СЛОВО О ВЕЧНО НОВОЙ МЕХАНИКЕ

Г.Г. ЧЁРНЫЙ

ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ МГУ

Лекция, прочитанная по программе общества «Знание» в Московском политехническом музее 20 марта 2008 года.

Предисловие автора к печатному варианту лекции.

Лекция была подготовлена и прочитана в Московском политехническом музее по просьбе моего давнего друга академика Гурия Ивановича Марчука. Я благодарен Гурию Ивановичу за приглашение участвовать в руководимой им программе выступлений членов Российской академии наук, организуемых обществом «Знание». Видео-аудио съёмка лекции выполнена Борисом Семеновичем Соловьёвым, близким мне человеком, совсем недавно ушедшим из жизни. Я, печалясь о нём, с благодарностью отмечаю его вклад в создание и публикацию этой работы. Превращение голосовой части съёмки в значительно улучшенный и отредактированный текст с иллюстрациями произведена Павлом Юрьевичем Георгиевским. Ему за эту весьма непростую работу – моя особая благодарность. Сама лекция не могла бы состояться без помощи моих коллег: Роберта Вениаминовича Гольдштейна, Владислава Валерьевича Измоденова, Вячеслава Дмитриевича Котёлкина, Юрия Григорьевича Мартыненко, Олега Эдуардовича Мельника, которые по моей просьбе подготовили необходимый материал. За это им – моя глубокая признательность.

Введение

Мы, люди, как и другие живые существа, живем на нашей прекрасной планете – Земле. Всё, что происходит вокруг нас и внутри нас – потоки автомобилей на улицах, полет лайнера в небе, внезапные катастрофические наступления ледников и обвалы снежных лавин, изгибание стального листа под штампом, взрывы угольной пыли в шахтах, пляска пылинок в солнечном луче, парение орла и стремительное плавание дельфина, неустанное биение сердца и ток крови в живом организме – всё это связано с движением и взаимодействием одних тел и сред с другими, с изменением их свойств при движении.

Мы, люди, обладаем разумом и стремимся изучить и понять то, что происходит в природе на недоступном от нас (пока!) расстоянии – в Солнечной системе и далеко за её пределами. Нам интересно и то, что происходит в недоступном нашим прямым ощущениям микромире. И здесь – в большой Вселенной, и в микромире все объекты движутся и взаимодействуют один с другим.

Изучением движения и взаимодействия материальных объектов в природе и в человеческих творениях занимается одна из древнейших наук – механика и её представители – учёные-механики.

В наше время исключение представляет лишь микромир, его изучение – предмет физики. Раньше исключением было и всё то, что находится за пределами Земли, – космос. Этим занимались астрономы: они изучали нашу звезду – Солнце и окружающие его планеты и другие космические тела, а также более удалённые звёздные системы и отдельные звёзды в них. Но ещё в самом начале оформления механики как науки возникла её отдельная ветвь – небесная механика, продолжающая развиваться и приносить результаты и в наше время. Механика проникла и всё теснее переплетается с новой наукой – астрофизикой, изучающей процессы в различных космических объектах. Без механики делать это невозможно – ведь и там всё происходит в движении!

Механика является научной основой большинства, если не всех, областей техники: промышленности, строительства, транспорта – сухопутного, водного, воздушного, космического, техники сельскохозяйственного производства, военной техники.

Может ли кто-нибудь оспаривать, что все существующие виды вооружений, обычных и ядерных, несмотря на большую роль в их развитии и применении компьютерных и информационных технологий, прежде всего, и в основном, это продукты развития механики. И авиация, и артиллерия, и бронетехника, и надводные и подводные суда, ракетная техника всех видов – от стратегических ракет до противотанковых и ещё меньшего калибра – всё это продукты механики. Без прогресса в механике создание современных высокотехнологичных видов вооружения невозможно!

Развитию механики в нашей стране всегда придавалось большое значение со стороны государства. Это шло ещё с дореволюционного времени. Декретами советской власти в 1918 году были почти одновременно созданы Физико-технический институт во главе с А.Ф. Иоффе и Центральный аэрогидродинамический институт во главе с Н.Е. Жуковским и С.А. Чаплыгиным. Это было началом создания широкой сети научных институтов естественно-научного и технического профиля в стране.

Как директор Института механики (в прошлом), я знаю, как пристально следили за развитием механики, за полученными учёными-механиками результатами в высших эшелонах власти СССР, прежде всего, в Центральном комитете партии и в правительстве и, особенно, в руководстве Военно-промышленной комиссии. Генеральные и главные конструкторы учреждений почти во всех областях техники искали опору при создании новых изделий в результатах научно-исследовательских центров, тесно связанных с механикой.

В 30-70 годах прошлого столетия, благодаря широкому фронту исследовательских работ и сложившейся в это время когорте выдающихся

учёных-механиков, СССР прочно занимал в мире лидирующие позиции в механике. В ведущих университетах страны были созданы механико-математические (математико-механические) факультеты, в высших технических институтах – многие кафедры механического профиля. Академия наук СССР вступила и активно действовала в IUTAM (Международный союз по теоретической и прикладной механике), советские учёные неизменно входили в руководство этим союзом. Раз в 5 лет созывались всесоюзные съезды по механике с тысячами участников, регулярно происходили многолюдные совещания заведующих кафедрами механики.

Механика безапелляционно признавалась фундаментальной наукой, основой развития важнейших областей народного хозяйства и его оборонной ветви.

В новой России положение механики и отношение к ней на государственном уровне кардинально изменились. В первое десятилетие нового режима была разрушена система научных институтов промышленности, активно работавших и над многими фундаментальными проблемами механики, с их многочисленными коллективами и хорошо оснащёнными лабораториями.

Впоследствии решениями органов власти при пассивной позиции Российской академии наук и всего научно-технического сообщества механика была исключена из перечня фундаментальных наук, разработки в области механики были исключены из списка ключевых технологий федерального значения. Министерство образования и науки РФ не проводит конкурсы на выполнение работ по проблемам механики. При изменении структуры РАН отделение механики, машиностроения и процессов управления оказалось в отделении проблем энергетики, машиностроения, механики и процессов управления. Ведущая роль механики в прежнем отделении в новой структуре отделения была утрачена.

Резко уменьшилось число кафедр механического профиля в технических вузах.

В самое последнее время происходит изгнание самого термина «механика» из названий университетских факультетов и институтов. Фактически ликвидирован Институт механики в Санкт-Петербургском университете. В Ульяновском государственном университете механико-математический факультет стал факультетом математики и вычислительных технологий. Такого рода примеры можно продолжить.

Даже в Московском государственном университете под давлением Министерства науки и образования специальность «механика», существовавшая более 70 лет, после нескольких трансформаций превратилась в «механику и математическое моделирование», причём в паспорте специальности при её описании о механике по сути вообще нет речи, всё сведено лишь к математическому моделированию.

Совсем новое действие в Российской академии наук – исключение механики из списка наук, важных для развития нанотехнологий. Разве не об этом свидетельствует то, что из 30 выделенных правительством вакансий для избрания в члены академии по этой специальности ни одна не попала в отделение к учёным-механикам?

Бесспорно, значительная часть перспективных инновационных технологий основана на достижениях других наук – физики, химии, биологии. Однако, столь же бесспорно, и я постараюсь это показать в настоящей лекции, что использование этих научных достижений для нужд общества абсолютно невозможно без опоры на традиционные и новейшие результаты механики.

Утвердившаяся в последние десятилетия тенденция умаления места и роли механики в ряду фундаментальных наук, совершенно необоснованна и, более того, чрезвычайно вредна, чревата тяжёлыми последствиями. Эта тенденция будет иметь пагубные последствия для подъёма народного хозяйства страны и, особенно, для сохранения и укрепления обороноспособности государства.

К глубокому сожалению, эта вредная тенденция активно поддерживается не только рядом отечественных учёных, главным образом, физиков, в том числе выдающихся, но и Министерством образования и науки РФ. Руководство Российской академии наук не определило чётко свою позицию по отношению к этой тенденции.

