

УДК 53.082.7, 681.586

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ГИПЕРЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ КВАНТОВО-ВОЛНОВЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО НАБЛЮДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ

Сигов Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, Президент Московского института радиоэлектроники и автоматики

Сперанский Анатолий Алексеевич, вице-президент по науке и новым технологиям Российской инженерной академии, член Международной инженерной академии, директор Института наукоемких инженерных технологий РИА (ИНИТ)

Штыков Александр Николаевич, кандидат технических наук, член-корреспондент Российской инженерной академии, Руководитель Центра оптоволоконных измерительных технологий Института наукоемких инженерных технологий РИА (ИНИТ)

Бельский Александр Борисович, вице-президент Российской инженерной академии, сотрудник Института наукоемких инженерных технологий РИА (ИНИТ)

Шалимов Леонид Николаевич, генеральный директор НПО автоматики им. академика А.А. Семихатова, почётный гражданин Екатеринбурга

Манько Николай Григорьевич, директор «ОКБ Автоматика» (филиала НПО автоматики им. академика А.А. Семихатова)

Шестаков Геннадий Васильевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории НПО автоматики им. академика А.А. Семихатова

Галушкин Юрий Александрович, почётный член РАЕН, академик Международной и Российской инженерных Академий, профессор, сотрудник Института наукоемких инженерных технологий РИА (ИНИТ)

Сидорова Мария Игоревна, почётный член Международной академии энергетических инверсий

Аннотация

Представлен аргументированный и подтвержденный в приложениях взгляд на квантово-волновой ЛТ-механизм тензорного энергетического преобразования напряженно-деформированных состояний (ТЭПС) VI технологического уклада. Рассмотрены прецизионные гиперчувствительные квантово-волновые оптические методы широкополосного наблюдения механических и акустических колебаний геоинформационных и антропогенных систем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивое развитие общества, квантово-волновые инструменты наблюдения, гомеостаз антропогенных систем, техногенез биосферы и техносферы, технологический уклад, технологическое лидерство.

PRECISION HYPER-SENSITIVE QUANTUM-WAVE OPTICAL METHODS OF BROADBAND MONITORING OF MECHANICAL AND ACOUSTICAL OSCILLATIONS OF GEO-INFORMATION AND ANTHROPOGENIC SYSTEMS

Sygov Alexander Sergeevich, Doctor of Physics and Mathematics, professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, President of the Moscow Institute of Radio Electronics and Automation

Speransky Anatoly Alexeevich, Vice President on Science and New Technologies of the Russian Academy of Engineering (RAE), a member of the International Academy of Engineering, Director of the RAE Institute for High

Engineering Technologies (NETI)

Shtykov Alexander Nikolaevich, Candidate of Engineering, Corresponding Member of the Russian Academy of Engineering, Head of the Center for fiber optic measuring technologies of the RAE Institute for High Engineering Technologies (NETI)

Belsky Alexander Borisovich, Vice President on Science and New Technologies of the Russian Academy of Engineering, researcher at the RAE Institute for High Engineering Technologies (NETI)

Shalimov Leonid Nikolaevich, CEO of Scientific and Production Association of Automatics named after academician N.A. Semikhatov, honorary citizen of Yekaterinburg

Manko Nikolay Grigorievich, director of “EDB Automatics” (branch of Scientific and Production Association of Automatics named after academician N.A. Semikhatov)

Shestakov Gennady Vasilievich, Candidate of Engineering, head of laboratory at the Scientific and Production Association of Automatics named after academician N.A. Semikhatov

Galoushkyn Youry Alexandrovich, honorary member of Russian Academy of Natural Sciences, academician of International and Russian Academies of Engineering, professor, researcher at the RAE Institute for High Engineering Technologies (NETI)

Sidorova Maria Igorevna, honorary member of International Academy of Energy Inversion

Abstract

The paper presents the well-reasoned and an opinion, proved in enclosed addenda, of quantum-wave LT-mechanism of tensor energy transformation of stressedly-deformed states (TETS) of VI wave of innovation. Precision hyper-sensitive quantum-wave optical methods of broadband monitoring of mechanical and acoustical oscillations of geo-information and anthropogenic systems are studied.

KEYWORDS: sustainable development of society, quantum-wave instruments of monitoring, homeostasis of anthropogenic systems, technical genesis of biosphere and technosphere, wave of innovation, technological leadership.

*...на протяжении всей истории
человечества нашу судьбу определяло
владение инструментами наблюдения»
Мичио Каку «Физика будущего»*

Проблема безопасной эксплуатации

В области наблюдения (измерения) диагностических параметров состояний механических объектов, функционирующих по законам механики сплошных сред и упругих систем, научно-техническая революция XX века демонстрирует экстенсивный характер развития, что привело скорее к количественному росту научного знания, нежели к качественному увеличению и адекватности понимания природного синтеза.

Всеобщая распространенность линейных моноскопических (1D-скалярных) усредненных измерений, даже многокомпонентных (многоканальных), привела к тому, что измерение колебаний в механическом диапазоне частот $10^{-2} \div 10^4$ Гц по сравнению с остальными физическими полями стали метрологически неинформативным. Для диагностических целей преимущественное применение получили пьезоэлектрические

вибропреобразователи (пьезоакселерометры) и косвенные экспериментальные способы регламентированной оценки параметров эксплуатационного ресурса конструкционной прочности, основанные на консервативных статистических методах.

