксплуатационного повреждения деталей с показателями риска и качества для ее материалов.

В *прикладной механике (механике материалов и конструкций)* разработал (совместно с К. В. Фроловым, М. С. Высоцким, В. Т. Трошенко и Н. А. Махутовым) принципы проектирования трибофатических систем по критериям прочности и износостойкости; надежности, риска и безопасности; долговечности. Реализация этих принципов позволяет ставить и решать следующие основные задачи: определение требуемых размеров элементов трибофатических систем и площади их контакта; выбор материалов для их изготовления; определение требуемой величины коэффициента трения для обеспечения заданной эксплуатационной износостойкости системы; прогнозирование долговечности и надежности по критериям сопротивления усталости и интенсивности изнашивания; оценка риска (безопасности) эксплуатации. Принципы проектирования базируются на обобщенной энергетической теории предельных состояний трибофатических систем, варианты которой разработаны совместно с А. В. Богдановичем, С. С. Щербачевым и Н. А. Махутовым. При этом поставлены и в практическом плане решены следующие задачи: о выделении из полной (подведенной к системе) энергии той ее эффективной части, которая расходуется на генерирование и развитие необратимых повреждений; об обосновании предельной характеристики эффективной энергии, которая не зависит ни от способа нагружения, ни от механизмов повреждения; о расчетной оценке функции λ -взаимодействий в трибофатической системе; разработана методика учета коррозии под напряжением, коррозии трения и температурной коррозии при оценке предельного состояния такой системы. В частном случае построена (совместно с В. В. Воробьевым и А. А. Костюченко) инженерная модель коррозионно-механической прочности; общая закономерность такова: произведение действующего нормального напряжения на функцию скорости коррозии есть величина постоянная для данного материала в разнообразных условиях нагружения. Разработана методика расчета долговечности в условиях коррозионного воздействия, если известны параметры кривой усталости в воздухе. Методы прогнозирования долговечности при нерегулярном нагружении, разработанные совместно с А. В. Богдановичем и Н. А. Махутовым, базируются на теории кривой усталости и гипотезе накопления износоусталостных повреждений, которая учитывает процессы циклического упрочнения-разупрочнения.

В *экспериментальной механике* разработал (совместно с М. С. Высоцким, Н. А. Махутовым, А. В. Богдановичем, В. А. Жмайликом, В. И. Сенько, О. М. Еловым, А. М. Бордовским, С. А. Тюриным, В. В. Воробьевым, В. А. Андрияшиным и др.) инновационные методы износоусталостных испытаний (в том числе ускоренных). Они базируются на моделировании определяющих условий работы реальных конструкций, узлов трения и трибофатических систем и реализуются на единых типах размерах испытываемых элементов. Это позволяет обеспечить