«Классическая теория упругости – не наука», «Создание газодинамических лазеров технологического назначения – не наука», «Исследование взаимодействия плазменных образований различной природы с высокоскоростными потоками газа – не наука» – это цитаты из высказываний именитых физиков на заседаниях президиума Академии наук в последние годы!

В этой лекции я хотел бы противопоставить развивающейся негативной тенденции доказательства того, что современная механика – не только нестареющая, вечно новая наука, а важнейшая фундаментальная наука со своей методологией, со своими теоретическими и зкспериментальными подходами к решению задач, наука быстро развивающаяся, захватывающая всё более и более широкий спектр явлений и приложений, наука, имеющая не только выдающиеся исторические достижения, но и в самое последнее время получившая феноменальные, поражающие воображение результаты; наука, без развития которой, как уже было сказано, абсолютно невозможно использование большинства достижений других естественных наук.

Вся ракетная техника и основанная на ней космонавтика – это ли не триумф механики? Именно механика (конечно, вкупе с некоторыми другими науками), разрешив ей присущими методами труднейшие научные задачи, позволила конструкторам создать совершенные системы вывода на

орбиты искусственных спутников Земли, межконтинентальных баллистических ракет, космических аппаратов различного назначения.

А разве не триумфом механики следует назвать удивительные успехи науки и техники в изучении Солнечной системы?

Рассмотрю некоторые примеры в подтверждение сказанного.

Начну с примеров естественнонаучного содержания. Эти примеры говорят о вторжении механики в области других наук и об успехе и чрезвычайной плодотворности такого вторжения.

Исследование планет Солнечной системы

Успехи механики в этих исследованиях не новы. Ещё в 1846 году научный мир был поражён открытием Лёверье «на кончике пера» новой, неизвестной тогда планеты – Нептуна.

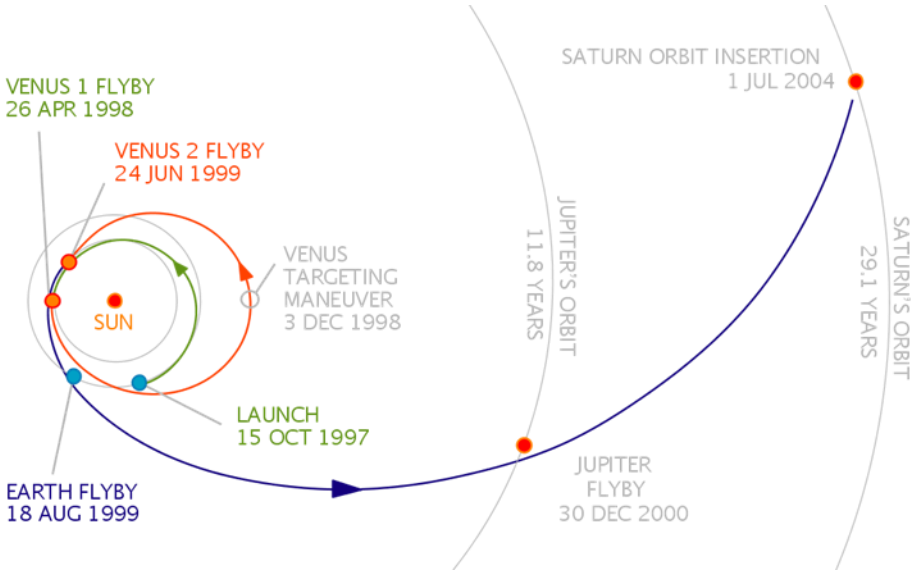


Рис. 1. Траектория полета к планете Сатурн европейского космического аппарата Кассини – Гюйгенс.

Приведу пример блестящего успеха механики нового времени.

В октябре 1997 года, более 10 лет тому назад, в сторону Сатурна был запущен европейский космический аппарат Кассини – Гюйгенс.

Сложна и удивительна траектория его полёта к Сатурну (см. рис. 1). В ней для минимизации энергии, необходимой для перелёта, а также с целью попутных научных исследований Юпитера использованы поля тяготения других планет, совершены так называемые гравитационные манёвры: дважды пролёт вблизи Венеры, в промежутке – пролёт мимо Земли и, наконец, пролёт на малом расстоянии мимо Юпитера. Сложные расчёты траектории осуществлены механиками. Замечу, что у нас в России давно был разработан проект полёта аппарата в пояс астероидов к малым телам Солнечной системы с посещением некоторых из них. Расчёт сложной траектории этого перелёта с совершением гравитационных манёвров был вы-

полнен в академическом Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша учёными-механиками. К сожалению, общая ситуация в стране воспрепятствовала осуществлению этого проекта.

Аппарат Кассини-Гюйгенс приблизился к Сатурну в июне 2004 года и вышел на орбиту вокруг него, которая в фазе сближения с планетой отстояла от поверхности планеты на расстояние, равное всего одной трети её радиуса. Находясь на орбите Сатурна в течение четырёх лет, аппарат совершил около 60-ти оборотов вокруг планеты, многократно сближался с её поверхностью и с её наиболее интересными спутниками, дважды пересёк в обоих направлениях область колец, получив в результате ценнейшие результаты о природе планеты, её спутников и колец. Плановые изменения орбиты (ориентация управляющих двигателей, момент их включения, время работы) выполнялись опять же по расчётам учёных-механиков.

25 декабря 2004 года от аппарата Кассини отделился зонд Гюйгенс, совершивший 14 января 2005 года мягкую посадку на поверхность Титана – самого крупного спутника Сатурна. Выбор способа посадки зонда и, соответственно, его конструкции, расчёт траектории посадки в плотной атмосфере Титана, всё это – дело учёных-механиков. Приборы зафиксировали и передали на Землю данные о вулканической деятельности на этом спутнике – извержение жидкой серы в его метановую газовую оболочку

До посадки зонда Гюйгенс на Титан аппарат Кассини совершил больше тридцати сближений с ним и приближался ещё к четырём обледенелым спутникам планеты.

Отмечу, что задолго до посещения Сатурна космическими аппаратами была разработана теория колец Сатурна. В основе этой теории лежит механическая, гидродинамическая модель колец А.М. Фридмана (ныне – академика). Наличие просветов в кольцах он объяснил чисто механическим эффектом – резонансным взаимодействием материала кольца со спутниками. Это дало ему возможность предсказать наличие у Сатурна, кроме уже известных, ещё одиннадцати (!) спутников. Предсказание впоследствии подтвердилось при полётах космических аппаратов.

Описанная миссия Кассини-Гюйгенс, длившаяся свыше семи лет на удалении в сотни миллионов километров от Земли, принесшая небывалый научный успех, вызвавшая восторг в научном мире – разве это не есть блестящий триумф механики, высочайшее подтверждение её расцвета, её новых возможностей?!

Взаимодействие солнечного ветра с межзвёздной средой

В том же ряду успехов стоит и принадлежащее нашим механикам теоретическое исследование структуры области взаимодействия гелиосферы – пространства, заполненного солнечным ветром, с межзвёздной

средой. Солнечный ветер – это испускаемый Солнцем во все стороны сверхзвуковой поток полностью ионизованной плазмы.

Так как Солнце вместе с системой планет движется относительно окружающей межзвёздной среды (тоже со сверхзвуковой скоростью), то возникает задача о взаимодействии солнечного ветра с межзвёздной средой. Качественная картина этого взаимодействия показана на рис. 2. Потоки солнечного ветра и заряженной компоненты межзвёздной среды отделяются один от другого тангенциальным разрывом, называемым гелиопаузой. На этой поверхности уравниваются давления обеих сред, обтекающих гелиопаузу с внутренней и внешней сторон соответственно. При обтекании тангенциального разрыва сверхзвуковым потоком солнечного ветра с внутренней стороны образуется гелиосферная ударная волна. При обтекании того же разрыва с внешней стороны сверхзвуковым потоком межзвёздной среды образуется головная ударная волна.