Регулярно происходящие в мире техногенные катастрофы свидетельствуют о низкой эффективности скалярного мониторинга. Механический мир скалярных измерений, недостоверных и малоинформативных, в полном смысле слова, рушится на глазах, но каким будет безопасный мир, и какие подходы в нем будут играть решающую роль - вопрос далеко не для всех, несущих бремя ответственности за безопасность среды обитания, ясный.

Метрологически противостоящие косвенным монотоническим измерениям векторно-фазовые *LT*-методы волновой виброакустической метрологии, достаточно глубоко обоснованные теоретически основоположниками классической механики ещё три века назад, до настоящего времени метрологически были практически недоступны. Помимо традиционного консерватизма мирового метрологического сообщества, к фактически сложившемуся положению были и объективные причины. К основным из них следует отнести научно-технологическое отставание в области создания:

а) **средств достоверного мониторинга** пространственно-временных эксплуатационно-диагностических *LT*-параметров наблюдения состояний механических полей;

б) программно-аппаратных средств сбора, обработки и адекватной природному синтезу многопараметрической **реконструкции параметров деформационных полей (ДП)**; и

в) методологии многомерной **гомеостатической экспертизы** текущих и прогнозных ресурсно-диагностических характеристик силовых машин, механизмов и конструкций.

Для обеспечения стабильности техногенного мира и безопасности среды обитания требуется новое **адекватное природе понимание** сущности природных механизмов техногенной безопасности, фундаментальное и универсальное для любых волновых полей. Высказано предположение о том, что связанная форма информации, помимо и вместе с массово-энергетическими свойствами волновых ДП механических систем, образует **единое фундаментальное информационное поле среды обитания**.

С появлением векторных средств достоверного виброакустического мониторинга в механическом диапазоне частот укрепилось понимание несовершенства и низкой информативности скалярного мониторинга.

Современные средства наблюдения состояний

Синхронная многомерная реконструкция волновых гомеостатических параметров ДП впервые в мировой практике позволила прямым способом с высокой степенью достоверности измерять анизотропно-прочностные свойства механического объекта и оценивать в реальном времени соответствующий им текущий эксплуатационный ресурс конструкционной прочности. Важнейшим подтверждением метрологической эффективности пространственно-временного (полевого) *LT*-подхода является приведенный на рисунке 1 фрагмент сравнительных испытаний информативности скалярного и волнового векторного-фазового методов измерения параметров виброакустических полей на силовых установках ГПА компрессорных станций ОАО «Газпром» [1].

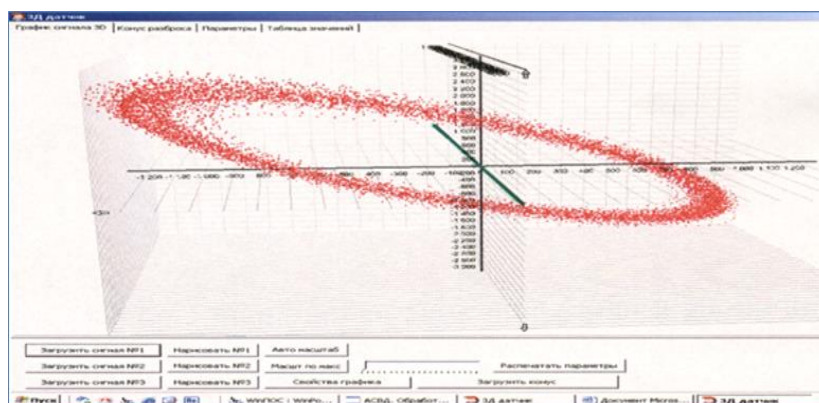


Рис. 1. Информативность скалярного и векторного-фазового методов измерения

Пространственно-временная выборка мгновенных деформаций в измерительной точке в заданном диапазоне частот воспроизводит пространственный тор с эллиптическими осями, характеризующими податливость конструкции. Наглядно показано, что полевая реконструкция существенно изменяет представление о величине и направлении вектора диагностического параметра: отличие величин мгновенных значений вектора (красный цвет) от соответствующих проекций на измерительную ось штатного скалярного датчика (темнозеленый цвет) составляет $1,5\div 4$ раза, а в особых (переходных) режимах частотного спектра достигает от 4 до 20 раз.

Фундаментальные методы и универсальный аппарат спектральной *LT*-реконструкции волновых параметров деформационных полей могут быть основой для практических научных исследований и решения прикладных задач во всех техногенно-опасных областях среды обитания. Связь парадигмы измерений с целевыми диагностическими функциями общепринятого скалярного вибромониторинга «по регламенту» и векторно-фазового мониторинга волнового деформационного поля «по текущему состоянию» показана на рисунке 2.

В Полевой механике приобретают новый смысл такие важные понятия, как колебания и время, пространство и фаза, спектральное взаимодействие и тензорное преобразование анизотропно-деформационных полей. Новая парадигма отражает единообразный порядок и познаваемость, логичность и гармонию, практический смысл и достоверность, высокую информативность и наглядность, фундаментальный характер и универсальность приложений. Фактически это вторая часть научно-технической революции, которая должна была произойти еще столетие назад и перевести эмпирическую скалярную виброметрию на новый качественный уровень адекватного природе представления о динамике деформационных полей [2].

Таким образом, в рамках полевой парадигмы предложен инновационный метод, претендующий на роль прорывной Волновой информационной технологии безопасности (ВИТ), фундаментальный и универсальный для всех областей машиностроения, энергетики, транспорта, строительства и материаловедения.