сопоставимость результатов испытаний, проведенных при различных условиях нагружения, и резко сократить их объемы. Так, применительно к механизмам движения сельскохозяйственных комбайнов было показано: 125 узлов, подлежащих испытаниям (размеры их элементов варьируются от 10 до 1500 мм), сводятся к 4 типичным моделям. Совместно с В. И. Сенько, В. А. Жмайликом, В. В. Комиссаровым, В. В. Воробьевым, С. А. Тюриным выполнено моделирование таких систем, как колесо/рельс, зубчатые зацепления, поток жидкости под давлением/труба и др. Как правило, в результате испытаний в лабораторных условиях воспроизводятся основные типы эксплуатационных повреждений соответствующих объектов, что подтверждает корректность методик испытаний. Основные методы испытаний доведены до стандартного исполнения (разработано 5 государственных стандартов); обеспечена возможность экспериментального получения характеристик сопротивления усталости, трения и изнашивания, комплексного износоусталостного повреждения и разрушения, используемых в расчетной практике. Для реализации разработанных методов создан (совместно с Н. Л. Индманом, Г. П. Ожигаром, М. С. Высоцким, О. М. Еловым, А. В. Богдановичем, Н. А. Махутовым, В. А. Шуриновым, В. В. Комиссаровым, В. О. Замятиным, С. А. Тюриным, С. А. Гоманом, В. Н. Шкарубо, О. Д. Жолудем и др.) особый класс испытательного оборудования, построенного на ряде изобретений. К настоящему времени разработано 11 модификаций машин серии СИ для износоусталостных испытаний. Эти машины (настольного исполнения) построены по блочно-модульному принципу, имеют широкие диапазоны варьирования нагрузок (изгибающих и контактных) и частоты испытаний, оснащены информационно-управляющей системой с программным обеспечением (на базе ПЭВМ); процессы испытаний, измерений и обработки данных автоматизированы. Разработана (совместно с В. А. Жмайликом) концепция испытаний сельскохозяйственных машин на стадии производства, на базе которой решаются задачи обеспечения их требуемого качества по характеристикам прочностной и трибофатической надежности с целью снижения риска повреждения в эксплуатации; она предусматривает 7 уровней испытания на 3-масштабных ступенях (механические свойства материалов; ресурсные свойства узлов, трибофатических систем, агрегатов; эксплуатационные свойства машины). Проведен (совместно с В. В. Воробьевым) уникальный статистический эксперимент по изучению процесса нагруженности труб линейной части нефтепровода «Дружба» при штатной эксплуатации в течение 8 лет; в результате анализа более 400 000 значений давления установлено, что система труба/поток нефти под давлением является трибофатической и работает в условиях низкочастотной многоциклового усталости, определены параметры процесса нагруженности. Это явилось исходной предпосылкой для разработки и внедрения (совместно с А. М. Бордовским) комплекса методов подержания и частичного восстановления работоспособности нефтепровода (диаметр труб 600 мм) после амортизационного срока эксплуатации, что позволило повысить его производительность (за счет увеличения давления на ~5 %) и обеспечить практическую безаварийную работу в течение 9 лет; эксплуатация нефтепровода продолжается. Разработаны (совместно с А. М. Бордовским) метод и технология гидравлического испытания натурного участка (протяженностью 16 км) нефтепровода, эксплуатируемого после амортизационного срока, внутренним (повышенным на 25 % сверх рабочего) давлением. Экспериментально установлено, что в результате упругопластического деформирования металла при гидротестированиях происходит существенное восстановление сопротивления усталостному разрушению труб: предел выносливости основного металла восстанавливается до уровня ~90 % исходного состояния, а сварных соединений – практически до 100 %. Разработана (совместно с В. В. Воробьевым, А. А. Костюченко и А. Н. Козиком) методика и технология сравнительных испытаний до разрушения натуральных длинноразмерных труб (длина превышает диаметр более чем в 10 раз) с коррозионными повреждениями и без них методом ступенчатого повышения давления. Результаты испытаний показали, что после длительной эксплуатации в условиях подводных переходов опасными оказываются не околошовные зоны продольных сварных соединений труб, а зоны с локальными коррозионными повреждениями основного металла. Поэтому прогнозирование их остаточной долговечности ведется по критерию сопротивления коррозионно-механической усталости. Установлены (совместно с

В. В. Воробьевым и Н. В. Коваленко) закономерности деформирования натуральных труб с локальными коррозионными повреждениями: при малых давлениях в некоторых зонах обнаруживается сжатие (а не ожидаемое растяжение); при давлениях, соответствующих пределу текучести материала, возникает резкая локализация деформаций (они в 3–8 раз больше величины общей деформации). С учетом полученных экспериментальных данных разработаны и внедрены методы и технологии восстановления прочностной надежности материалов подводных переходов нефтепровода «Дружба». Обнаружен парадокс (Сосновского-Комиссарова-Щербакова) результатов испытания системы ролик (диаметр 100 мм)/вал (диаметр 10 мм) при консольном изгибе с вращением (в процессе контактного нагружения): хотя путь трения при достижении предельного состояния является одинаковым для ролика и вала, но оказалось, что средняя радиальная остаточная деформация ролика в 3–5 раз (в зависимости от уровня нагрузки и долговечности) больше, чем вала, хотя число циклов нагружения ролика, напротив, в 10 раз меньше, чем вала; выполнен анализ этого парадокса.