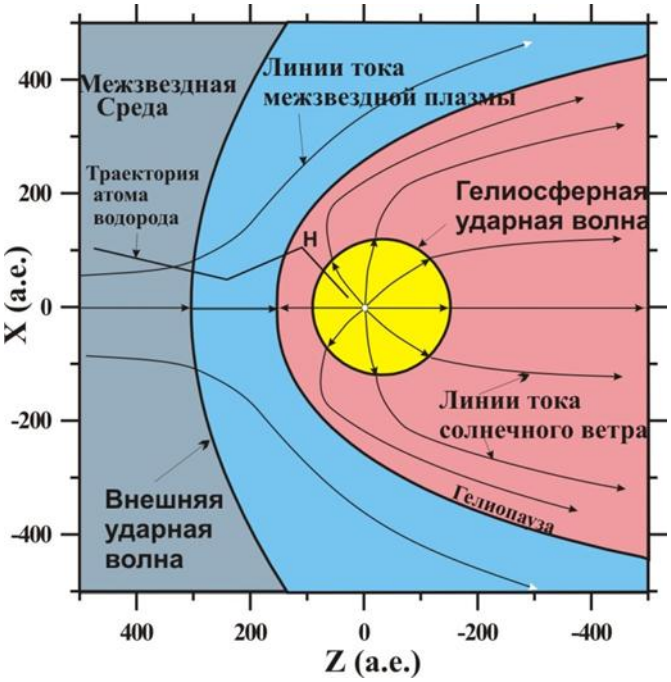


Рис. 2. Схема взаимодействия солнечного ветра с межзвёздной средой.

Помимо заряженных частиц в межзвёздной среде имеются и нейтральные атомы, преимущественно водорода. Эти атомы проникают внутрь гелиосферы сквозь поверхность разрыва, так как длина их свободного пробега сравнима с расстоянием между Солнцем и тангенциальным разрывом.

Вместе с тем нейтральные атомы взаимодействуют с плазмой посредством перезарядки. Задача о взаимодействии солнечного ветра с межзвёздной средой с учетом межзвёздных атомов водорода, а также с учетом других компонент и процессов (таких как магнитное поле, космические лучи, неоднородность и нестационарность солнечного ветра) была решена учёными-механиками В.Б. Барановым (Институт проблем механики РАН), В.В. Измоденовым (Кафедра аэромеханики и газовой динамики механико-математического факультета МГУ) и их коллегами.

В частности ими выяснено, что учёт перезарядки в расчётной модели приводит к изменению положения поверхностей разрывов, которые оказываются значительно ближе к Солнцу, чем без учёта эффекта перезарядки. Предсказано само существование гелиосферной ударной волны; это было подтверждено космическими аппаратами Voyager 1 (декабрь 2004

года, расстояние от Солнца до волны по оценке равно 94 а.е.[*]) и Voyager 2 (сентябрь 2007 года, расстояние – 84 а.е.). Предсказано увеличение концентрации атомов межзвёздного водорода перед гелиопаузой. Водородная «стенка» образуется из-за перезарядки первичных атомов водорода на заторможенных (на внешней ударной волне) межзвёздных протонах. Этот теоретический результат подтверждён данными, полученными теми же космическими аппаратами.

Анализ данных космических аппаратов Voyager 1, Voyager 2, SOHO, Прогноз, Pioneer 10, Ulysses и др. полностью подтвердил предсказанное учёными-механиками существование области взаимодействия солнечного ветра с межзвездной средой и обогатил наши представления об этой области.

В 2008 году для продолжения изучения области взаимодействия солнечного ветра с межзвездной средой запущен космический аппарат – Interstellar Boundary Explorer (IBEX).

Геологическая история Земли. Механическая модель образования суперконтинентов.

Вначале несколько слов о современной конвекционной теории динамики земной коры, разработанной учёным-механиком академиком В.П. Мясниковым.

Согласно этой теории принимается, что в центральной области Земли располагается её сферическое ядро. Вследствие действия силы гравитации материал ядра находится при колоссальном давлении, а происходящие в нём ядерные процессы разогревают его до высокой температуры. Ядро считается твёрдым, так что происходящими в нём внутренними движениями пренебрегают. Таким образом, ядро является постоянно действующим (в геологическом масштабе времени) источником тепла; это тепло нагревает окружающие слои Земли и, в конечном счёте, излучается в окружающее Землю пространство.

Ядро окружено мантией, состоящей из двух слоёв с разным минеральным составом – верхнего и нижнего, разделённых поверхностью. Возможен переход вещества мантии из верхнего слоя в нижний с поглощением тепла. Верхний слой мантии имеет по данным геологов толщину порядка 650 км. Вещество обоих слоёв мантии обладает большей подвижностью, чем вещество ядра, и описывается в теории В.П. Мясникова моделью сильно вязкой жидкости, движение которой происходит с очень малой скоростью, а потому может рассматриваться как безынерционное.

---

[*] а.е. – астрономическая единица – среднее расстояние от Земли до Солнца, примерно 150 млн. км.

Существует простой режим стационарного нахождения такой модели в сферически симметричном состоянии без движения. В таком режиме поток тепла тоже стационарен и направлен по радиусу от ядра к поверхности Земли. При этом верхний слой мантии будет более холодным, а потому, в соответствии с составом слоёв, более тяжёлым, чем нижний.

В классической механике конвективных течений вязкой жидкости хорошо известно, что такая ситуация неустойчива (неустойчивость Рэлея-Тэйлора). Малые (случайные) отклонения от описанного стационарного состояния дают начало полной перестройке этого состояния. Более тяжёлый верхний слой «проваливается» в виде языков в более лёгкий нижний, вытесняя его вещество вверх.

В работе В.Д. Котёлкина – сотрудника уже упоминавшейся кафедры механико-математического факультета МГУ и сотрудника Института океанологии РАН Л.И. Лобковского методами механики с учётом происходящих в мантии физико-химических процессов прослежено, что произойдёт в процессе эволюции описанной выше модели мантии Земли при начальных малых возмущениях её заданного сферически симметричного состояния.

Выяснено, что развитие неустойчивости поверхности раздела слоёв мантии, приводит в результате, к глобальной её перестройке. Верхний, более холодный и тяжёлый слой мантии, гигантской струёй сливается вглубь Земли, обволакивая её ядро. При этом вещество нижнего, более теплого и лёгкого слоя вытесняется на поверхность пятью-семью менее мощными струями, чем струя, идущая вниз. Всплывающий материал образует новые континенты (материки) и новые контуры разделяющих их океанов.

Согласно взглядам геологов под влиянием конвективных движений мантии, вызванных тепловыми процессами, континенты, разделённые океанами, находятся в непрерывном движении. За 4.5 миллиарда лет геологической летописи Земли разделённые континенты четыре раза объединялись и образовывались огромные суперконтиненты – Пангеи, которые окружал мегаокеан Панталасса.

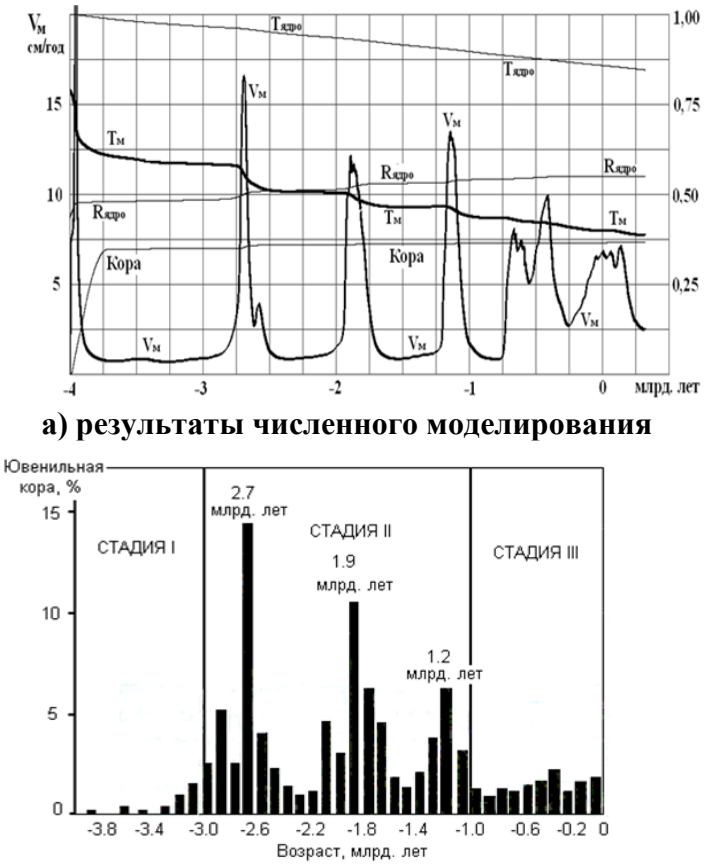
Время существования суперконтинентов – примерно 100-150 млн. лет. Затем они снова начинали расходиться, раскрывая новые океаны. В настоящее время продолжается (уже 200 млн. лет) раскрытие Атлантического океана, а наследником Панталассы является Тихий океан. Полный период этих самых грандиозных по масштабам пространства и времени циклов на Земле (циклов Вильсона), составляет 650-900 млн. лет. Вопрос о том, что является причиной и каков механизм этих глобальных перестроений, был неясен.