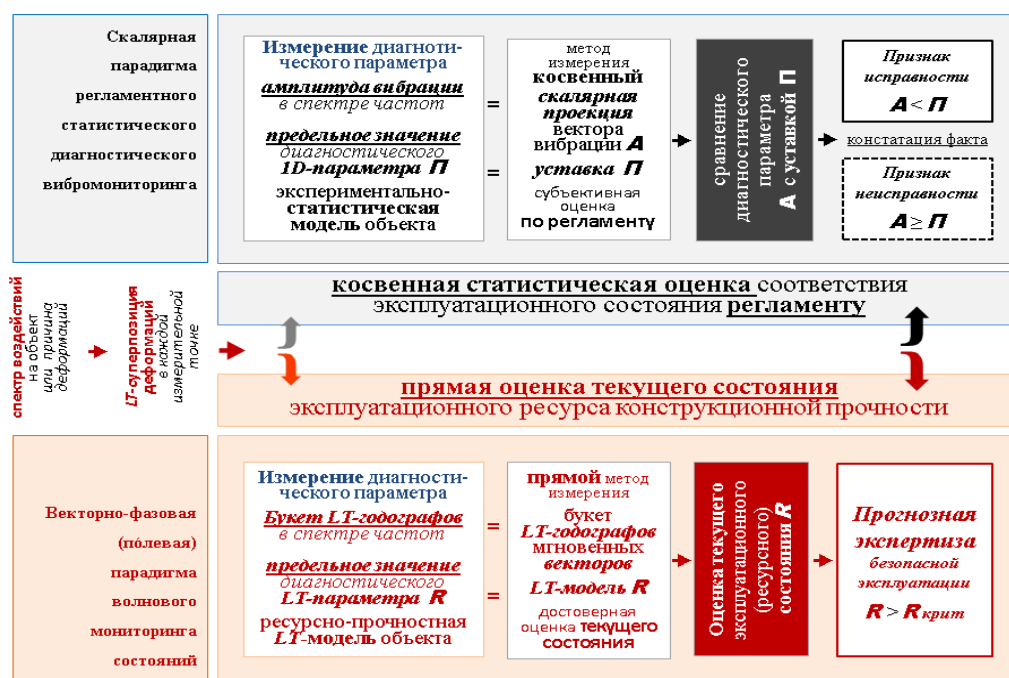


Рис. 2. Связь парадигмы измерений с целевой функцией мониторинга

Полевая философия способствует восприятию единого целостного устройства и гармонии среды обитания - окружающего нас механического мира. А сам мир несет в себе разумное и объяснимое содержание. Поэтому полевой подход и приводит к множеству принципиально новых, порой неожиданных результатов, к пониманию природы деформационных процессов механических систем, позволяющему достоверно оценивать эксплуатационный ресурс прочности и техногенную безопасность среды обитания.

Имеется положительный опыт применения фундаментального векторно-фазового метода для создания уникальных инструментальных средств исследования, испытания и диагностики сложных механических объектов Природно-технических систем. Суть инновационного подхода ВИТ-технологии состоит в том, что **колебательные движения, являясь формой существования материи и проявления энергии, реализуются в виде пространственно-временных эллиптических траекторий, параметры которых в полной мере и однозначно отражают всеобщие природные закономерности.** Утверждение справедливо для всех уровней геокосмического и экосистемного рядов антропогенных и природных сфер **от атома до космоса и от клетки до экосистем.** При этом, гомеостаз как состояние динамического равновесия систем, поддерживаемое циклическим воспроизводством её основных структур и функций за счет обмена энергией, информацией и веществом с окружающей средой, демонстрирует необходимое условие устойчивого существования и развития любых открытых диссипативных систем.

Задача научно-технического сообщества состоит в том, чтобы не допустить опасных необратимых нарушений этого равновесия вследствие выхода за пороговый уровень ключевых параметров состояния взаимодействующих компонентов системы в трех аспектах: структурно-иерархическом, диалектическом и кибернетическом. Системный подход приближает к решению проблем техногенной и экотехнологической безопасности.

Необходимое и достаточное разнообразие и полноту информации для принятия управленческих решений устанавливает фундаментальный принцип пространственно-временного квантования (декомпозиции) систем – **контрольные (метрологические) поверхности системы должны определять область ее гомеостаза.**

Для исследования сложных полидинамических и мультифизических колебательных процессов механических систем разной физической природы требуются современные инструментальные средства достоверного мониторинга и многопараметрической спектральной реконструкции волновых полей.

Инновационные технологии *LT*-измерений системно связанных тензорным образом компонентов диагностических параметров и векторно-фазовых построений эллиптических годографов линейно-вращательных механических колебаний составляют основу ВИТ, открывая возможности системного гомеостатического мониторинга текущего ресурса конструкционной прочности в машиностроении, строительстве, тепловой, атомной и гидроэнергетике, авиационно-космическом, морском, наземном и трубопроводном транспорте, на всех без исключения объектах Природно-технических систем.

Создание отечественными учеными векторных (3D-линейных) и бивекторных (6D-линейно-вращательных) метрологических средств позволяет объективно оценивать в реальном времени параметры напряженно-деформированных состояний (НДС) материальных точек сплошных сред объектов механических упругих систем. Впервые в мировой инженерной практике практически реализован наглядный способ кибернетического представления ресурсно-прочностных свойств в виде «букетов» фазовых траекторий параметров НДС.

