

НАЗАД В БУДУЩЕЕ XVII ВЕКА

(РЕТРОСПЕКТИВА ФЕНОМЕНА КЛАССИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ УПРУГИХ СИСТЕМ)

Анатолий Алексеевич Сперанский,

Вице-президент Российской инженерной академии по науке и международному сотрудничеству, Президент Международного института антропогенной безопасности в Белграде, Заслуженный работник культуры РФ, Заслуженный инженер России, DExpert, профессор, академик РИА, МИА, IAA

Александр Альфредович Цернант,

Научный руководитель ЦНИИ Транспортного строительства и ФЦ стандартизации Минстроя РФ, Лауреат Госпремии СССР, Заслуженный строитель РФ, д.т.н., профессор, академик РАТ и РАЕН

Александр Иванович Бажанов,

Генеральный директор НПП "Рэм-вибро", главный редактор журнала "Двигатель", председатель НТС лаборатории "Техногенная безопасность" МИАБ, академик МИА, член-корр. РИА

Инь Бинь,

Председатель правления Российско-Китайского гуманитарного центра, заместитель гендиректора Китайского НТЦ РИА, академический советник Президента РИА, к.т.н., академик РАЕН

Светлой памяти профессора

Александра Альфредовича Цернанта,
выдающегося ученого в области механики грунтов

Наставнику от благодарных соавторов

ГЕНИАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ПРЕДВИДЕНИЯ XVII-XIX веков

Выдающийся английский естествоиспытатель и изобретатель Роберт Гук, член Лондонского королевского общества в 1660 году формулирует основополагающий закон механики, связывающий причину и следствие напряженно-деформированных состояний упругих систем сплошных сред. Одновременно, гениальный основоположник фундаментальной основы естествознания Исаак Ньютон сформировал три закона Классической механики (1687), основанные на концепции сплошности (непрерывности) и принципе суперпозиции, вместе с Готфридом Лейбницем создал дифференциальное и интегральное исчисления (1676), а их не менее гениальный продолжатель Леонард Эйлер (1742) системно объединил дифференциальное и интегральное исчисления. Успехи выдающейся когорты интеллектуалов взорвали интерес мировой науки к **Теории упругости в механике сплошных сред.**

Жозеф Луи Лагранж, ученик Леонарда Эйлера, научный руководитель Жана-Батиста Фурье и Симеона Пуассона, прославился как автор вариационных принципов анализа внутрискруктурных энергетических преобразований в теоретической механике. Первооткрыватели пространственных эллиптических уравнений напряжений Габриель Ламе и эллиптических уравнений деформаций Огюстен Луи Коши математически описали фазовые Lt -пространства в механике упругих систем. Триумф математиков укрепил Пьер-Симон де Лаплас, автор фундаментального "Трактата по небесной механике" (1796), один из создателей теории вероятностей.

Гениальные научные предвидения, продемонстрированные выдающимися механиками и математиками XVII-XIX веков, будучи фундаментальными знаниями пространственно-временной Lt -мерности, три с половиной столетия не были востребованы в задачах метрологии в связи с всеобщим господством методов усредненно-качественных скалярных измерений и усредненно-статистического анализа виброакустических колебательных процессов при полном отсутствии интеллектуальных Lt -инструментов наблюдения пространственно-временных напряженно-деформированных состояний в механике упругих систем сплошных сред.

ФЕНОМЕНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ПРОЗОРЛИВОСТЬ XIX-XX веков

Продолжив интеллектуальный прорыв в фундаментальных знаниях механики упругих систем во времена ремесленного технологического уклада XVII века и промышленных укладов двух научно-технологических революций XVIII-XIX веков, выдающиеся ученые-механики, акустики и математики проявили феноменальную научную прозорливость, творчески развивая теоретические основы новых знаний механики упругих систем и создавая соответствующий им

научный математический аппарат анализа и прогноза эксплуатационных состояний пространственно-временной Lt -мерности:

1. Анри Пуанкаре принадлежит авторство мультисциплинарной теории функций комплексных переменных, топологии и теории динамических систем, обладающих функциональной зависимостью каждого элемента от времени и положения в фазовом пространстве. Джозайя Уиллард Гиббс (1901) является одним из создателей тензорного (векторно-фазового) анализа, статистической физики и математической теории термодинамики.

