

МНОГОМЕРНЫЕ ВЕКТОРНО-ФАЗОВЫЕ АТТРАКТОРЫ ГОМЕОСТАЗА СОСТОЯНИЙ УПРУГИХ СИСТЕМ

Анатолий Алексеевич Сперанский,

вице-президент Российской инженерной академии, директор Института наукоемких инженерных технологий, руководитель Рабочей группы "Технологическая безопасность" Экспертного совета председателя Коллегии ВПК при Президенте РФ, DExpert, профессор, академик РИА, руководитель Национальной исследовательской лаборатории ресурсных испытаний

На основе фундаментального научного базиса механики упругих сплошных сред предложен новый креативный инструмент наблюдения, оценки и прогноза напряженно-деформированных состояний объектов механических систем.

On the basis of scientific fundamentals of mechanics in elastic continuous media there has been proposed a new creative instrument of observation, assessment and forecast of stress-and-strain behavior of objects in mechanical systems.

Ключевые слова: фазовое пространство, годограф, аттрактор, энергия состояния.

Keywords: phase space, hodograph, attractor, energy of state.

"...Проблема организации научного мониторинга, стратегического управления рисками, прогноза и предупреждения кризисных явлений может стать национальной сверхзадачей. По масштабу и важности она сравнима с разработкой стратегических вооружений и космическими программами, от которых в своё время зависело будущее великих держав".

Из аналитического обзора Совета Безопасности РФ

Глобальная угроза земной цивилизации

Как и предсказывали государства-участники "Римского клуба" еще в 1964 году, общество XXI века стало свидетелем и заложником глобальной технологической угрозы - ускоряющимися темпами прогрессируют проблемы, обусловленные антропогенной деятельностью Человека [1].

Техногенные, а правильнее сказать, экотехнологические катастрофы (ЭТК) занимают одно из ведущих мест по количеству человеческих жертв и представляют наибольшую опасность Социуму. По статистике международного *Center for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), общий ущерб от ЭТК в прошлом веке оценивается в \$14,7 млрд за сто лет. В 2001 году ущерб от ЭТК составил \$144 млн, после чего наблюдается взрывной рост - мировые экономические потери в 2009 г. составили \$63 млрд, а в 2010 г. \$222 млрд при количестве погибших более 260 тыс. человек [2]. Среднегодовые потери только японской экономики от ЭТК в начале текущего столетия оцениваются в \$66,7 млрд. Консалтинговая фирма *Risk Management Solution* информирует, что с 2003 г. доля ЭТК существенно превосходит объемы природных катастроф при стабильном росте смертности. Научные аналитики считают главными четыре причины глобально нарастающей угрозы:

- потребительская стратегия общества, фактически понизившая ответственность бизнеса в сфере производственно-эксплуатационной безопасности сложных объектов и систем;

- энтропийный хаос в научно-технологической сфере как следствие мирового системного кризиса экономик, тормозящего фундаментальные и прикладные исследования для опережающего развития интеллектуальных систем прогнозтики и предотвращения ЭТК;

- сложившаяся в мире жесткая конкуренция и активное научно-технологическое противостояние постоянно ускоряет воспроизводство уникальных новационных достижений в виде сложных инженерно-технических объектов и систем, которые вследствие дефицита временных, финансовых, материальных и технологических ресурсов несут потенциальные техно-патогенные угрозы, связанные с их непредсказуемым функционированием;

- равнодушие, консерватизм и низкая компетентность исчезающей научно-технологической элиты, мотивированной менеджментом на легкодоступные и "экономически выгодные" решения,

существенно отстающие от представленных выше темпов роста глобальных угроз.

По аналитическим прогнозам МЧС в обозримом будущем рост негативного влияния ЭТК на экономику приведет к затратам от 1,5 до 4,5 % валового национального продукта, что превышает суммарные расходы на здравоохранение и охрану окружающей среды. К примеру, аварии на трубопроводах, загрязняя значительные территории, ведут к потере от 7 до 20 % транспортируемой нефти в объеме от 10 до 68 млн тонн ежегодно. Такова цена социальной безответственности и научно-технологической инфантильности, и подобными примерами изобилует множество инженерных практик.