Новые физические методы контактных и бесконтактных измерений параметров волновых полей, прежде всего, оптические и локационные, существенно превосходят возможности серийно выпускаемых контактных сенсоров диагностических параметров. Наиболее перспективные опережающие технологические решения для волновых измерений для анализа акустических полей реализуются в наукоемких приложениях задачи 3D-томографирования (механической локации) дефектов конструкционных материалов на ранней стадии их зарождения. Поэтому авторами уделено особое внимание современному взгляду на механизм внутрискрутного причинно-следственного преобразования напряженно-деформированных состояний в конструкционных материалах.

Тензорное энергетическое преобразование состояний¹

Изучение природного феномена НДС подтвердило механизм преобразования кинетической энергии внешних (нормальных линейных, изгибных, крутящих и т.п.) воздействий в потенциальную энергию упругого (сдвигового объемного, массового) сопротивления конструкционного материала в пределах линейной области Закона Гука-Пуассона. Происходит непрерывный процесс Тензорного энергетического преобразования состояния (ТЭПС), что является причиной возникновения на внутрискрутном уровне конструкционного материала, в его бифуркационных точках, микротрещин (рисунок 3).

Энергетический процесс в пределах сплошной упругой среды создает спектральное Волновое деформационное поле, связанные диагностические параметры которого (смещения / деформации и их производные) формируют в объеме объекта, в том числе, в измерительных точках, «букеты» эллиптических траекторий – фазовых годографов. При достоверной 4D-реконструкции «измеренных» годографов (АФЧХ) в распоряжении исследователя находится на несколько порядков больше диагностической информации, нежели при усредненных (СКЗ) одномерных скалярных измерениях «дрожания» - несвязанных амплитуд в частотном спектре (АЧХ).

¹ © Тензорное энергетическое преобразование состояний. Сперанский Анатолий Алексеевич, 2015

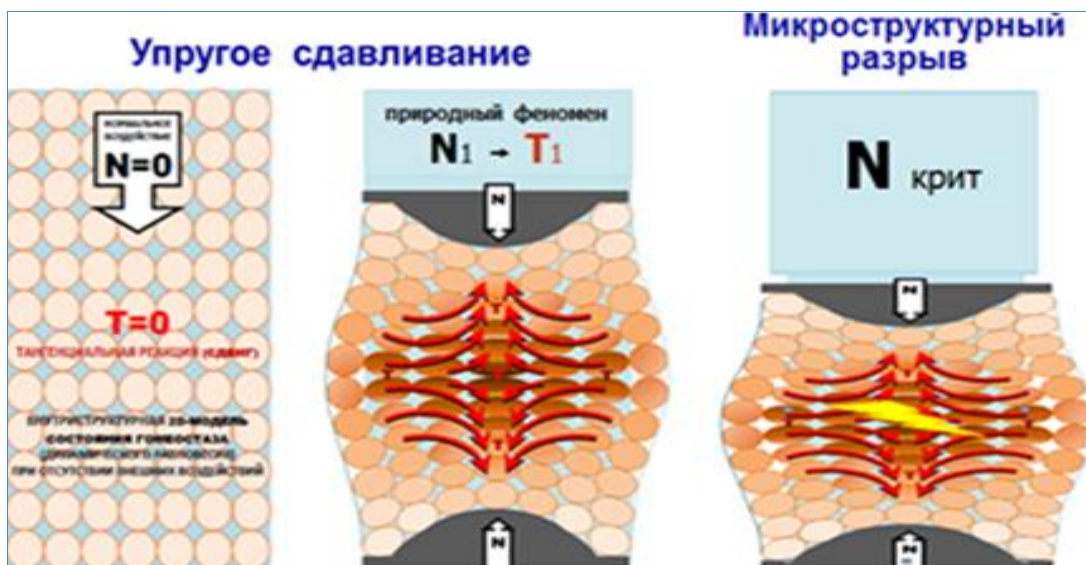


Рис. 3. Тензорно-энергетическая схема зарождения микротрещины

На определенном энергетическом уровне ТЭПС происходит **квантованное событие** - разрыв материала (КС), при котором **скачкообразно** изменяется энергия текущего состояния. Импульс энергии мгновенно отражается на диагностических параметрах «букета» годографов. Чем больше трещина, тем больше энергии ушло на её образование, тем значительнее энергетический скачок, изменяющий оси и, следовательно, описываемую эллиптическим годографом площадь. При этом синхронно с КС изменяются эйлеровы углы ориентации эллиптических осей годографов относительно системы координат объекта, поскольку образование трещины лишает упругую среду объекта сплошности, изменяя картину прохождения волн в объеме. К тому-же, в спектре дополнительно появляется характерная частота образовавшегося дефекта, изменяющая гомеостатический портрет объекта. Из описания диагностических последствий факта КС вытекают методические требования к непрерывной диагностике текущих состояний и к инструментальным средствам наблюдения механического гомеостаза [3].

Безопасная эксплуатация является важнейшим условием конкурентоспособности. Например, в 2013 году введен в действие регламент ИКАО, требующий от Правительств государств оснащения авиационной техники системами непрерывной диагностики и прогностики текущего эксплуатационного состояния воздушных судов в реальном времени.