2. Глубокий научный интерес к решению проблем безопасной эксплуатации технических систем сложился в России в начале XX века. Выдающийся русский ученый в области системных исследований, теории управления и устойчивости академик Александр М. Ляпунов, который с учетом работ У.Р. Эшби использовал применяемый в теории живых систем биосферы термин гомеостаз (homeostasis) и распространял его на описание, наблюдение и анализ процессов и состояний энергетических и механических преобразований в антропогенной области жизнедеятельности.

Понимаемый как состояние подвижного динамического равновесия природно-технических систем в обмене энергией, информацией и веществом с внешней, в том числе, окружающей природной средой, **гомеостаз в техносфере стал эффективным инструментом исследований, проектирования, моделирования, производства, испытаний, сертификации, валидации, эксплуатации, диагностики, ремонта и подтверждения соответствия тактико-технических характеристик (ТТХ) по всему жизненному циклу механических объектов сложных систем.** Выдающееся открытие А.М. Ляпунова через непрерывное наблюдение соответствия ТТХ существенно значимо для проблем оптимизации решений, эффективного прогнозирования аварийных состояний и чрезвычайных ситуаций, предупреждения и предотвращения катастроф. Более ста лет прикладные теории А.М. Ляпунова в контексте гомеостаза неживых систем в России и за рубежом не востребованы.

3. Одним из первых механиков, обративших внимание мировой метрологической общественности на **недостоверность скалярных измерений**, был выдающийся русский ученый-гидроакустик академик Алексей Н. Крылов, **обосновавший в теории векторно-фазовой реконструкции колебаний идею повышения мерности и временной связанности измерения пространственных компонентов механических колебаний.**

В общей фундаментальной научной постановке Lt -мерность учитывает обозначенную А.Н. Крыловым проблему "*фазности измерения компонентов*" векторных динамических параметров в векторном анализе как свойство временной связанности коэффициентов преобразования тензорной матрицы, устанавливающей сис-

темную причинно-следственную связь состояний в пространственно-временной мерности упругих физических состояний.

Выдающийся гидромеханик первым в мире опубликовал утверждение, что *"...поскольку энергетические колебательные процессы природного синтеза состояний механических систем имеют всеобщий пространственно-временной Lt -характер, то для их объективного наблюдения и адекватного анализа необходимо стремиться к мерности, соответствующей собственно наблюдаемым физическим колебательным процессам пространственно-временной 4D-мерности земной цивилизации"*. Около ста лет прикладная теория А.Н. Крылова в контексте соответствия мерностей наблюдения и анализа в России и за рубежом не востребована.

4. Исходя из Lt -мерности Земной цивилизации (шестая константа мироздания), ожидание новой метрологически-аналитической парадигмы позволяет обоснованно считать все диагностические параметры в механике упругих систем *"...аттракторами - компактным подмножеством полевых или дискретного p -мерного фазового пространства динамической системы, все траектории из некоторой окрестности которого с течением времени стремятся к нему..."*.

Термин ввел лауреат нобелевской премии академик Илья Р. Пригожин в качестве системной характеристики квазистационарных динамических процессов и состояний в теории неравновесности, и он как нельзя лучше отражает гомеостаз напряженно-деформированных состояний сплошных упругих сред. Эта феноменальная научная идея может породить целый кластер производных открытий - установление явлений, свойств, законов материального мира, ранее не установленных и доступных проверке.

Благодаря аттрактору гомеостаза в распоряжении проектировщиков, испытателей, диагностов и аналитиков появится огромный информационный массив измерительно-расчетных диагностических параметров с возможностью реализовать интеллектуальный процесс оцифровки с привязкой к моделям проектно-расчетной, предельных критических режимов и аналитической 4D-реконструкции мониторинга гомеостаза текущих и предиктивных (прогнозируемых) напряженно-деформированных состояний. Более полувека фундаментальная научная теория аттракторов нобелевского лауреата И.Р. Пригожина в метрологии не востребована.