Устойчивая деградация привела к тому, что в экономиках отсутствуют действенные инструменты эффективного регулирования и поддержания баланса общественных потребностей и научно-технологических возможностей при решении проблем, особенно в сфере экотехнологической безопасности. Проблемы техногенных и экотехнологических опасностей имеют глобальный системный характер, а их последствия наносят неисчислимы бедствия, материальные, финансовые, экологические и людские потери. Из приведенного анализа следует, что **невозможно добиться экономического роста и устойчивого развития без эффективных мер по предотвращению ЭТК, обусловленных антропогенной деятельностью человека.**

Вывод: для устранения глобальной угрозы ЭТК необходимо решить проблемы:

- а) *научного изучения теории*, факторов и причин опасных эксплуатационных режимов, процессов и состояний конструктивных материалов объектов упругих систем;

- б) *научно-методического обеспечения адекватного наблюдения*, оперативной ранней диагностики патологий и формирования объективно достоверного прогноза гомеостаза;

- в) *создания интеллектуальных инструментов ресурсного техногенеза*, раннего предупреждения и эффективного предотвращения патологических состояний и потерь.

Фундаментальным подходам к решению первой из указанных проблем посвящена работа автора [3], получившая многочисленные подтверждения в исследовательских авиационных приложениях и одобрительный интерес механиков-прочнистов.

Инструменты наблюдения в технологических укладах

В механике упругих систем фундаментальной научной основой наблюдения напряжённо-деформированных состояний (НДС) являются основополагающие законы теоретической механики, основные постулаты механики сплошных сред, системно-информационный подход и тензорный аппарат анализа причинно-следственной трансформации массово-энергетических диагностических параметров текущих состояний. Несмотря на такой обширный научный базис XVIII века, инженеры-механики более трех столетий наблюдали виброакустические состояния объектов механических систем путем статистической оценки усредненных скалярных (1D-моноскопических) измерений диагностических параметров в направлениях установки их измерительных осей. Независимо от физических методов преобразования виброакустических колебаний (пьезоэффект, емкостной, индукционный, резистивный и т.д.), физической сути и топологии измеряемых параметров (вибросмещение, виброскорость, виброускорение), все традиционно применяемые в механике измерительные средства являются скалярными, в большинстве случаев, с инерционными чувствительными элементами.

Из научного базиса следует, что все наблюдаемые спектральные колебательные процессы природного синтеза состояний в сплошных и упругих средах существенно пространственные и системно связаны во времени, являются амплитудно-фазо-частотными (АФЧ) и соответствуют векторно-фазовой 4D-мерности, а метрологические инструменты первых пяти технологических укладов являются амплитудно-частотными (АЧ), усредняющими измерения во времени и соответствуют скалярной 1D-мерности. Различие в мерности и усреднение временных измерений среднеквадратическими методами (СКЗ), устраняющими проблему инерционности как метрологических средств, так и объектов наблюдения, существенно снижают информативность скалярных измерений, в разы искажая достоверность диагностики [4].

При этом следует иметь ввиду, что любой технологический уклад, особенно метрологический, имеет конкретный реально достижимый предел физической применимости. Как следует из теории технологически укладов, метрологическая скалярная парадигма первых четырех укладов вызывает обоснованное сомнение в перспективности усредненных 1D-измерений и статистических оценок состояний [5]. Неадекватность природному синтезу и низкая информативность виброакустических скалярных измерений привела к тому, что технологический хаос с каждым годом углубляется и превратился в реальную антропогенную угрозу, ощутил деформирующую экономику. Поэтому, начиная с пятого технологического уклада, заметно повысился интерес метрологической общественности к освоению новых физических методов пространственного мониторинга природной мерности с компьютерной реконструкцией текущих (real-time) ресурсных состояний механических систем.