Решения проблемы предотвращения критических состояний объектов сложных динамических систем, в первую очередь, связаны с повышением **связанной мерности (1)**, повышением **акустической чувствительности (2)** и **мобильности (3)** средств измерений, **расширением частотного диапазона (4)** и **защищенности от шумов и помех (5)** при мониторинге диагностических параметров наблюдаемых и управляемых процессов.

Комплексу указанных требований в наибольшей степени удовлетворяют Волоконно-оптические датчики вибрации (ВОДВ), создаваемые на основе ВОГ и встроенные распределенные информационные системы на береговских решетках.

Волоконно-оптические датчики колебаний

Наибольший интерес в области мониторинга текущих ресурсных состояний вызывают опережающие технологические решения оптоакустиков НПО Автоматики имени академика Н.А. Семихатова. Совместными усилиями коллектива ученых и разработчиков научной лаборатории филиала НПОА «ОКБ Автоматика» под руководством инженера-испытателя А.Н. Штыкова проведены исследования возможности создания Волоконно-оптических датчиков (ВОД) диапазона 1550 мкм (рисунок 4).



Рис. 4. Измерительный контур ВОД

Начальным направлением работ было создание ВОГ с оптическим контуром длиной от 5 до 50 км, соединенного с электронной аппаратурой одномодовым волоконно-оптическим кабелем длиной до 25 км. При такой длине волокна и диаметре катушки 30 см чувствительность составляет 10^{-6} угловых секунд в секунду времени.

Преобразование возмущающих факторов среды в измеряемые компоненты вращательного движения достигается определенным способом установки чувствительного элемента, при котором происходит сложения измеряемого движения с вращением Земли. Поскольку ВОГ измеряет угловую скорость вращения в инерциальном пространстве, при размещении его на вращающейся платформе, которой является Земля, возможно измерение колебания угловой скорости, вызванные вибрацией, звуковыми волнами в воздушной и водной среде, сейсмическими волнами, гидродинамическими процессами и т.д. Измерение проекции угловой скорости Земли в нескольких положениях оси чувствительности ВОГ, при высокой стабильности показаний, позволяет вычислить азимут заданного направления с прецизионной точностью в нескольких угловых секунд.

Чувствительным элементом (ЧЭ) ВОД является только контур оптического волокна, при этом, в месте установки ЧЭ нет электронных элементов и не требуется электропитание, а электронные блоки могут быть расположены на значительном удалении от него и

нечувствителен к любым физическим возмущениям. Для тонких наблюдений процессов гомеостаза разработан 3D-приемник акустических колебаний на одном контуре.

Измерительным эталоном ВОД является скорость света в волокне, а элементарным циклом работы является время прохождения **квантованного импульса света** по измерительному контуру. Не имея подвижных элементов, датчики свободны от резонансов и обладают гиперчувствительностью в диапазоне от 0 Гц до 1 МГц с очень высокой информативностью, регистрируя смену знака колебаний и производной (рис. 5).

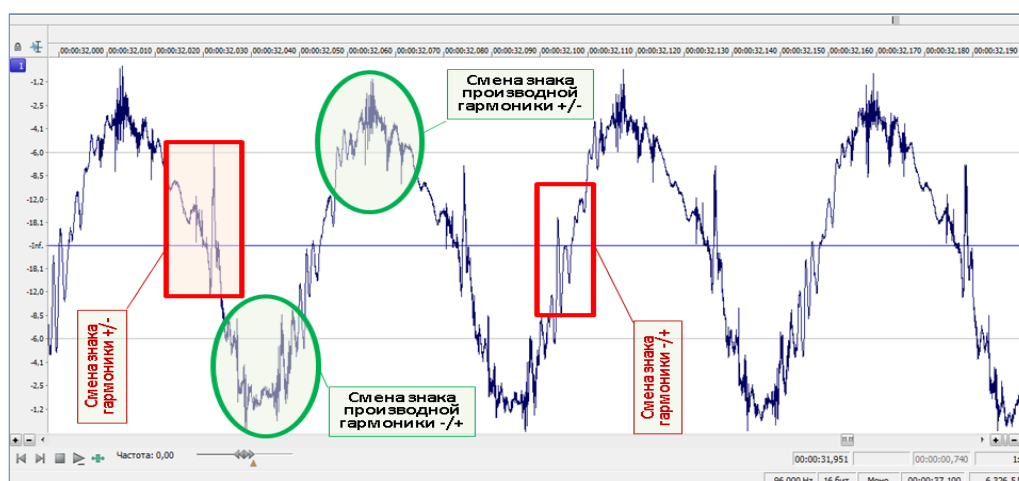


Рис. 5. Информативность волоконно-оптического канала

Смена знаков производной гармоники диагностического параметра на переходах «+/-» и «-/+» выделена зеленым овалом, а смена знаков при переходе нулевого значения собственно наблюдаемой гармоники выделена красным прямоугольником. Оба процесса имеют высокочастотный характер и несут в себе **значительный аналитический потенциал для целей прецизионной диагностики текущих ресурсных состояний** [4].

К настоящему времени проведены испытания линейки ВОД различного назначения с участием заинтересованных предприятий, организаций и научных учреждений, поданы заявки на патенты РФ. Исполнение датчиков представляет собой ноу-хау уровня хай тех. Имеются публикации по физическим принципам работы датчиков. В 2015 году успешно проведены сертификационные испытания некоторых видов ВОД различных приложений.