Способной ответить на этот вопрос оказалась только современная механика! Как уже было сказано и объяснено выше, именно механиками открыто новое удивительное явление при эволюции Земли – мантийный переворот. Это явление позволило не только понять и объяснить причины

фиксируемых геологами перестроений, но и детально воспроизвести ряд других событий и циклов земной истории.

Установлена важная роль эндотермического фазового перехода на поверхности раздела верхней и нижней мантии. На глубине примерно 670 км происходит переход: шпинель → перовскит + магнезиовюстит, $(MgFe)_2SiO_4 \rightarrow (MgFe)SiO_3 + (MgFe)O$, с поглощением энергии и 10%-ным уплотнением вещества, который способствует расслоенной двухъярусной конвекции. При такой конвекции верхняя мантия остывает и в ней накапливается тяжелое вещество, а нижняя мантия нагревается и в ней накапливается легкое вещество. Таким образом, формируется и постепенно усиливается неустойчивая конфигурация мантии в целом. После достижения определенного критического уровня, фазовый барьер оказывается не в состоянии удержать двухъярусный режим конвекции и происходит явление самоорганизованного мантийного переворота, когда за относительно короткое время значительная масса тяжелого и холодного верхнемантийного вещества переходит в нижнюю мантию и эквивалентное количество легкого и горячего вещества нижней мантий поступает в верхнюю мантию.

В геологической истории Земли геологи отмечают ряд периодов, когда континенты объединялись в один мегаконтинент. На рис. 3 приведено сравнение зависимости расчётных данных о средней скорости перемещения континентов по времени и геологических данных о доле так называемых ювенильных пород в строении континентов (математическая модель содержит свободные масштабные параметры, авторы выбрали масштаб времени из условия наилучшего согласования приведённых данных). Результат поразителен! И достигнут он путём использования методов механики.



а) результаты численного моделирования

б) геологические данные [Condie, 1998]

Рис. 3. Суперконтинентальная история Земли.

Отмечу, что автор метода математического моделирования, использованного в двух предыдущих задачах, – великий Ньютон, заложивший основы совре-

менной механики. Этот метод всё шире проникает в другие науки, особенно в физику, где он превратился в один из её устоев. Несколько областей современной физики полностью основаны на использовании этого метода (например, математическая физика).

Исследование вулканических извержений методами механики

Вулканическое извержение – один из наиболее разрушительных видов природных катастроф. Так, извержение вулкана Везувий (79 г. нашей эры) разрушило города Помпеи и Геркуланум, вулкан Санторина (1650 г. до нашей эры) уничтожил Минойскую культуру, а при извержении Кракатау (1883 г.) было выброшено около 19 кубических километров вулканического вещества, что привело к гибели около 36 тысяч человек. Всего же за последние три века более 220 тыс. человек погибли в результате вулканических извержений.

Самое крупное известное извержение произошло на вулкане Йеллоустон (США) около 2.2 млн. лет назад. Объем извергнутого материала оценивается в 2500 кубических километров, а последствия извержения сравнимы с последствиями столкновения Земли с крупным небесным телом. Повторение подобного извержения в наши дни поставит под сомнение существование цивилизации.

Влияние вулканических извержений на окружающую среду многообразно. Это и непосредственное разрушение прилегающих областей (до 10 тысяч квадратных километров для крупных извержений) и образование газо-пепловых туч, огибающих земной шар и создающих серьезную опасность для самолетов, и изменение газового состава атмосферы, приводящее к локальным или глобальным (в доисторическое время) изменениям климата.

Изучение вулканов и их активности всегда было делом специалистов-вулканологов. В последние годы этому стали уделять серьезное внимание учёные-механики, применившие для изучения и прогнозирования деятельности вулканов традиционные для механики методы математического моделирования. Уже на начальном этапе исследований были получены интересные и обнадёживающие результаты. Построены модели различных типов извержений, описаны методами механики с хорошим согласием с имеющимися данными извержения прошлого.

Рассмотрим в качестве примера, что произошло в 79 г. нашей эры на вулкане Везувий. Извержение после кратковременного всплеска быстро пошло на убыль. Жители Помпей, хоть и изрядно напуганные, не собирались покидать свои дома. Внезапно извержение усилилось, и на город обрушились потоки раскалённого пепла и камней. Практически мгновенно город был погребён под их многометровым слоем. Расчеты по механической модели позволили объяснить происшедшее. При извержении давле-

ние в вулканической системе стало падать, в канал вулкана поступила вода из пористого водонасыщенного слоя. Вскипание воды и резкое расширение пара привели к значительному усилению извержения.

В настоящее время методы механики активно используются для выявления процессов, контролирующих динамику извержения, для оценки параметров вулканических систем, не поддающихся непосредственному измерению, и для выявления возможных последствий извержений на окружающих вулкан территориях. В Институте механики МГУ учёными-механиками А.А. Барминым и О.Э. Мельником созданы модели течения магмы в канале вулкана для различных типов извержений. Эти модели позволяют связать наблюдаемые на поверхности величины, например, расход магмы и её температуру с процессами, происходящими в земной коре. Для нескольких вулканов были оценены такие параметры, как объем вулканического очага и диаметр канала. Их непосредственное измерение невозможно, а знание важно для оценки максимальной интенсивности извержения, и, соответственно, принятия планов защиты населения. Кроме того, модели позволяют прогнозировать деформации конуса вулкана и связать их с процессами подъема магмы. Измерение этих деформаций становится одним из важнейших средств контроля деятельности вулканов.

По результатам гидродинамических расчетов распространения вулканических продуктов по поверхности Земли производится районирование территорий по вулканической опасности. В качестве примера был произведён расчет течения лавовых потоков вулкана Везувий по модели реального рельефа местности в направлении Неаполя и определены опасные зоны на плане города

Распространение вулканических облаков в реальном времени рассчитывается в нескольких суперкомпьютерных центрах. Результаты этих расчетов поступают в авиационные диспетчерские службы, поскольку встреча самолета с вулканической тучей может привести к остановке двигателей. За вулканическими извержениями в настоящее время следят и службы прогноза цунами, поскольку сильные извержения нередко провоцируют цунами, как это было при извержении Кракатау в 1883 г.

Производство электроэнергии на АЭС

От примеров блистательных достижений механики последнего времени в естественнонаучных дисциплинах перейду к примерам технического характера.