Вывод: с уверенностью можно утверждать, что "физический предел" скалярных измерений породил углубляющийся информационный кризис в сфере экотехнологической безопасности.

О мерности наблюдения состояний

Одним из первых механиков, обративших внимание на недостоверность скалярных измерений, был выдающийся русский ученый-гидроакустик академик А.Н. Крылов, обосновавший идею повышения мерности и временной связанности измерений механических колебаний. Он утверждал, что поскольку энергетические колебательные процессы природного синтеза состояний в механических системах имеют пространственно-временной характер, то для их объективного наблюдения и последующего адекватного анализа необходимо стремиться к мерности измерений, соответствующей мерности собственно наблюдаемых физических процессов или явлений. Этому научно обоснованному подходу соответствует пространственно-временная 4D-мерность земной цивилизации.

Лидеры мировой метрологической индустрии подхватили



Рис. 1 Причинно-следственная модель возникновения линейных упругих состояний



Рис. 2 Причинно-следственная модель упругого объемного (тензорного) сопротивления материала



Рис. 3 Причинно-следственная модель нелинейных воздействий на упругие состояния

идею русского ученого и более 40 лет производят серийно трехкомпонентные вибропреобразователи, монополизировав международный рынок прецизионных инструментов механических измерений. В первую очередь это компании APC, Endevco, Beantly Nevada, Dygital в США и Bruel&Kjaer, Kistler, LMS, Alstom в Евросоюзе. Все они и их технологические последователи демонстрируют неоспоримое стремление к повышению мерности измерений путем ортогонального размещения в общем корпусе трех скалярных 1D-датчиков. Возникающие при таком подходе принципиальные метрологические недостатки устраняются также по "рецепту" А.Н. Крылова путем применения ортонормализаторов. Безусловно, увеличение мерности существенно повышает достоверность измерений, но вместе с тем, современные инструменты вибромониторинга не обеспечивают ожидаемого обществом уровня эффективности виброакустической диагностики.

Подтверждением этого являются достоверные свидетельства дальнейшего стремления к повышению мерности измерений.

Например, компания Snesta, являющаяся одной из мировых лидеров в области авиационного моторостроения, запатентовала конструкцию многомерного 5D-сенсора с тензорно-матричной обработкой измерений через систему уравнений 68-й степени (патент EP 2 034 275 A1). Метрологическая идея в смысле практических приложений несовершенна и даже абсурдна, но подтверждает стремление авторитетной компании к новому уровню адекватности измерений собственно наблюдаемым процессам и состояниям. Впервые примененный в патенте термин "букет" свидетельствует о том, что разработчик предполагает "structural - структурный" анализ спектра пространственных колебаний.

Мировой лидер в области информационных технологий (IT) компания Hewlett-Packard (HP) разработала и запатентовала технологическую линейку сверхминиатюрных микро электромеханических систем (MEMS) на основе электронных измерительных микрочипов. MEMS являются 1D-сенсорами для преобразования различных диагностических параметров (давление, деформации, температура и т.д.) в измеряемый сигнал. Примером массовых приложений MEMS-технологии является объявленный HP транснациональный проект "Центральная нервная система Земли" (Central Nervous System for the Earth - CeNSE). Целью проекта является создание глобальной системы всеобъемлющего мониторинга состояния всех потенциально опасных инженерных сооружений с применением MEMS-акселерометров и самых современных вычислительных технологий обработки измерений HP.

При этом, впервые в метрологической практике, исходя из научного базиса предлагается измерять **полные механические колебания упругих механических систем** - три линейные и три вращательные компоненты шестью одномерными MEMS-сенсорами одновременно. Несовершенство в целом фундаментального подхода HP состоит в том, что измеряемые шесть компонентов не связаны пространством (разнесены на расстояния, на порядок превышающие собственные размеры микрочипов) и временем (существенное разнесение в пространстве на гибком основании порождает искажение временных запаздываний - фазы измеряемых компонентов). Но, вместе с тем, этот пример также подтверждает практическое стремление лидирующей IT-компании к новому уровню адекватности измерений наблюдаемым процессам и состояниям.