Исследуются опытные образцы ВОД угловой скорости, вибрации, акустики, гидроакустики, гидродинамики и сейсмических воздействий. Постоянный мониторинг среды обитания позволяет также вести наблюдение за природными явлениями (приливы и отливы, штормы и ураганы и т.д.), а также техногенными возмущениями среды (взрывы, свищи утечки газа из газопровода, движение объектов и т.д.).

Проект имеет статус экспериментальной научно-исследовательской работы.

Квантовый механизм наблюдения текущих состояний материалов²

Успехи информационных навигационных приложений ВОГ и метрологических приложений ВОД позволяют надеяться на возможность создания уникальных опережающих технологических решений для достоверного мониторинга, адекватного анализа и эффективного управления многопараметрическими процессами текущих эксплуатационных состояний конструкционных материалов механических объектов и систем во всех сферах инженерной деятельности по всему жизненному циклу создания и эксплуатации новой конкурентоспособной техники.

Определенная, если не решающая, новизна *LT*-подхода состоит в осознанном понимании **скачкообразного изменения состояний при образовании внутрискруктурных дефектов.**

В основе создаваемого высокоинформативного *LT*-инструментария непрерывного наблюдения текущих эксплуатационных состояний представляется целесообразным объединить три базовые области современных фундаментальных и прикладных знаний:

- 1) квантово-волновую механику упругих систем и сплошных сред;
- 2) локационные и оптические *LT*-методы наблюдения внутрискруктурных состояний;
- 3) сетцентрические нейросетевые экзотические технологии встроенного интеллекта.

Креативную новизну в области **механики текущих гомеостатических состояний** (1) реализует Волновая информационная технология на основе Волнового мониторинга состояний (ВИТ на основе ВМС) с опорой на энергетический механизм предложенной авторами внутрискруктурной модели Тензорного энергетического преобразования напряженно-деформированных ресурсных состояний (ТЭПС) и тонкие инструменты наблюдения **квантовых микроструктурных процессов зарождения дефектов материалов.**

Прорывную новизну в области **метрологических технологий наблюдения механических состояний** (2) демонстрируют гиперчувствительные оптические микроинтерференционные методы широкополосных акустических измерений на основе открытого авторами физического феномена - явления инверсии чувствительности ВОГ.

Ожидаемые в ближайшем будущем беспрецедентные возможности встроенного интеллекта антропогенных систем (3) на основе распределенных нейросетевых вычислителей выдвигают на первый план задачу создания многовидового научно-технологического кластера **физико-математических моделей функционирования процессов, режимов и состояний**, адекватных собственно природному синтезу наблюдаемых, диагностируемых и управляемых механических систем.

² © Квантовый механизм наблюдения текущих состояний материалов. Сперанский Анатолий Алексеевич, 2015

Если первая из трех областей фундаментально-прикладных знаний (1) достаточно глубоко обоснована и представлена в литературе и практических исследованиях, а третья область в качестве инструмента анализа и управления (3) самодостаточна для прикладной научно-технологической кооперации и ближайшей рыночной доступности, то вторая область фундаментально-прикладных знаний (2), зарождающихся применительно к актуальным задачам техногенной и экотехнологической безопасности, представляет значительную новизну с интересом к интеграции междисциплинарных опережающих научно-технологических решений [5].

В контексте ресурсных представлений, на микроструктурном уровне конструкционных материалов наиболее вероятной первопричиной трещинообразования является превышение энергии мгновенного напряженного состояния ($\hat{E}_{напр.}$) над критическим пределом упругости соответствующего ему локального деформированного состояния ($\hat{E}_{деф.крит.}$). Эта стрессовая для изотропного материала ситуация и является настоящей причиной зарождения исходной микротрещины, приводящей к факту **квантованного события**. На появление исходной микротрещины могла дополнительно повлиять любая другая причина, повышающая более единицы коэффициент опасности разрушения конструкционного материала ($\hat{E}_{напр.} / \hat{E}_{деф.крит.} > 1$), например, наличие локальной производственной или эксплуатационной анизотропии материала, температурное напряжение, либо, что более вероятно, **энергетически интегрированная** в точке образующейся микротрещины суперпозиция реакций на воздействия от других частот «букета» *LT*-траекторных гармонических колебаний. Событие появления трещины можно именовать как **квантованное изменение стационарного гомеостатического состояния**.

Исходя из энциклопедического определения термина «квант» (нем. quant, лат. quantum - «сколько») как неделимой порции какой-либо физической величины, например, общее название определенной порции энергии (квант энергии). В основе понятия лежит представление квантовой механики о том, что **некоторые события (следствия) происходят при определенном минимально достаточном значении некоторой физической величины (причины)** - говорят, что **физическая величина квантуется**.

Имеется ещё одно важное для дефектоскопии определение: **«Квант - наименьшее возможное количество энергии, которое может быть поглощено или отдано молекулярной, атомной или ядерной системой в отдельном акте изменения ее стационарного состояния»**. В нашем рассмотрении молекулярной системой является НДС конструкционного материала, актом изменения состояния является появление исходной микротрещины, при этом, изменению стационарного энергетического состояния на

молекулярном уровне системы при мгновенном образовании исходной микротрещины соответствует пропорциональное изменение (уменьшение) площади траекторного эллиптического 3D-годографа на частоте **квантованного события**.