В *материаловедении* для машиностроения разработана (совместно с А. А. Кебиковым и при участии В. В. Комиссарова) диаграмма механического состояния сталей, на которой отражены устойчивые корреляционные связи между основными характеристиками механических свойств материалов, определяемых при статическом, циклическом и контактном нагружениях: пределом прочности при растяжении, относительными удлинением и сужением при разрыве, твердостью, пределами выносливости при изгибе и трении качения (предел контактной усталости). Связь между сложными характеристиками разрушения элементов трибофатических систем и материалов устанавливается с учетом предложенного индекса сопротивления сталей контактной и механической усталости. Предложена и экспериментально обоснована (совместно с А. В. Богдановичем и С. А. Тюриным) систематизация характеристик износоусталостного повреждения и разрушения, разработана непротиворечивая система их обозначений. Используя комплекс характеристик сопротивления износоусталостному повреждению и разрушению в качестве оценочной системы служебных свойств такого ответственного объекта, как железнодорожный рельс, разработаны химический состав, технология плавки и термообработки (совместно и при участии В. А. Жмайлика, В. Н. Псыркова, В. А. Гапановича, В. В. Комиссарова, В. О. Замятнина и др.) высокопрочного чугуна с шаровидным графитом марки ВЧТГ. Чугун обнаруживает необычную диаграмму механических состояний: повышение прочности (в определенном интервале) ведет к росту пластичности. Поскольку основные показатели свойств этого чугуна по критериям изгибной и контактной усталости практически не уступают таковым для высокопрочной стали, предложена и реализована технология получения натуральных отрезков тяжелых рельсов типа Р65. Создание рельсов из высокопрочного чугуна взамен стали относится к перспективным и экономически эффективным работам в интересах железнодорожного транспорта. Из чугуна ВЧТГ изготовлена также опытная партия крупногабаритных (диаметром около 500 мм) зубчатых колес для бортового редуктора сельскохозяйственных комбайнов; первые натурные испытания прошли успешно. Путем проведения специальной термообработки чугуна ВЧТГ придают высокую режущую способность при ударно-циклических нагрузках. Из такого чугуна изготовлена опытная партия ножей измельчающих аппаратов кормоуборочных комбайнов. При эксплуатационных испытаниях такие ножи показали стойкость, сравнимую с импортными ножами, изготовленными из особой стали; стоимость чугунных ножей существенно ниже стальных. В физическом материаловедении предложена термомеханическая константа материала, которая характеризует потерю теоретической прочности, приходящуюся на 1 К; она установлена на базе известных физико-механических и термодинамических представлений о процессе разрушения.

В сфере *взаимодействия естественных, технических и гуманитарных наук* Л. А. Сосновский работает в трех направлениях, развиваемых на базе методологии и достижений трибофатики.

Первое направление: разработка (с участием С. С. Щербакова) основных положений *механотермодинамики систем* (сюрприз S9 в трибофатике). В основу ее положено представление о трибофатической энтропии (сюрприз S7), определяемой как мера необратимого поглощения (эффективной) энер-

гии в опасном объеме деформируемого (твердотельного) элемента механотермодинамической системы. Показано, что термодинамическая и трибофатическая энтропии не аддитивны, они взаимодействуют между собой сложным образом, определяя (формируя) А-эволюцию системы по поврежденности. На этом основании выдвигается постулат: степень поврежденности твердых тел может быть сколь угодно большой (вплоть до разложения на атомы и др.). По существу, это тезис о нескончаемости (во времени) эволюции, если принять во внимание, что продукты имеющего быть распада любой системы становятся строительным материалом для новых систем. Отсюда формулируется глобальное следствие: производство внутренней механотермодинамической энтропии так же вечно, как и движение и повреждение; это значит, что энтропия Вселенной возрастает. Данные представления не противоречат современным физическим воззрениям. Выдвигается и обоснован тезис о целевой функции А-эволюции: поддерживать необходимый баланс между риском повреждения и безопасностью систем, чтобы их существование во времени подчинялось золотым соотношениям. В общем плане формирование механотермодинамики систем как объединенной физической дисциплины базируется на двух началах: 1) повреждаемость всего сущего не имеет мыслимых границ и 2) потоки эффективной энергии (энтропии), обусловленные источниками разной природы, не суммируются – они диалектически взаимодействуют. Исследования в этом направлении развиваются с участием П. А. Витязя и С. С. Щербакова.