Шестимерные измерения параметров виброакустических колебательных процессов зарегистрированы в качестве интеллектуальной собственности в промышленно развитых странах: международные патенты компании Spider Technologies № WO 2006/011145 A2 (Израиль, США), компании Generale de geophysique № 2 446 494 (Франция), компании Siemens Aktiengesellschaft № EP 1 053 917 A1 (Германия), а также национальный патент № 2382990 RU (Россия).

Вывод: стремление к повышению информативности наблюдений является общей мировой тенденцией, что подтверждает активное создание новых типов и методов измерения виброакустических колебаний с использованием знаний и принципов перспективных технологических укладов: контактные (вакуумные, оптоволоконные, пленочные и т.д.) и дистанционные (оптические, лазерные MEMS, локационные и т.д.).

О наблюдениях системного гомеостаза антропогенных систем

Другим принципиально важным научным аспектом в рассматриваемом сегменте знаний является теория системного анализа выдающегося русского академика А.М. Ляпунова, который с учетом работ У.Р. Эшби обосновал фундаментальный научный подход к объективной исходной классификации явлений, достоверному пониманию физической сути природного синтеза и адекватного ему анализа гомеостаза наблюдаемых антропогенных объектов. По его прозорливому предвидению, пространственно-временная **IT-экспертиза гомеостатических состояний является универсальным методом адекватного наблюдения и рационального управления объектами жизнедеятельности** в биосфере и техносфере, а системным диагностическим отображением текущего

состояния сложных кибернетических систем является многопараметрический гомеостатический портрет (Homeostasis). Гомеостаз решает проблему оптимизации принятия решений, прогнозирования чрезвычайных состояний, предупреждения и предотвращения катастроф.

Простой несистемный анализ измерений, характерный для всех приведенных выше примеров стремления к повышению их мерности, как правило, опирается на статистические знания предшествующих (устаревающих) технико-технологических укладов и не предполагает перехода к принципиально новому уровню знаний на основе их простого количественного превосходства. В противоположность формальному увеличению мерности измерений, системный гомеостатический анализ измерений высокой мерности позволяет существенно приблизиться к адекватности антропогенных наблюдений через виртуальную многопараметрическую реконструкцию процессов, режимов и состояний природного синтеза объектов наблюдения.

Робкой, но достаточно эффективной попыткой приблизиться к "относительно системному" анализу состояний является развиваемая в последние четверть века в США и Евросоюзе **технологическая платформа Structural Health Monitoring (SHM)**, реализуемая в содружестве ведущих мировых университетских центров и фирм: The University of Michigan Laboratory for Intelligent Structural Technology; Los Alamos National Laboratory, Engineering Institute; Department of Civil and Environmental Engineering, Vanderbilt University Nashville (USA); Luleå University (Sweden); Campbell Scientific, Digitex (USA), Structural Vibration Solutions A/S (DM), Oxford University, Advanced Vector Analytics (EU), HGL-dynamics (GB) и другими лидерами IT-кластера. По мнению разработчиков, *"технология ориентирована на своевременную идентификацию деформаций аэрокосмических, гражданских и промышленных инженерных сооружений. В данном случае, деформация понимается как изменение свойств материала или/и геометрии конструкции, включая изменение граничных условий (например, грунтовых) и взаимодействий в системе, которые оказывают неблагоприятные воздействия на текущее или будущее её состояние. Дефект может быть выявлен путем сравнения текущего состояния системы с начальным или заведомо исправным"*. Активное распространение технологии SHM в область безопасности силовых агрегатов и машин (классическая механика) наблюдается в аэрокосмической отрасли.