Подтверждением значимой важности изложенного выше являются факты использования законов квантовой механики при целенаправленном поиске и создании новых материалов. Поэтому она становится в значительной мере «инженерной» наукой, знание которой необходимо не только физикам-исследователям, но и инженерам. Законы квантовой механики составляют фундамент изучения строения вещества, позволяют установить природу химической связи, объяснить периодическую систему элементов. Поскольку свойства макроскопических тел определяются движением и взаимодействием частиц, из которых они состоят, **законы квантовой механики лежат в основе понимания большинства макроскопических явлений, к которым, в первую очередь, относятся текущие, прогнозные и критические эксплуатационные состояния конструкционных материалов.**

Велика роль квантовой механики для изучения световых энергетических процессов в оптике. Электромагнитное излучение, представляющее собой набор электромагнитных волн различных частот, динамически эквивалентно некоторому набору осцилляторов (колебательных систем). Излучение или поглощение волн эквивалентно возбуждению или затуханию соответствующих осцилляторов. При этом, излучение и поглощение электромагнитных волн веществом происходит квантами энергии. Именно благодаря свойству **энергетического квантования** в длинных оптических волокнах, анализ оптических интерференционных процессов, меняющихся под воздействием внешних акустических колебаний наблюдаемого объекта или процесса, позволяет анализировать с беспрецедентно высокой чувствительностью в необычайно широком частотном диапазоне.

«А. Эйнштейн обобщил идею **квантования энергии** осцилляторов электромагнитного поля на осцилляторы произвольной природы. Поскольку тепловое движение в твердых телах сводится к колебаниям атомов, то и твердое тело динамически эквивалентно набору осцилляторов. Энергия таких осцилляторов тоже квантована, т. е. разность соседних уровней энергии (энергий, которыми может обладать осциллятор) определяется частотами колебаний атомов, поэтому квантовая теория сыграла выдающуюся роль в развитии теории твёрдых тел. Если характерный для механических объектов и систем многочастотный спектр гармонических колебаний можно рассматривать в качестве осцилляторов механической природы, то представляется объяснимым **взаимное энергетическое влияние осцилляторов**, которое во множестве мгновенных комбинаций может быть причиной,

порождающей **квантованное событие** изменения стационарного состояния» [6]. Тогда событие появления трещины можно именовать как **квантованное изменение стационарного энергетического состояния** [7]. По этой гипотезе не только фотоны, но и протоны с электронами обладают волновыми свойствами, которые, в частности, должны проявляться в явлении дифракции.

Важнейшими достоинствами оптических методов акустических измерений при использовании в качестве метрологических инструментов карпускулярно-волновых свойств лазерных источников света, позволяющих системно наблюдать (реконструировать и анализировать) измеряемые параметры волновых акустических процессов, являются:

- а) мгновенная, со скоростью распространения света, передача измерительной информации;
- б) высокая частота опроса текущих мгновенных акустических состояний;
- в) безынерционная и помехоустойчивая система сбора и передачи измеряемой информации;
- г) микроинтерференционные метрологические процессы в длинных оптических контурах, аналитическая обработка которых позволяет создавать гиперчувствительные широкополосные высокоинформационные измеритель-анализаторы широкого динамического диапазона.

Поэтому природный феномен (механизм) происхождения **квантованных состояний** вместе с оптическими методами акустических измерений можно эффективно использовать в качестве **интеллектуальных инструментов LT-томографирования эксплуатационных свойств веществ и материалов**, модельной реконструкции текущих и прогнозных состояний материалов и тканей, наблюдения гомеостатических портретов (процессов) и формирования опережающих материаловедческих технологий по созданию **конструкционных материалов и биологических тканей VI технологического уклада с заданными и управляемыми свойствами**.

Создание квантово-волнового инструментария наблюдения для экспертных систем реального времени позволит реализовать оптимальное кибернетическое управление функционированием сложных объектов, представляющих техногенную и экотехнологическую опасность для Природы и жизнедеятельности Человека.

Квантово-волновые оптические приемники колебаний

Уникальные информационные квантово-волновые возможности оптики позволяют интегрировать прорывные измерительно-аналитические системы опережающего научно-технологического уровня. В рамках совместных работ проведена демонстрация метрологических возможностей макета ВОД в качестве Квантово-волнового оптического

вибропреобразователя (КВОВ) диагностических параметров текущих динамических состояний оболочек летательных аппаратов.

Инициативная работа филиала НПОА «ОКБ Автоматика» и Центра волновых технологий РИА подтвердила существенную перспективу создания на основе прецизионного гиперчувствительного оптического 3D-приемника механических колебаний уникального инструментального средства Волнового мониторинга, 4D-реконструкции векторно-фазовых параметров и анализа напряженно-деформированных состояний сплошных природных сред, силовых конструкций, машин и сооружений.

Амплитудно-частотная характеристика в ортогональном к поверхности КВОВ направлении представлена на рисунке 6. Спектр построен в программном обеспечении Cool Edit Pro 2.0 по алгоритму быстрого преобразования Фурье (FFT), количество точек преобразования Фурье 65536. Горизонтальная ось соответствует частоте колебаний в герцах в логарифмическом масштабе, вертикальная ось соответствует амплитуде колебаний в децибелах.