5. В середине XX века в России реализована фундаментальная научная школа методов математического и физического моделирования академика Евгения А. Федосова.

Сформированы эффективные научные подходы в области разработки, исследования и испытаний сложных кибернетических систем, а также методы математического и физического моделирования штатных режимов, предельных состояний и соответствия ТТХ интеллектуальных объектов новой техники. Более полувека российская фундаментальная научная школа полунатурного стендового моделирования и встроенного интеллекта высокотехнологичных кибернетических авиационных систем специального применения в физических испытаниях не востребована.

6. Во второй половине XX века в виде двух европейских открытий опубликована теория прочности, устойчивости и динамики упругих систем профессора Александра П. Лещенко.

На основе вариационных методов расчета полной энергии упругой системы силовых конструкций открытия позволяют создавать адекватные пространственные энергетические модели напряженно-деформированных состояний, позволяющие прогнозировать момент их разрушения путем отыскания экстремальных функций, обеспечивающих минимум энергии в ресурсных задачах конструкционной прочности в машиностроении и строительстве. Около полувека со времени регистрации в Европе научных открытий А.П. Лещенко прикладные теории оценки прочности в России и за рубежом не востребованы.

7. Во второй половине XX века в авиационной отрасли России реализована прикладная научная школа энергетического машиностроения академика Олега Н. Фаворского. Школа развивает **новые методы создания перспективных авиадвигателей, наземных и летных исследований и испытаний силовых агрегатов, механизмов и машин на основе трендовой экспертизы систем техногенеза ре-**

ального времени для объективной оценки рисков и предиктивного анализа для своевременного эффективного предупреждения и предотвращения транспортных аварий и энерготехнологических катастроф. Более четверти века прикладная исследовательская школа высокотехнологичных испытаний и научного сопровождения эксплуатации авиадвигателей не развивается.

Невостребованность приведенных семи фундаментальных теорий и креативных прикладных научных школ является объективным фактором и, вместе с трудностями финансирования, объясняется отсутствием, вплоть до настоящего времени, эффективных инструментальных 3D-средств достоверного волнового мониторинга и адекватной 4D-реконструкции текущих эксплуатационных состояний реального времени. Таким образом, причиной системного информационно-метрологического отставания стало то, что до конца прошлого века общество не располагало инструментальными метрологическими и вычислительными средствами для эффективного наблюдения и анализа Lt -состояний опасных механических объектов упругих систем.

Феноменальная научно-практическая прозорливость плеяды выдающихся ученых XIX-XX веков в фундаментальной области знаний инженерных наук превзошла интеллектуальный базис цифрового уклада искусственного (машинного) интеллекта неограниченной информативности, но в течение целого столетия не была востребована в задачах преодоления глобальных антропогенных угроз по причине всеобщего господства управленческого невежества и всеобщей безответственности, усугубленных антинаучным консерватизмом в регламентации техногенной и технологической безопасности. Все это, по оправдавшимся прогнозам Римского клуба, *"...вергло цивилизацию XXI века в эпоху экотехнологических катастроф"*.

Реализация научно-технологической доктрины и концептуальной методологии техногенной безопасности, теоретически обоснованной выдающимися учеными XVII-XX веков, объективно стала возможной только с изобретением в начале XXI века учеными Российской инженерной академии векторных 3D-приемников виброакустических связанных колебаний, с созданием фазочувствительных 3D-сенсоров и метода достоверного наблюдения (измерения) спектра связанных временем компонентов пространственных диагностических параметров эксплуатационных состояний (1), гиперскоростных сетечентрических вычислительных технологий моделирования в реальном времени напряженно-деформированных состояний упругих объектов механических систем (2), адекватных пространственно-временных методов энергодинамического предиктивного спектрального 4D-траекторного анализа реального времени многопараметрических векторно-фазовых портретов (годографов) антропогенного гомеостаза (3) и созданием Теории траекторного энергетического анализа гомеостаза (4) волновых физических состояний упругих механических систем профессора Анатолия А. Сперанского.