Одним из эффективных приложений стали современные системы контроля и оценки технического состояния конструкций, узлов и агрегатов авиационной техники. Авиационные приложения SHM под названием **Health & Usage Monitoring Systems (HUMS)** создавались в Великобритании более 30 лет в качестве *"...систем контроля за уровнем вибраций для наглядной индикации приближения будущего отказа и предоставления информации о состоянии основных узлов и агрегатов с возможностью раннего обнару-*

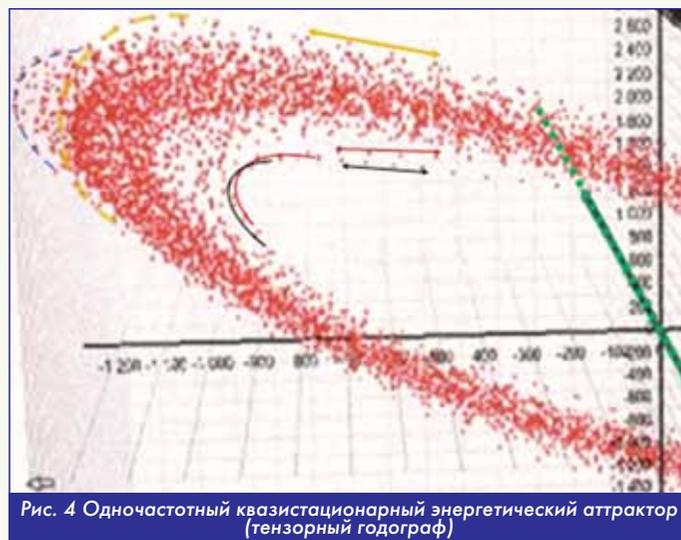


Рис. 4 Одночастотный квазистационарный энергетический аттрактор (тензорный годограф)

жения. Основная цель внедрения HUMS - сокращение расходов на эксплуатацию путём улучшения качества диагностирования, повышения точности прогнозирования остатка срока службы узла или агрегата, формирования поставок по реальной необходимости с постепенным переходом с промышленного этапа на этап информационный".

Одновременно и независимо от повышения информационно-метрологических возможностей систем наблюдения, ещё более ускоренными темпами возрастают размеры, сложность и мощность самих наблюдаемых технических систем. Последнее обстоятельство ведет к естественному увеличению масштабов людских, материальных и экологических потерь по отношению к практическим усилиям в области экотехнологической безопасности. Поэтому заметно увеличивается с каждым годом интерес международного научного сообщества и лидеров мирового рынка IT, проявляемый к области деятельности SHM. Компании HP, Siemens, Alstom, ABB, BP, Goodrich Corp., Mitsubishi, Honeywell, National Instruments и др. успешно работают в области экотехнологической безопасности машиностроения и строительства. В деятельности лидирующих IT-компаний присутствует осознанное триединое понимание научно-технологического главенства:

- широкополосных гиперчувствительных измерений (I),
- многомерной реконструкции текущих гомеостатических состояний (II) и
- встроенной интеллектуальной прогнозной экспертизы для кибернетического принятия решений (III).

Вывод: общество в своем технологическом развитии вплотную приблизилось к новой интеллектуальной модельной парадигме инженерной практики будущего [6]; оно пока не в состоянии предотвращать ЭТК полностью, но своей деятельностью по их достоверному предсказанию - научному прогнозу, оно может предвидеть и минимизировать потери и, напротив, своей бездеятельностью или необоснованными действиями многократно усилить природно-антропогенный разрушительный потенциал.

О диагностических параметрах наблюдения состояний

Факт признания профессиональным метрологическим сообществом чрезвычайно низкой эффективности статистических методов ранней диагностики патологий эксплуатационных состояний является достаточным основанием для новых интеллектуальных усилий в понимании системно триединого технологического главенства достоверных измерений (проблема I), адекватной реконструкции гомеостаза (проблема II) и эффективной прогнозной экспертизы (проблема III) при выборе диагностических параметров текущих и прогнозных ресурсных трендов.