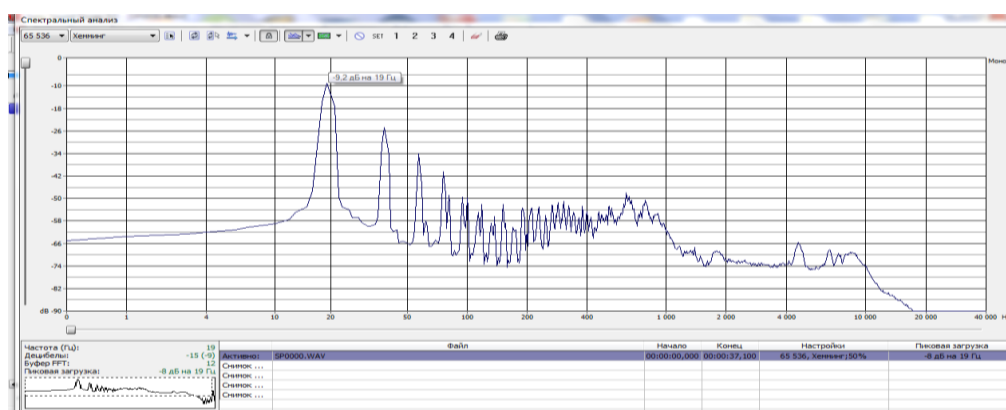


Рис. 6. АЧХ процесса гармонических колебаний 1D-стенда

Как следует из метрологических стендовых испытаний, внешние воздействия одночастотного стенда на чувствительный контур регистрируются в широком динамическом диапазоне до 20 кГц в виде ряда кратных рабочей частоте гармоник: 10 гармоник в диапазоне от 19 до 190 Гц и 10 гармоник в диапазоне от 190 до 380 Гц с продолжением частотного спектра с меньшей энергетикой в диапазоне от 1000 Гц до 18 кГц и более. Зарегистрированный процесс свидетельствует о гиперчувствительности КВОВ в беспрецедентно широком диапазоне частот.

В рамках корпоративной технологической мотивации и научных амбиций поддерживается актуальность ускорения реализации заявленных отраслевых **приложений квантово-волновой ИТ в системной кооперации НПП ООО «РЭМ-вибро» РИА и**

филиала НПОА СКБ «Автоматика» для наземных стендовых испытаний и последующего применения на объектах новой техники.

Методы Квантово-волновой реконструкции состояний (КВРС) опираются на чрезвычайно высокую чувствительность 4D-траекторных измерений текущих гомеостатических состояний и обладают **уникальным прогностно-диагностическим признаком бифуркационных квантованных процессов в конструкционных материалах на микроструктурном уровне. Синтезирование конструкционных материалов будущего невозможно без тонкого инструментария наблюдения динамики свойств состояний на микроструктурных атомно-молекулярных уровнях**, обладающего беспрецедентной гиперчувствительностью в диапазоне частот от нуля до сотен мГц. Это соответствует научному уровню VI технологического уклада, ориентированного на управляемый синтез свойств конструкционных материалов и биотканей.

По отзывам экспертов, физические аналоги разработанному волоконно-оптическому методу наблюдения виброакустических колебаний не известны. Фундаментальные исследования на ранней стадии создания ВИТ в 2010 году были поддержаны Тайваньским отделением Международной инженерной академии и **Грантом доктора Самуэла Ин. Новация** имеет экспериментальный научно-исследовательский статус и существенную перспективу развития в кластере УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ.

Авторы публикации выражают признательность и благодарность участникам проведения комплекса научных исследований и экспериментальных работ, в которых, помимо авторов настоящей публикации, приняли непосредственное участие Президент Российской инженерной академии, член-корреспондент РАН Гусев Б.В., руководитель Научной школы устойчивого развития Большаков Б.Е., председатель Уральского отделения РИА Зеленков В.А., председатель Совета директоров НПТК «Интро-ВИТ» Жучков В.М., Главный редактор старейшего российского научно-технического журнала «Двигатель» Бажанов А.И., ученые УрФУ Шульгин Б.В., Ищенко А.В., инженеры-исследователи и конструкторы филиала НПОА «ОКБ Автоматика» Баксанова И.С., Гудова Г.И., Шонохова А.А., Солдатов Д.А., Щербаков Ю.Д., Рыков Д.Е., Семенов Е.Г. и Штыков Г.А.

Литература

1. Левитский Д.Н, Сперанский А.А. и др. Инновационные возможности программно-аппаратной реконструкции деформационных полей для диагностического мониторинга агрегатов газотранспортных систем // Двигатель: №2, 2008. — С. 24-26.
2. Сперанский А.А., Галушкин Ю.А. Достоверные знания как концепция экотехнологического мониторинга в интересах устойчивого развития (часть 2) //

- Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление»: Т. 7, №4 (13), 2011 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rypravlenie.ru/?p=1087>, свободный.
3. Сперанский А.А. Природный феномен напряженно-деформированных состояний // Двигатель: №3, 2015. — С. 18-23.
 4. Шалимов Л.Н., Манько Н.Г., Штыков А.Н., Шестаков Г.В. и др. Проблемы волновой оптики и оптоволоконных устройств / под ред. проф. Шульгина Б.В. — Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015. — С. 274.
 5. 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.
 6. Леонов В.С. Фундаментальная теория упругой квантованной среды (УКС) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.quanton.ru/>, свободный.
 7. Галушкин Ю.А., Егорова М.Ю., Сидорова М.И. К вопросу о значении и ключевой роли открытия новых альтернативных источников энергии для устойчивого развития общества // Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление»: Т. 11, №1 (26), 2015 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rypravlenie.ru/?p=2202>, свободный.