Впервые в мировой метрологической практике научно обоснованы, разработаны и эффективно внедрены в прикладные исследования интеллектуальные инструментальные средства, интегрирующие ГЕНИАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ПРЕДВИДЕНИЯ выдающихся механиков и математиков XVII-XIX веков (I), ФЕНОМЕНАЛЬНУЮ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКУЮ ПРОЗОРЛИВОСТЬ выдающихся научных аналитиков в фундаментальных областях знаний инженерных наук XIX-XX веков (II) и ПРОРЫВНЫЕ КРЕАТИВНЫЕ ОТКРЫТИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА российских ученых начала XXI века (III) в актуальной области антропогенной безопасности.

ПРОРЫВНЫЕ ОТКРЫТИЯ российских ученых начала XXI века

Теоретически обоснованы, практически (методически) сформулированы, разработаны, изготовлены и успешно испытаны в многочисленных исследовательских приложениях оцифрованные опережающие технологические решения интеллектуального уровня:

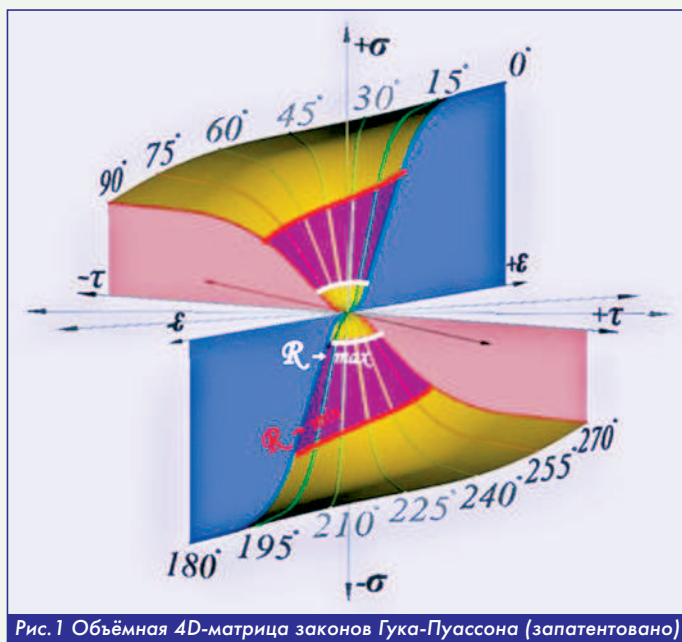
1. Способ векторно-фазового пространственно-временного измерения (АФЧХ) спектра виброакустических колебаний и конструкция волнового 3D-приемника (проф. А.А. Сперанский,

проф. А.А. Цернант).

2. Способ и устройство траекторно-связанной векторно-фазовой 4D-реконструкции измерений Lt -букета механических колебаний в измерительной точке (проф. А.А. Сперанский).

3. Способ и устройство волновой 4D-реконструкции текущих энергетических состояний связанного Lt -букета годографов в измерительных точках (проф. А.А. Сперанский, А.И. Бажанов).

4. Способ и устройство многопараметрической объемно-контурной визуализации дисплейно-виртуальных информационных образов текущих состояний (know-how, проф. А.А. Сперанский). Универсальная энергетическая модель текущего ресурсного состояния представлена в форме Объемной матрицы Гаука-Пуассона (рис. 1).



5. Способ и модель спектрального 4D-представления энергетического образа гомеостатического H -портрета ("букета") текущего эксплуатационного состояния (know-how, проф. А.А. Сперанский).

6. Способ и гомеостатическая вариационная Lt -модель многопараметрической энергетической реконструкции текущего ресурса конструкционной прочности (know-how, проф. А.А. Сперанский).

7. Способ и предиктивная Lt -модель реконструкции тренда техногенеза (прогнозной экспертизы гомеостаза) объектов механических систем (know-how, проф. А.А. Сперанский).

Первые четыре технологии из семи образуют законченный функциональный междисциплинарный универсальный волновой измерительный кластер под общим названием ВОЛНОВОЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЙ (ВМС или Wave Health Monitoring / WHM). В исследовательских приложениях при наблюдении полидинамических процессов и решении мультифизических задач с превалированием сложного гомеостатического подхода, измерительный кластер становится системным под общим названием **системный мониторинг состояний (СМС или System Health Monitoring / SHM)**.