В уходящей метрологической парадигме главным диагностическим параметром, отражающим энергетические уровни причинно-следственных трансформаций в сплошных упругих средах, является амплитуда измеряемого параметра в спектре наблюда-

емых частот. Усредненные измерения амплитуды в сравнении со статистическими регламентированными оценками (уставками) порождают проблему недостоверности измерений (I) и, как следствие, проблему неадекватной реконструкции гомеостаза (II) и, в результате, проблему эффективности техногенеза (III). Таким образом, существующая метрологическая парадигма не способна успешно решать информационные проблемы экотехнологической безопасности без её кардинального пересмотра.

Методически наблюдения причинно-следственных процессов текущих и прогнозных эксплуатационных состояний конструкций, машин и механизмов должны опираться на фундаментальный научный базис механики упругих систем сплошных сред [7]. Волновая модель физических процессов в упругих системах следует постулатам суперпозиции и непрерывности (сплошности), основополагающим закону Гука и коэффициенту Пуассона. Системно-информационный подход к описанию напряженно-деформированных состояний (НДС) сформирован классическими уравнениями движения материальных точек упругой среды и математически реализуется тензорным аппаратом анализа причинно-следственной трансформации массово-энергетических диагностических параметров текущих состояний.

Научное обоснование междисциплинарного волнового кластера знаний опирается на признанные фундаментальные теории и системные научно-технологические школы:

- системный анализ и оптимальное управление академика А.М. Ляпунова;
- векторно-фазовая реконструкция колебаний академика А.Н. Крылова;
- траекторный анализ волновых физических состояний профессора А.А. Сперанского;
- прочность, устойчивость и динамика упругих систем профессора А.П. Лещенко;
- физическое моделирование сложных технических систем академика Е.А. Федосова.

Приведенные теории образуют научный фундамент Волновой информационной технологии (ВИТ), которая реализует принципиально новую доктрину объективных (достоверных) знаний о природных закономерностях, процессах и состояниях, основанную на соответствии (адекватности) метрологической информативности анализа и физической информативности (мерности) наблюдаемого природного синтеза.

В новационной метрологической парадигме мерность наблюдаемых диагностических параметров должна соответствовать мерности природного синтеза энергетических уровней причинно-следственных трансформаций НДС в спектре наблюдаемых частот. Речь идет о низкой эффективности традиционных диагностических параметров в виде усредненных за период значений скалярных амплитуд, якобы отображающих энергию деформационных смещений в упругих системах. В среде профессионалов неизбежно формируется отказ от консервативной научной позиции в пользу связанного временем (фазой) непрерывного множества диагностических параметров динамических фазовых причинно-следственных состояний в виде совокупности текущих значений последовательности тензорных энергетических преобразований состояний (ТЭПС) в измерительных точках сплошной упругой среды.

Такая научная постановка позволяет обосновано считать все диагностические параметры в механике упругих систем аттракторами - компактным подмножеством полевое или дискретного n -мерного фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого с течением времени стремятся к нему.

В теории упругих систем фазовые пространственно ориентированные траектории (годографы) описываются эллиптическими уравнениями Ламэ (для напряжений) или Коши (для деформаций). Эллиптические траектории имеют значительное множество универсальных диагностических параметров, каждый из которых отражает физическую сущность текущего эксплуатационного состояния и формируется под воздействием множества причин, зара-



Рис. 5 Ракурсное представление спектрального энергетического портрета колебаний

нее известных или вовсе неизвестных наблюдателю. Очевидно одно - каждому квазистационарному полевому напряженному состоянию, спровоцированному внешними или внутренними силовыми факторами, в силу пространственности закона Гука-Пуассона соответствует квазистационарное полевое деформационное состояние, позволяющее с помощью метрологических инструментов определенной мерности оценивать его динамику. Обратное тензорное преобразование измерений позволяет реконструировать собственно динамику НДС - гомеостаз. **Характеристические параметры фазовых годографов являются многомерными диагностическими аттракторами состояний.**