Второе направление связано с *биомеханикой* живых и разумных организмов. Оно базируется на фундаментальном понятии трибофатической жизни (сюрприз S8 в трибофатике) как особом способе накопления повреждений. Вводятся представления о поле жизни (повреждения – время) и поле судьбы (жизненные нагрузки – время). Разработаны модели основных типов жизни (генетической и реальной) и выполнен их анализ; показано, что смерть любого организма неизбежна вследствие неотвратимости достижения повреждениями предельной величины. Отсюда вытекает заключение: на самом деле есть только один верный способ продления жизни – уменьшение скорости накопления повреждений. Предложено восемь классов жизненных нагрузок (механические, энергетические, экологические, нравственно-психологические (эмоциональные), интеллектуальные и др.), которые в значительной мере определяют жизнь homo sapiens; предложена процедура их расчетно-экспериментальной оценки. Разработаны метод и модель учета форс-мажорных обстоятельств как ускорителей процесса накопления повреждений. Как правило, все анализы базируются на количественных оценках характерных параметров и управляющих функций. Дальнейшие исследования в этом направлении планируются с участием специалистов в биохимических и др. науках.

Третье направление: развитие количественных методов в *диалектике*. Основные законы (отрицание отрицания; единство и борьба противоположностей; переход количества в качество) формализованы в простейших уравнениях (формулах), которые поддаются сравнительно несложному численному анализу. И такой анализ не только не противоречит философским воззрениям, но и позволяет выявлять новые закономерности процессов развития. Это открыло пути для исследования таких явлений, как соотношение добра и зла в обществе людей, развитие болезней в регионах и др. Таким образом, трибофатическая методология оказывается полезной в гуманитарных науках – для целей конкретизации и численного анализа общественных явлений (эффект толпы, соотношение смуты и благополучия в государстве, изменение качества жизни и др.). Дальнейшее развитие этого направления связывается с привлечением к исследованиям ученых в области общественных (гуманитарных) наук.

Л. А. Сосновский – автор не только научных работ, но и стихов. Написанные в разное время, они отражают широкую мозаику чувств и мыслей автора, свидетельствуют о богатой душе самобытного, интересного человека. Во многих его произведениях живет философская мысль, что приглашает читателя к размышлениям.

Поздравляем профессора Л. А. Сосновского с семидеся-

типятилетием со дня рождения и желаем ему новых творческих успехов в науке.

Список литературы

1 *Слово о трибофатике* (посвящается 10-летию развития исследований по трибофатике и 60-летию профессора Л. А. Сосновского) / ред. А. В. Богданович. Авторы: В. И. Стражев, К. В. Фролов, М. С. Высоцкий, В. Т. Трошенко, Л. А. Сосновский, Н. А. Махутов, А. В. Кухарев, П. С. Грунтов, Э. И. Старовойтов, В. А. Марченко, В. Н. Корешков, В. А. Шуринов, Л. Р. Ботвина, Ю. Н. Дроздов, М. И. Горбачевич, В. Г. Павлов, Д. Г. Эфрос. – Гомель, Минск, Москва, Киев : Remisa, 1996. – 132 с.

2 *Сосновский, Леонид Адамович* / Кто есть кто в Республике Беларусь. Люди дела / под ред. И. В. Чекалова. – Мн. : Энциклопедикс, 1999. – 330 с.

3 *Сосновский, Л. А.* / Память : в 2 кн. – Мн. : БЕЛТА, 1999. – Кн. 2. – 380 с.

4 *Трибофатика* // Беларуская энцыклапедыя. – Мн. : Беларуская энцыклапедыя, 2002. – Т. 15. – С. 542.

5 *Сосновский, Л. А.* // Беларуская энцыклапедыя. – Мн. : Беларуская энцыклапедыя, 2002. – Т. 14. – С. 191.

6 *Богданович, А. В.* Трибофатика – это серьезно... // Профессора Белорусского государственного университета транспорта. – Гомель, 2003. – С. 227–235.

7 *О трибофатике* : материалы научного семинара, посвященного 20-летию развития исследований в области трибофатике и 70-летию профессора Л. А. Сосновского. Минск, 28 июля 2005 г. / Вступ. слово акад. М. С. Высоцкого; науч. ред. Л. Г. Красневский. – Минск : НИРУП «Белавотракторостроение», 2005. – 84 с.

8 *Кухарев, А. В.* К истории трибофатике: первые 20 лет // Тр. V Международного симпозиума по трибофатике (ISTF 2005), 3–7 октября 2005 г., Иркутск (Россия) / отв. ред. А. П. Хоменко. – Иркутск : Иркутский гос. ун-т путей сообщения, 2005. – Т. 1. – С. 7–14.

9 *Вошула, М.* Законы, сформулированные жизнью / М. Вошула // Наука и инновации. – 2006. – № 10. – С. 48–51.