Последние три технологии из семи образуют интеллектуально-аналитический кластер наблюдения и изучения природного гомеостаза состояний под общим названием **гомеостатический анализ состояний (ГАС или Homeostasis Health Analytic / HNA)**.

Исследовательская разработка аналитического кластера привела к теоретическому обоснованию всеобщих природных закономерностей и бифуркационного механизма микроструктурных энергетических трансформаций в упругой среде на молекулярном уровне под названием тензорное энергетическое преобразование состояний (ТЭПС или Tensor Energy Health Transformation / ТЕHT), введение в теорию Lt -состояний.

Семь креативных аппаратно-программных решений образуют универсальную ВОЛНОВУЮ ИНФОРМАЦИОННУЮ ТЕХНОЛОГИЮ безопасности среды обитания и жизнедеятельности человека

(ВИТ или Wave Information Technology / WIT), системно-связанную инновационными решениями на основе векторно-фазовой виброакустической метрологии. Высокая информативность наблюдения процессов и состояний механических систем с привлечением ВИТ на основе ВМС позволяет обосновано использовать новые информационно-метрологические ресурсы в задачах обеспечения эко-технологической безопасности.

Практически реализована и подтверждена во многочисленных исследовательских приложениях Цифровая информационно-аналитическая платформа "Волновой Мониторинг Состояний" (ЦИАП ВМС / Wave Health Monitoring / WHM) кластера антропогенной техногенно-технологической безопасности, которая реализует виртуально-модельную стратегию инженерной фундаментальной науки ближайшего будущего через создание предиктивных экспертных систем реального времени для эффективного прогноза гомеостаза (техногенеза) на основе моделирующего инструментария искусственного интеллекта полного жизненного цикла.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ИТОГ 350-летнего научного марафона

Эффективность Волнового аналитического инструментария многократно подтверждена в многочисленных исследовательских приложениях:

- в авиакосмическом машиностроении: ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова", АО "ОДК", АО "ВНИИ электромеханики" ГК "РосКосмос", ПАО "ОДК-Сатурн", АО "НПП "Мотор", АО "Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля", АО "ДУКС", АО "ОКБ им. Березняка" (Дубна), АО "НПО Автоматики им. Семихатова" ГК "РосКосмос", АО "НИИ космического приборостроения", АО "ЦАГИ - системы моделирования", ОАО "А. Лялька - Сатурн", НТУ МАИ и др.;

- в тепловой и атомной энергетике: РАО "ЕЭС России", ПАО "Мосэнерго", НИЦ "Курчатовский институт", ОАО "Всероссийский теплотехнический институт" МинЭнерго, ВНИИ атомных электростанций ГК "РосАтом", НТУ МЭИ и др.;

- на трубопроводном транспорте: ПАО "Газпром", АО "Газпром оргэнергогаз", ФГАОУ ВО "РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина";

- в строительстве: АО "ЦНИИ транспортного строительства" и др.

Оформлены отзывы научно-координационных советов РАН, ведущих ученых Российской академии наук (академики РАН Владимир Е. Фортвов, Олег Н. Фаворский, Константин В. Фролов, Гурген Г. Ольховский, Александр С. Сигов, Сергей Ю. Желтов, Камо С. Демирчян, Георгий С. Голицын, Дмитрий С. Стребков, Михаил Ч. Залиханов, Борис В. Гусев, Николай А. Махутов, Анатолий В. Кулаков и др.).