Рассмотрим физический смысл аттракторов 4D-годографов упругих систем:

1. **Большая ось $(R_1 + R_2)_f$** отображает кинетическую энергию гармонического воздействия силового фактора частоты f .
2. **Малая ось $(2r)_f$** отображает потенциальную энергию сопротивления силовому фактору.
3. **Площадь годографа $(\pi Rr)_f$** отображает полную энергию колебания полного периода в упругой среде.
- 4-6. **Эйлеровы углы $(\alpha - \beta - \gamma)_f$** определяют пространственную ориентацию наблюдаемого годографа.
- 7-9. **Ракурс источника кинетической энергии** - векторы воздействия наблюдаемого силового фактора.
10. **Направление вращения по годографу $(R$ или $L)_f$** отображает сектор источника воздействия.
- 11 - 13. **Координаты измерительной точки (X_i, Y_i, Z_i)** объекта (и центра годографа выбранного воздействия).
14. **Мгновенный вектор полной энергии колебания $\check{E}(t_i)_f$** .
15. **Мгновенный вектор кинетической энергии воздействия $E_{кин}(t_i)_f$** .
16. **Максимальное значение нормальных деформаций $\varepsilon_{Nmax}(t)_f$** .
17. **Максимальное значение нормальных напряжений $\sigma_{Nmax}(t)_f$** .
18. **Фазовый сдвиг нормальных деформаций $(t_1 - t_0)_f$** - закон Гука.
19. **Мгновенный вектор потенциальной энергии сопротивления $E_{пот}(t_i)_f$** .
20. **Максимальное значение тангенциальных деформаций $\tau_{Tmax}(t_3)_f$** .
21. **Максимальное значение тангенциальных напряжений $\gamma_{Tmax}(t_2)_f$** .
22. **Фазовый сдвиг тангенциальных деформаций $(t_3 - t_1)_f$** - закон Пуассона.
23. **Коэффициент трансформации энергии $[E_{кин}(\varepsilon_{Nmax})/E_{пот}(\tau_{Tmax})]_f$** - относительный показатель податливости.
24. **Коэффициент обратной трансформации энергии $[E_{пот}(\tau_{Tmax})/E_{кин}(\varepsilon_{Nmax})]_f$** - относительный показатель жёсткости.
- 25-45. **Вариационное энергетическое поле ракурсных проекций**

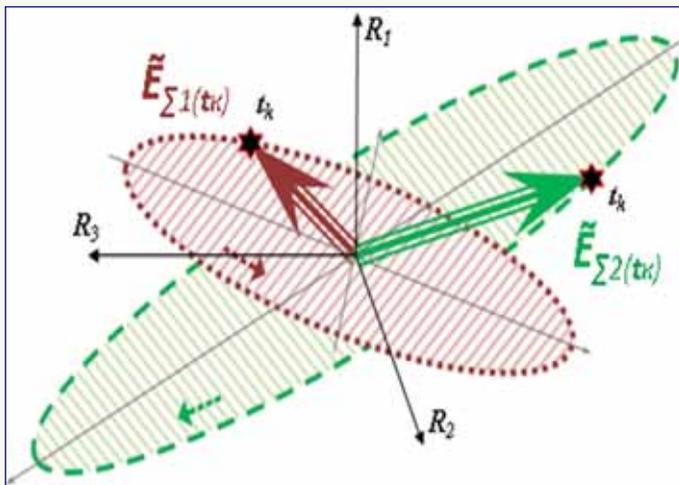


Рис. 7 Интегрированная мгновенная энергия двухчастотного физического состояния в измерительной точке

ций мгновенных векторов суммарной энергии $\Sigma \check{E}_R(t_i)_S$ в спектре S мгновенных деформаций (универсальная методика динамической реконструкции векторно-фазовых (пространственно-временных) энергетических аттракторов в обоснованно выбранных дискретно-распределенных измерительных точках объекта позволяет реконструировать контурные и даже объемные **физические модели текущего гомеостаза в качестве системных интеллектуальных аттракторов**).