10 *Леонид Адамович Сосновский* / С. С. Черняк. Металловеды. – Т. II. – Иркутск : ИрГУПС, 2009. – С. 436–437.

Основные книги, автором или соавтором которых является

Л. А. Сосновский

1 *Сосновский, Л. А.* Статистическая механика усталостного разрушения / Л. А. Сосновский. – Минск : Наука і тэхніка, 1987. – 288 с.

2 *Трошенко, В. Т.* Сопrotивление усталости металлов и сплавов / В. Т. Трошенко, Л. А. Сосновский : справ. : в 2 т. – Киев : Наукова думка, 1987. – Т. 1. – 510 с.; Т. 2. – 825 с.

3 Сопrotивление материалов деформированию и разрушению : справ. пособие : в 2 ч. / авт.: В. Т. Трошенко, А. Я. Красовский, В. В. Покровский, Л. А. Сосновский, В. А. Стрижало; под ред. В. Т. Трошенко. – Киев : Наукова думка, 1993. – Ч. 1. – 288 с.; Ч. 2. – 701 с.

4 *Сосновский, Л. А.* Механика усталостного разрушения : словарь-справ. в 2 т / Л. А. Сосновский. – Гомель : НПО ТРИБОФАТИКА, 1994. – Т. 1. – 328 с.; Т. 2. – 340 с.

5 *Сосновский, Л. А.* Элементы теории вероятностей, математической статистики и теории надежности : учеб. пособ. / Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 1994. – 147 с.

6 *Сосновский, Л. А.* Трибофатика: о диалектике жизни / Л. А. Сосновский. – Гомель : НПО «ТРИБОФАТИКА», 1999. – 116 с.

7 *Сосновский Л. А.* Теория накопления износоусталостных повреждений / Л. А. Сосновский, А. В. Богданович; под ред. Н. А. Махутова. – Гомель : НПО «ТРИБОФАТИКА», 2000. – 60 с.

8 *Сосновский, Л. А.* Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин / Л. А. Сосновский, Н. А. Махутов. – Москва–Гомель : ФЦНТП "Безопасность"; НПО "ТРИБОФАТИКА", 2000. – 304 с.

9 Износоусталостные повреждения и их прогнозирование (трибофатика) / Л. А. Сосновский [и др.]. – Гомель – Киев – Москва – Ухань, 2001. – 170 с.

10 *Сосновский, Л. А.* Основы трибофатике : учеб. пособие для студ. технических высших учебных заведений / Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2003. – Т. 1. – 246 с., – Т. 2. – 234 с.

11 *Сосновский, Л. А.* L-риск (механотермодинамика необратимых повреждений) / Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2004. – 317 с.

12 *Сенько, В. И.* Основные идеи трибофатике и их изучение в техническом университете / В. И. Сенько, Л. А. Сосновский. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 187 с.

13 *Сосновский, Л. А.* Сюрпризы трибофатике / Л. А. Сосновский, С. С. Щербаков. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 192 с.

14 *Sosnovskiy, L. A.* Tribo-Fatigue. Wear-fatigue damage and its prediction (Foundations of engineering mechanics). Series: Foundations of Engineering Mechanics. – Springer, 2005. – 424 p.

15 *Сосновский, Л. А.* Механика износоусталостного повреждения. – Гомель : БелГУТ, 2007. – 434 с.

16 *Sosnovskiy, L. A.* Surprises of Tribo-Fatigue / L. A. Sosnovskiy, S. S. Sherbakov. – Magic book, 2009. – 200 p.

17 *Сосновский, Л. А.* Россыпь чувств : стихи / Л. А. Сосновский. – Гомель : ОАО «Полеспечать», 2008. – 208 с.

18 *Сосновский, Л. А.* Обнимаю любовью зарю: стихи / Л. А. Сосновский. – Минск, 2010. – 104 с.

П. А. Витязь

Академик НАН Беларуси, академик Международной АН Евразии, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки БССР, первый заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси

М. С. Высоцкий

Академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор, Герой Беларуси, лауреат Государственных премий СССР и БССР, Заслуженный деятель науки и техники БССР, Заслуженный работник промышленности СССР, генеральный директор ОИМ НАН Беларуси

В. А. Жмайлик

Кандидат технических наук, Заслуженный работник промышленности Республики Беларусь, лауреат Государственной премии Республики Беларусь, генеральный директор ПО «ГОМ-СЕЛЬМАШ»