Начну с высказанного выше важного тезиса о том, что многие фундаментальные достижения других наук не могут быть использованы в интересах человека без привлечения механики. Важным подтверждением этого тезиса может служить атомная энергетика – одна из быстро развившихся в

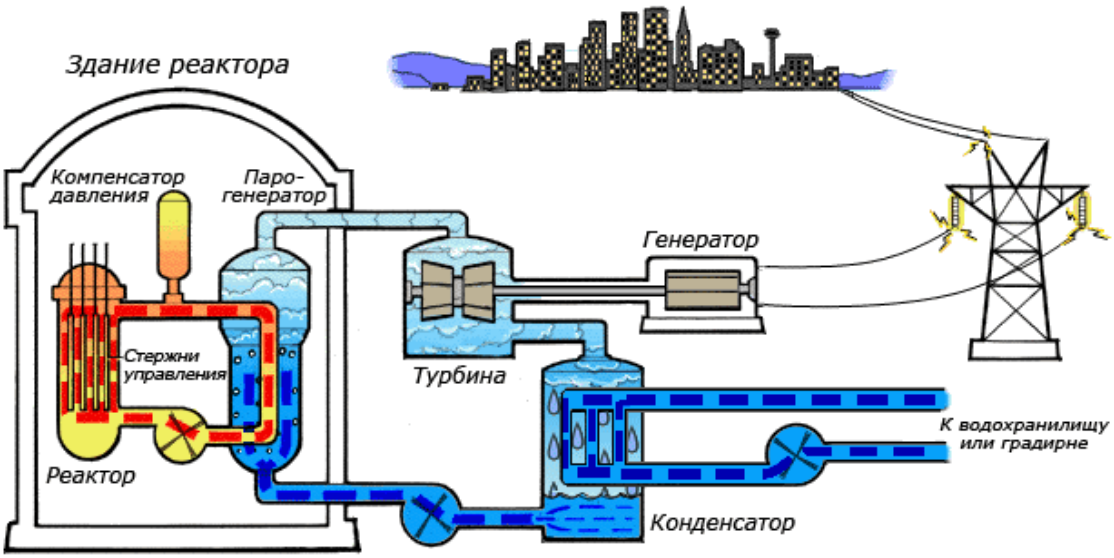


Рис. 4. Производство электроэнергии на АЭС (схема).

последние десятилетия и продолжающих развиваться инновационных технологий.

Сердцем атомной электростанции является атомный реактор – совместное детище физиков и механиков. Тепловыделяющие элементы, загружаемые в атомный реактор в определённом порядке для возможности регулирования режимов его работы, это далеко не самая сложная часть станции, но даже технология изготовления отдельных ТВЭЛов и их сборок разрабатывается учёными-механиками совместно с инженерами завода-изготовителя. Вся загружаемая в реактор конструкция может быть перевезена на нескольких большегрузных автомашинах. Корпус реактора рассчитывается методами механики, и, между прочим, не методами XIX века, а непрерывно совершенствующимися методами последних лет, учитывающими условия длительной работы ТВЭЛов внутри реактора, в частности, механическое действие мощного потока излучаемых атомным топливом частиц.

Всё остальное оборудование АЭС (см. рис. 4) – контуры жидких и парожидкостных теплоносителей, паровые турбины, вращающие электрогенераторы, как и сами электрогенераторы, системы передачи электроэнергии – всё это тысячетонное сложнейшее оборудование рассчитывается, создаётся и монтируется иженерно-техническим персоналом на основе новейших достижений механики. Конечно, на практике весь этот персонал механиков – учёных, инженеров, монтажников – оказывается подчинён атомному строительному ведомству, но атомная физика здесь уже совсем не причём. Атомная электростанция – это мощная паротурбинная электростанция, в которой уголь, мазут, или торф заменены более эффективным новым видом топлива – атомным горючим. Паровоз не перестаёт быть паровозом, если уголь в нём заменить мазутом или даже дровами (что бывало).

Наука «механика» как инженерное искусство.

Я назвал атомную станцию примером реализации физического открытия для нужд человека. И постарался показать, что эта реализация невозможна без опоры на достижения механики.

В англоязычных странах давно утвердился и распространился по миру очень удачный, на мой взгляд, термин “Engineering”, что можно перевести как «инженерное искусство». Толковые словари разъясняют содержание термина Engineering так: «Наука, с помощью которой природные свойства материалов и природные источники энергии становятся полезными человеку в виде сооружений, машин и продуктов». А вот эта наука в своей основе и есть механика!

Другие открытия в физике (лазеры, иные источники излучения), открытия в химии, в науке о материалах, даже в биологии, для того, чтобы быть нужными людям, требуют использования новейших достижений механики.

Абсолютно то же, что говорилось выше об атомных технологиях, можно сказать о химических инновационных технологиях. В них сердце – химический реактор – тоже совместное детище химиков и механиков, причём, учитывая, что интенсификация химических процессов требует во многих случаях создания всё более быстропроточных реакторов, роль методов механики в их расчёте и осуществлении становится всё большей.

Развитие современных технологий спутниковой связи, глобальных информационных и навигационных спутниковых комплексов, создание в будущем космических систем, улавливающих солнечную энергию для передачи её в концентрированном виде на Землю, – всё это абсолютно невозможно без использования уже существующих и новых, требующих развития, методов механики. Не понимать этого, не придавать значения развитию механики, исключив её из числа ключевых технологий первоочередного значения, – это значит, в лучшем случае, рассчитывать на использование блестящих достижений механики советского прошлого и всё ещё здравствующих немногих специалистов того времени. А дальше что?

Метание взрывом тонких оболочек

Другое, всем известное, приложение открытия физиками ядерных реакций – создание ядерного оружия. Как известно, начальное сжатие вещества в ядерных зарядах производится путём использования механического явления – ударных волн, генерируемых взрывом обычных ВВ. Руководители «атомного проекта» СССР (назову Ю.Б. Харитона, Я.Б. Зельдовича, Е.И. Забабахина) и нынешние руководители ядерных центров России прекрасно понимали и понимают роль механики в разработке ядерного оружия. В ядерном центре в г. Сарове существует крупное подразделение –

институт, занимающийся проблемами механики, в другом ядерном центре – в Челябинске – тоже имеется аналогичное подразделение.

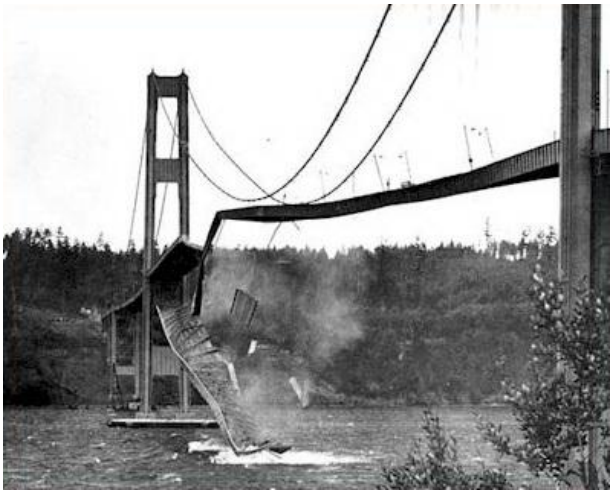
В последние годы и в традиционной области механики – метании тел с большими скоростями с помощью взрыва – получены удивительные результаты. Показано, что с помощью придания поверхности метаемой тонкой пластины или конической оболочки малых начальных деформаций специального вида можно получать летящий объект или группу объектов самой разнообразной формы. Этот результат существенно расширяет ставшую уже давно классической теорию метания взрывом конической оболочки с целью создания так называемой кумулятивной струи – объекта, летящего со скоростью, многократно превышающей скорость разгоняемого тем же путём недеформируемого тела.

Строительство вантовых мостов, виадуков, башен.