46. **Критический ракурс $R_{крит}[\Sigma_{max} \check{E}_R(t_i)_S]$ Главного энергетического вектора $E_{Vmax}[\Sigma_i \Sigma_S \check{E}_{Rmax}(t_i)]$ вариационного спектра деформаций.**

47. **Запас эксплуатационного ресурса конструкционной прочности $\Delta_\varepsilon = (\varepsilon_{пред} - \varepsilon_{тек})/\varepsilon_{пред}$** в направлении критического ракурса $R_{крит}$ (динамика многомерных аттракторов позволяет эффективно оценивать целевые эксплуатационные ресурсные диагностические параметры конструкционной прочности, тренды развития процессов, режимов и состояний материалов и конструкций, прогнозировать и предотвращать аварийные и критические события).

48. **Эффективный запас конструкционной прочности $\Delta_\tau = (\tau_{пред} - \tau_{тек})/\tau_{расч}$** в направлении критического ракурса $R_{крит}$.

49. **Диагностический тренд эксплуатационных состояний $T_r = \Delta_\tau / \delta t_i$** в направлении критического ракурса $R_{крит}$.

50. **Прогнозная экспертиза критического события $\delta t_{крит}$** при $\Delta_\tau \rightarrow 0$ в направлении критического ракурса $R_{крит}$.

Представленное множество аттракторов образует системную матрицу энергетической оценки текущих многомерных портретов гомеостатических состояний упругих систем, которая является креативным инструментом для создания библиотеки автоматизированной диагностики эксплуатационных патологий и образования дефектов на ранней стадии их зарождения.

В перспективе, помимо общепринятых диагностических параметров механических аттракторов, следует привлекать более тонкие инструменты диагностики аттракторов гомеостатических состояний, основанные на новых физических методах мониторинга и более информативных аналитических методах экспертизы состояний. С одной стороны, к ним относится квантово-волновой оптический инструментарий, с другой стороны, следует осваивать термодинамический интерференционный инструментарий наноматериаловедения, например, неравномерность распределения температуры в качестве полевого энергетического аттрактора. **П**

Литература

1. Сперанский А.А., Бельский А.Б. Инновационная информационно-метрологическая технология наблюдения и прогноза состояния для предотвращения аварий техногенных объектов // Инновации. - №9. - 2015. - С. 46-53 / издание ВАК.
2. Сперанский А.А., Михеев А.А., Михайлов Г.Г. Интеграция опережающих междисциплинарных знаний в качестве универсальной системообразующей основы перспективных межвидовых исследований // Двигатель. - №4. - 2015. С.10-23 / издание ВАК.
3. Сперанский А.А. Природный феномен напряженно-деформированных состояний. Двигатель, №3, С.18-23, 2015г. / издание ВАК.
4. Сперанский А.А. и др. Фундаментальный подход к реконструкции механических полей для оценки эксплуатационных свойств изделий Оборонпрома. Двигатель, №1, С.22-25, №2, С.22-24, №3, С.30-33, 2009г. / издание ВАК.
5. Гусев Б.В., Сперанский А.А., Жучков В.М. Научно-технологические инструменты устойчивого развития общества. Двигатель, №4, С.30-35, 2015 г. / издание ВАК.
6. Сперанский А.А. Гомеостатическое модельное проектирование как способ обеспечения техногенной безопасности при создании и эксплуатации объектов новой техники. Двигатель, №3, С.28-33, 2013 г. / изд. ВАК.
7. Дж. Мейз. Теория и проблемы механики сплошных сред. М. Изд. ЛКИ, С.112, 200, 2007г.

Связь с автором: vibro-vector@yandex.ru