Технология Wave Health Monitoring / WHM является победителем Национального Конкурса русских инноваций 2004 г. в номинации "Перспективные решения для IT", послужила основанием научного Гранта Российского Фонда фундаментальных исследований по теме "Волновые инструменты исследования анизотропии упругих систем" в 2006 г., исследовательских грантов ОАО "Газпром" по приоритетному направлению "Перевод эксплуатации ГПА компрессорных станций с регламента на техническое обслуживание по текущему состоянию" в 2008 г. и Международного научного фонда "Инженерная мысль" в 2010 г., Победитель национального конкурса "Лучший отечественный прибор года" в 2009 г., Лауреат национального конкурса "Единое средство измерений" с вручением "Золотого знака качества" Росстандарта РФ в 2010 г., является Лауреатом национальных инженерных премий им. К.Э. Циолковского, им. Н.Т. Калашникова, им А. Чохова, им. Братьев Черепановых, им. Первопечатника И. Федорова, Лауреат трех международных конкурсов "Лидер в области высоких технологий" с вручением Знака отличия Правительства Москвы "Святой Георгий" трех степеней, Лауреат международного салона инноваций "Архимед".

Технология WHM вошла:

- в топ-5 из 100 участников AeroInnovate Business Accelerator program of the University of Wisconsin Oshkosh (USA) и американск-

кой Ассоциации экспериментального авиастроения (EAA), приняла участие в качестве экспонента в крупнейшем американском авиашоу AirVenture Oshkosh 2015;

- в топ-100 участников Hello Tomorrow Global Conference 2015 Paris в числе лучших технологических стартапов Европейского салона лидеров индустриального рынка (2,78 % от 3600 участников из 90 стран) с участием NASA & Airbus CTOs; Европейского форума стартапов Space Frontier Foundation & Deep Space Industries соfounders под девизом "Расширение прав и возможностей тех, кто осмеливается решать сегодня самые сложные проблемы с помощью научных и технологических прорывов".

Технология WHM в 2016 году применена в сравнительных испытаниях Международной корпорации AIRBUS Operations GmbH (ZAL-center, Hamburg) совместно с фирмой NLR (Holland) в проекте "Исследование процесса влияния механических повреждений на ресурсное состояние конструкции новой композитной обшивки космического аппарата"; стала резидентом Accelerator STARBURST Aerospace Innovation HUB "Investing in the Future" (Paris) и участником Госпрограммы FrenchTiket при финансовой поддержке Минэкономики Франции в 2017-2018 годах. При защите выполненного проекта на Научно-техническом комитете AIRBUS международные эксперты оценили опережающий уровень технологии WHM в 15-20 лет по отношению к мировым технологиям ресурсных испытаний.

На I Международной конференции STRUCTURAL INTEGRITY for offshore energy industry (Aberdeen, UK) и Всемирной встрече военноморских технологий для будущего EURONAVAL 2018 (Париж) технологией WHM с пониманием заинтересовались две лидирующие в мире финские морские компании - Wartsyla и Meyer Turku. Такой-же интерес проявляют НИЦ "Курчатовский институт", ВНИИ атомных электростанций РосЭнергоАтома, и МКБ "Рубин", предоставившие заключения аттестованных экспертов об актуальности Цифровой платформы "Волновой мониторинг состояний" для РосАтома.

В течение 2016-2019 годов по приглашению Британского фонда венчурных инвестиций "Imprimatur" в Европейских университетах, по приглашению Объединенного института ядерных исследований в Госуниверситете "Дубна" и по приглашению Международной Ассоциации поддержки талантов в Пекинском политехническом университете и Институте аэрокосмических исследований прочитаны постановочные циклы лекций "Введение в теорию L_t-измере-

ний в Механике упругих систем" и "Интеллектуальные L_t-инструменты наблюдения эксплуатационных состояний объектов механических систем в цифровой среде".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в мировой практике реализовано гениальное предсказание вековой давности выдающегося русского ученого академика А.М. Ляпунова о единой гомеостатической природе всеобщих фундаментальных закономерностей природы - живой биосферы и неживой техносферы. **Наблюдение процессов и состояний гомеостаза стало возможным только с созданием инструментов пространственно-временных L_t-измерений параметров волновых механических полей и мощных вычислительных IT-ресурсов. Появилась возможность оперативно оценивать текущий ресурс конструкционной прочности для достоверного прогноза и снижения киберрисков управленческих решений для надежного своевременного предупреждения и предотвращения чрезвычайных ситуаций.**

На основе теоретических доказательств и подтверждающих их экспериментальных исследований сформирован принципиально новый, опережающий современников взгляд на некоторые существенные аспекты фундаментальных знаний основоположников классической механики, механики сплошной среды, механики упругих систем, волновой механики, термодинамики, теории систем, тензорного анализа, теории упругости, вариационного метода, пространственной метрологии деформационных полей и т.п., НЕ ВОСТРЕБОВАННЫЕ БОЛЕЕ ТРЕХСОТ ПЯТИДЕСЯТИ ЛЕТ в практических наблюдениях процессов, состояний и закономерностей механических объектов и систем.