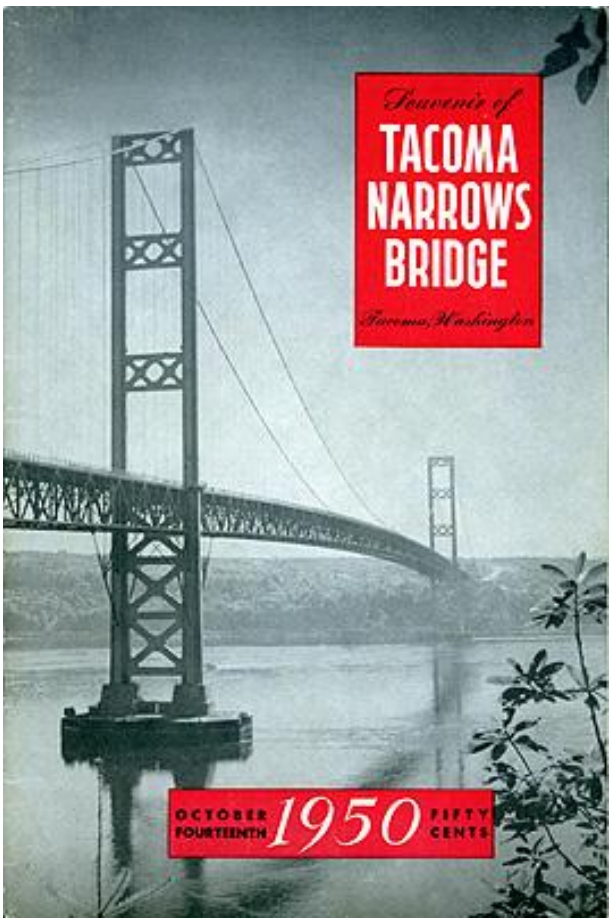
Подвесные (более точное название в технике – «вантовые») мосты и перекрытия обладают рядом серьёзных технических, экономических и эстетических достоинств по сравнению с конструкциями других типов. Однако, уже с самого начала их использования в качестве недостатка вантовых мостов отмечалась подвижность дорожного полотна при воздействии ветровых нагрузок, что в принципе исключает возможность организации железнодорожного движения. Одной из крупнейших в истории мостостроения катастроф стало обрушение моста через реку Такома в США 7 ноября 1940 г. Строительство этого моста было закончено летом 1940 г. Его пролёт – третий тогда по длине в мире – 854 м. Большого движения не ожидалось, проезжая часть была рассчитана на два ряда автомобилей, и мост был построен узким – 11,9 м. Полотно дороги было подвешено на двух стальных канатах диаметром 44 см каждый, со стрелой провеса 70,7 м. Сразу после постройки была обнаружена большая чувствительность моста к действию ветра – амплитуды колебаний моста достигали 1,5 м.

Было сделано несколько попыток устранить наблюдавшиеся большие колебания введением дополнительных связей и установкой гидравлических демпферов на пилонах. Но это не предотвратило катастрофу. Начиная с 8 часов утра 7 ноября возникли не очень сильные вертикальные многоузловые изгибные колебания с частотой 0.8 Гц. Ветер при этом имел не очень большую скорость – около 17 м/сек, тогда как до этого были случаи, когда мост выдерживал более сильный ветер. Около 10 часов утра скорость ветра несколько возросла (до 18,7 м/сек) и установились одноузловые изгибно-крутильные колебания со значительно меньшей частотой (0.2 Гц) и весьма большими амплитудами. Когда закрутка полотна моста достигала максимума, проезжая часть наклонялась к горизонту под углом 45 градусов. Мост выдерживал эти колебания около часа, после чего большой участок полотна отломился и упал в воду (рис. 5а).

Заснятый на кинопленку процесс обрушения моста явился ценным материалом для исследования его причин. Катастрофа привлекла огромное внимание исследователей-механиков. Известно, что если в потоке воздуха (жидкости) находится какое-либо препятствие, то за ним образуется вихревой след, причем вихри сбегают с определенной периодичностью, зависящей от формы и размеров конструкции, а также от скорости потока. В результате на конструкцию действует периодическая сила, тем большая, чем хуже обтекаемость конструкции. Конструкция приходит в состояние вынужденных колебаний, которые могут оказаться в резонансе с всегда имеющимися её собственными колебаниями. Описанное явление называется срывным флаттером. Видный учёный-механик Теодор фон Карман уже через четырнадцать дней после катастрофы опубликовал расчет критической скорости, за которой начинаются разрушительные колебания Такомского моста. По вычислениям Кармана эта скорость оказалась равной 22.2 м/сек.



а) разрушение моста в 1940 г.



б) новый мост, построенный в 1950 г.

Рис. 5. История вантового моста через реку Такома (США).

Катастрофа Такомского моста связана, в первую очередь, с недостаточным знанием инженерами, создававшими мост, аэроупругости – науки о взаимодействии конструкций и обтекающих их потоков воздуха или воды. К тому времени эта наука была лишь в начальной стадии. Уже только уже во время Второй мировой войны она получила широкое развитие и применение благодаря ряду серьёзных проблем, возникших в авиации и судостроении. Серьёзнейший вклад в её развитие внесли русские учёные.

В 1950 г. через реку Такома был построен новый мост (рис. 5б). Ширина полотна и опор была увеличена более чем в 1,5 раза, также изменено сечение проезжей части. Кроме того, сплошные балки были заменены сквозными фермами, что значительно уменьшило амплитуду аэродинамических возмущений. Более половины века новый мост успешно выполняет свои функции.

По прогнозам специалистов XXI век – это век жестоких техногенных катастроф, стихийных и экологических бедствий. Все чаще приходится слышать сообщения о падении ракет, самолетов, взрывах на экологически опасных промышленных объектах, обрушениях зданий. Среди прочих причин трагедий называются ошибки проектирования, связанные, прежде всего с недостаточным знанием законов механики, с неверным их использованием (недостатком квалификации).

Яркий пример – обрушение кровли Московского аквапарка. В первоначальных заключениях следствия обнаруживались и следы терроризма, и плохое качество цемента, и нехватка поддерживающих крышу колонн. И только после обрушения второго здания, спроектированного тем же авторским коллективом (здания Басманного рынка в Москве), причины трагедии стали очевидными. Черту под расследованием подвело заявление руководителя проектов: «…во всем виновата компьютерная программа…», с помощью которой выполнялись прочностные расчеты.

В новое время механики сумели существенно продвинуть методику проектирования мостов и перекрытий, обеспечивающую их надёжность.

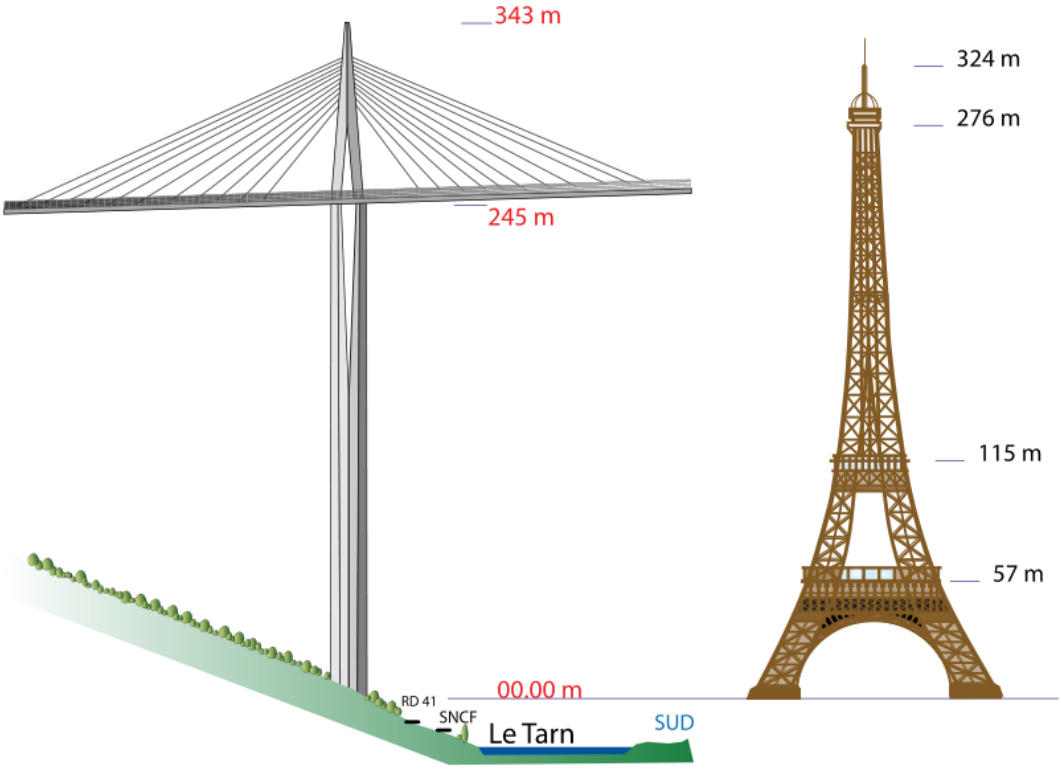


Рис. 6. Виадук Мийо (Франция, 2004 г.)

Эти несомненные, заслуживавшие внимания широкой общественности достижения механики не всегда освещаются в средствах массовой информации. Например, наша печать вообще не сообщила об открытии в 2004 г. во Франции самого высокого вантового моста в мире (рис. 6). Длина виадука Мийо составляет 2 460 м, ширина – 32 м, максимальная высота (высота стойки опоры Р2) – 343 м, то есть на 20 м выше Эйфелевой башни, вес стального полотна – 36 000 т, то есть в 4 раза больше, чем Эйфелева башня, стоимость строительства – 400 млн. евро.

В настоящий момент самым длинным мостом в мире является Akashi-Kaikyo Bridge, соединяющий острова Хонсю и Сикоку в Японии (построен в 1998 году, длина основного пролета – 1991 м). Мост предназначен под 6-полосное скоростное движение автотранспорта и рассчитан на восприятие шквальных ветровых нагрузок (в среднем 80 м/с в течение 10 мин) и 8,5-балльное (по шкале Рихтера) сейсмическое воздействие. Фундамент под восточный устой моста (западный устой опирается непосредственно на скалу) представляет собой цилиндрический бетонный массив наружным диаметром 85 м и высотой 64,5 м, заглубленный в коренные породы, залегающие на глубине 55 м под толщей песчаного грунта.

Мировую известность благодаря красоте конструкции и незаурядности технических решений получили мосты Golden Gate Bridge в Сан-Франциско (построен в 1937 г., длина основного пролета – 1280 м), Verrazano-Narrows Bridge в Нью-Йорке (1964 г. – 1298 м), Humber Bridge в Англии (1981 г. – 1410 м). Все эти мосты соединяют берега широких рек или морских проливов и находятся в зоне довольно интенсивных ветровых, сейсмических и климатических нагрузок. При их строительстве решены беспрецедентные по сложности инженерные задачи.

У нас в стране в последние годы построены уникальные вантовые перекрытия и мосты. Так, перекрытие велотрека в Москве, в Крылатском площадью в три футбольных поля (!) поддерживается двумя десятками равномерно распределённых вантов, прикреплённых к вершине одной башни, примыкающей сбоку к велотреку. Сама башня оттянута в противоположную сторону цепью, отдельные парные звенья которой соединены металлическими штифтами диаметром 40 см. Сургутский мост через великую сибирскую реку Обь является крупнейшим в мире, у которого центральный пролёт (составляющий 408 м) поддерживается одним пилоном. В 2008 году начато строительство одного из крупнейших в мире вантовых мостов через пролив Босфор восточный во Владивостоке (ширина пролива 2 км), который должен соединить материк и остров Русский (высота опор 340 метров, длина пролета около 1500 м).

Нельзя не остановиться на инженерном чуде XX века – Останкинской телевизионной башне в Москве (рис. 7). Башня была построена в 1967 году под руководством главного конструктора – Н.В. Никитина (инженеры – М.А. Шкуд и Б.А. Злобин, главный архитектор – Л.И. Баталов). Общая вы-

сота башни вместе со 148-метровой металлической антенной на момент постройки составляла 533 м. Материалом для изготовления основной части башни (до высоты 385 м) послужил «преднапряженный» железобетон. Обычный железобетон плохо противостоит растягивающим напряжениям, которые неизбежно возникают при колебаниях башни под действием ветровых нагрузок. При заливке каждого из кольцевых сечений башни стальной каркас предварительно подвергался растягивающий нагрузке. После застывания бетона и снятия растягивающей нагрузки с арматуры железобетон оказывается в сжатом состоянии, что позволяет полностью исключить опасность возникновения растягивающих напряжений при изгибных колебаниях башни. Дополнительно кольцевые сечения башни обжаты 149 стальными канатами (каждый диаметром 38 мм) предварительно растянутыми с силой 70 тонн каждый. В целом тело башни в вертикальном направлении сжато с силой 10.8 тыс. тонн. Этот прием значительно увеличил жесткость башни, так что частоты её собственных колебаний расположены далеко вне диапазона частот аэродинамических ветровых нагрузок, что исключило возможность проявления резонансных явлений. Любопытно, что из-за неравномерного нагрева башни на солнце под действием натяжения канатов возникают изгибающие напряжения (теоретическое максимальное отклонение составляет 2,25 м).

Другой блестящей идей Н.В. Никитина было использование кольцевого фундамента глубиной всего от 3,5 до 4,6 м. Внешний диаметр кольца составляет 60 м, а ширина – 9,5 м. При суммарной массе конструкции телебашни 32000 тонн идея использовать столь тонкий фундамент была революционной – по существу башня просто стоит на земле. Поначалу такая идея не встретила понимания, поскольку шла в разрез с опытом, накопленным при строительстве высотных зданий в Москве (там использовались глубокие фундаменты). Однако Н.В. Никитину удалось убедить комиссию, что тяжелое высотное здание ко-

Рис. 7. Вертикальная панорама Останкинской телебашни

ренным образом отличается от башни. Останкинская телебашня имеет в своем нижнем основании конус высотой 63 м, который намертво притянут к кольцевому фундаменту упомянутыми стальными тросами. Масса этого конуса, устойчиво стоящего на земле значительно превышает массу конструкций башни, расположенных выше (диаметр башни на высоте 63 м составляет 18 м, а высота центра тяжести всей башни – всего 110 м), что обеспечивает устойчивость конструкции в целом. То обстоятельство, что конус не является сплошным (его нижнее основание опирается на 10 (Н.В. Никитин предлагал ограничиться всего 4) опор, сечение которых у земли составляет всего 0,5х1 м), никоим образом не сказывается на устойчивости башни, но делает ее еще более изящной.

Без сомнения строительство Останкинской телебашни, которая вот уже более 40 лет является одним из главных украшений Москвы и предметом гордости москвичей, стало возможным благодаря таланту и силе убеждения главного конструктора Н.В. Никитина, опирающегося в своих расчетах на прочный фундамент теоретической механики.

Механика и арктические исследования

Освоение глубоководных районов дна морей и океанов стало в последнее время важной государственной задачей. Для облегчения решения этой задачи в нашей стране специалистами Института проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН созданы не имеющие аналогов в мире самоходные автономные аппараты: обитаемый «Мир» и необитаемый «Клавесин». Создание таких аппаратов, способных погружаться на глубину 6000 м и совершать там автономные операции, – несомненный успех ряда наук, но в основе этого успеха – достижения механики, обеспечившие создание конструкций, действующих в морской воде при внешнем давлении в 600 атм.

В августе 2007 года в Северном Ледовитом океане экспедиция к северному полюсу на атомных ледоколах «Россия» и «Академик Фёдоров» доказала эффективность использования этих аппаратов.

Проведены важные исследования глубоководного шельфа российского сектора Арктики. Впервые выполнено обследование дна и водной среды на хребте Ломоносова с помощью автономного необитаемого подводного аппарата «Клавесин-1Р». Большой шум в политических кругах ряда стран вызвала произведённая аппаратом «Мир» установка российского флага на дне Ледовитого океана.

В настоящее время в Институте проблем морских технологий РАН во Владивостоке продолжаются интенсивные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по совершенствованию уже созданных и по созданию новых «интеллектуальных» глубоководных аппаратов большой автономности и радиуса действия.

В связи с «морской» тематикой замечу, что в последнее время созданы инерциальные гироскопические системы навигации поразительной точности – еще одно выдающееся достижение механики и прошлого, и совсем недавнего времени (академик РАН В.Г. Пешехонов). Эти системы позволили осуществлять длительное автономное плавание подводных крейсеров в любую точку мирового океана. В частности, был проведен рейс к Северному полюсу и произведено всплытие корабля там.

В России проводятся крупные международные конференции по гироскопическим системам, созданные в России системы пользуются большим спросом за рубежом.