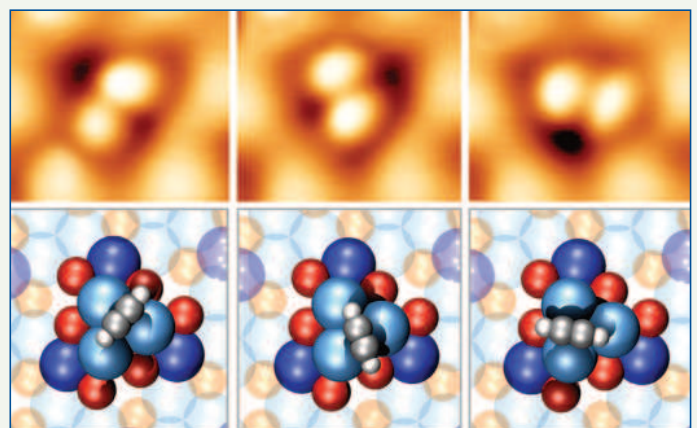
Полезность созданного Научно-технологического продукта ЦИАП ВМС интеллектуального уровня впервые в мировой метрологической практике позволяет эффективно прогнозировать и своевременно предотвращать техногенно-технологические аварии и катастрофы в тепловой, атомной и гидроэнергетике, в наземном, авиационно-космическом, морском и трубопроводном транспорте, в промышленном, гражданском и специальном строительстве, а также в машиностроении, материаловедении и научных исследованиях во имя безопасности жизнедеятельности, устойчивого прогресса общества и комфортного благосостояния человека. □

ИНФОРМАЦИЯ. 16-атомный двигатель

В Швейцарском федеральном политехническом университете Лозанны создали один из самых маленьких двигателей, состоящем всего из 16 атомов различных химических элементов.

"Конструкция" этого нанодвигателя подобна электродвигателю: у неё есть неподвижная часть - статор, над "поверхностью" которого находится подвижная часть - ротор. В качестве статора выступает группа из шести атомов палладия и шести атомов галлия, которые формируют треугольную структуру. Ротором является молекула ацетилен, состоящая из четырех атомов, вращающаяся на поверхности статора, и все это вместе имеет размер, не превышающий одного нанометра.

Предполагается, что этот нанодвигатель приводится в действие тепловой или электрической энергией, хотя физикам (и другим учёным) пока не удаётся полностью объяснить механизм взаимодействия атомов ротора и статора. Ротор нанодвигателя начинать вращаться при температуре всего на 17 градусов выше абсолютного нуля или под электрическим потенциалом менее 30 милливольт. При получении тепловой энергии из окружающей среды ротор нанодвигателя начинает вращаться, но направление вращения ротора является совершенно случайной величиной. Когда же к этому нанодвигателю при помощи наконечника сканирующего туннельного микроскопа подводится электрический потенциал определенной полярности, ротор начинает вращаться в определенном направлении в 99 случаях из 100. Возможность управления направлением и скоростью вращения ротора нанодвигателя при помощи полярности и величины прикладываемого к нему элект-



рического потенциала делает этот двигатель более перспективным для практического применения, нежели созданные ранее другие типы молекулярных двигателей, о которых будут опубликованы отдельные статьи в "Двигателе".

В перспективе, новый двигатель может быть использован не только для приведения в действие наноразмерных механизмов и машин (в том числе нанороботов), он также может быть использован в качестве двигателя для привода генератора электрического тока; надо только подсоединить к ротору ось и генератор. И тогда появится возможность собирать и преобразовывать тепловую энергию, выделяющуюся при работе любых электронных устройств. □