Акустическая ближняя локация подводных объектов, дистанционное управление ими и связь с обитаемыми аппаратами – тоже дело механиков. Акустика – наука, отпочковавшаяся от механики; то же относится и к давно выделившимся на том же древе механики динамической метеорологии и значительной части океанологии. В совокупности эти две крупные области науки изучают движения воздушной оболочки Земли – атмосферы, движения воды в мировом океане, и их взаимодействие. В их основе лежат законы и методы механики).

Среди новейших достижений этих наук можно отметить разработанные механиками теорию «рингов» Гольфстрима (ринги – громадные вихри, отделяющиеся от основного течения) и теорию торошения льдов в Арктике. Последняя сродни теории столкновения материковых плит, о которой говорилось раньше, но, конечно, относится к явлениям несравнимо меньшего масштаба по пространству и времени, и к более простой среде.

Создание шагающих роботов

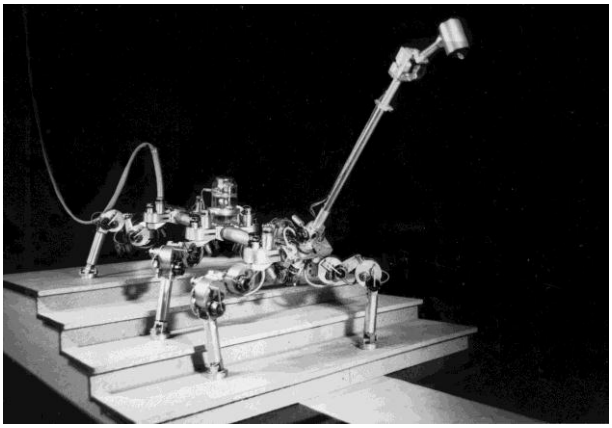
Создание робототехнических устройств, наделение их всё более сложными функциями – важная перспективная задача техники. Решение её немыслимо без участия механики.

Одним из важных классов роботов являются шагающие роботы, предназначенные для перемещения по труднопроходимой местности. В отличие от колёсных и гусеничных машин, имеющих непрерывную колею, шагающий аппарат при движении использует для опоры лишь некоторые точки поверхности. Поэтому шагающий аппарат существенно меньше повреждает почвенный покров, что может оказаться важным для экологии некоторых районов (например, тундры). Однако, это преимущество шагающего аппарата порождают сложность его конструкции. Большое число управляемых степеней свободы аппарата приводит к необходимости использования высокоэффективных приводов, специальной организации стоп, рассеивающих энергию удара, и т.д. Система управления должна обеспечить обработку информации о местности, по которой движется аппарат, принятие зависящих от этой информации решений о характере

движения, контроль за их реализацией. Именно создание системы управления аппаратом – центральная проблема конструирования шагающего робота.

Анализ существующих видов технических приводов свидетельствует, что по адаптивным способностям, экономичности, они уступают двигательным аппаратам животных и человека.

Для одного из первых в мире шагающих аппаратов, созданных в Институте механики МГУ в 70-е годы прошлого столетия в лаборатории Е.А. Девянина, была выбрана схема «шестиножки» (рис. 8а). Биологическим прообразом этой схемы явился рыжий таракан (прусак). Ноги таракана – универсальный биологический объект изучения для создания шагающей машины. Основным типом походки таракана является такая, при которой он в каждый момент опирается на три ноги, образующие треугольник, внутри которого располагается центр тяжести тела. Это существенно облегчает проблему стабилизации, так как опорные фазы аппарата на три ноги статически устойчивы.



а)шестиногий робот МАША (СССР, 1970-е).

б) четырехногий робот “Big Dog” (США, 2005).

Рис. 8. Шагающие многоногие роботы.

Каждая конечность шестиногого шагающего аппарата имеет три степени свободы, и приводится в движение с помощью трех двигателей с редукторами. На конечностях установлены позиционные датчики, измеряющие углы поворота звеньев ноги. Система управления двигателями шагающего аппарата построена по иерархическому принципу. Она формирует управляющие сигналы, которые обеспечивают движение аппарата с автоматической адаптацией к малым неровностям поверхности, по командам оператора (или командам от верхнего уровня системы управления), задающего основные характеристики ходьбы и движения корпуса аппарата.

После появления в в Институте механики МГУ «шестиножки», которая получила имя МАША (МАшина ШАгающая), началось соревнование

между США и СССР, что было обычным для того времени. С американской стороны выступал МакГи со своей командой, с советской – профессор Е.А. Девянин и его коллеги. В ответ на "Машу" МакГи и команда создали свою версию шестиногого робота (которая, однако, весила 136 кг.). МаША содержала много пионерских научных достижений. Было, в частности, установлено, что без информации об усилиях, возникающих между каждой ногой и опорной поверхностью; организовать «гладкое» управление ходьбой практически невозможно. Так появилось так называемое сило-моментное очувствление, которое использовалось в системе управления шестиногим и двуногими шагающими аппаратами, разработанными под руководством Д.Е. Охоцимского и Е.А. Девянина в Институте механике МГУ. Силовое очувствление существенно расширяет круг задач, решаемых шагающими и манипуляционными роботами.

Распад СССР, прекращение финансирования разработок роботов в России привели к тому, что американцы в робототехническом соревновании вырвались вперед. В 2005 году в Массачусетском технологическом институте группой Boston Dynamics по заказу Министерства обороны США был создан четырехногий робот “Big Dog” (рис. 8б). Этот четвероногий робот может ходить, бегать и преодолевать пересеченную местность. Энергию роботу дает бензиновый мотор, приводящий в действие гидравлическую систему.

Ноги робота скопированы с конечностей животных. В их конструкцию включены амортизирующие элементы, гасящие энергию удара. Длина робота составляет 1 метр, рост – 70 сантиметров, вес – 75 килограммов, что соответствует размерам крупной собаки. Робот снабжен бортовым компьютером, управляющим его передвижением в соответствии с окружающей обстановкой. Многочисленные сенсоры позволяют оператору робота отслеживать его местоположение, контролировать состояние бортовых систем робота. Робот чрезвычайно устойчив, при посторонних воздействиях (например, при сильном боковом ударе) восстанавливает вертикальное положение, подобно большой собаке. «Киберсобака» предназначена для «службы» в морской пехоте США, может идти со скоростью пять километров в час и преодолевать подъемы до 35 градусов. Может нести вооружение или иной груз общим весом до 50 килограммов. Создание этой машины было профинансировано агентством перспективных военных исследований США (DARPA).

Методы баллистического управления ходьбой

Важным классом шагающих механизмов являются двуногие машины. В 1972 году в Институте механики МГУ занялись созданием человекоподобного (антропоморфного) робота. Основная проблема и сложность управления двуногой ходьбой – необходимость стабилизации неустойчи-

вой конфигурации, которая при выключенном управлении не может быть реализована. Заметим, что «отключение» вестибулярного аппарата даже на одну секунду приводит к падению человека!

В 1990 году в Институте учёные-механики А.М. Формальский и А.В. Ленский исследовали механико-математическую модель двуногого робота, представляющего собой плоский пятизвенный механизм, состоящий из корпуса и двух одинаковых двухзвенных ног без стоп. Ими была решена сложная задача синтеза движений двуногого шагающего антропоморфного механизма. А.В. Ленский разработал модель робота, которая получила имя «Рикша». В движение она приводилась с помощью двух ног, и одновременно имела еще и два колеса.

Ходьба аппарата, как и человека, представляет собой последовательность чередующихся одноопорной, и двухопорной фаз. В одноопорной фазе аппарат опирается на одну ногу, другая нога при этом переносится. В двухопорной фазе аппарат опирается на обе ноги. Одноопорное движение считается баллистическим (пассивным), т.е. происходящим без приложения каких-либо активных воздействий (моментов) в шарнирах механизма. Двухопорная фаза считается мгновенной, так что управляющие моменты в шарнирах являются импульсными, вызывающими скачкообразное изменение скоростей звеньев. Ходьба сконструированного макета подтвердила применимость предложенного метода баллистического управления ходьбой.

В мире появились весьма амбиционные программы создания андропоморфных роботов. Так, организаторы и участники РобоКубка, – проводимого в Японии международного соревнования мини-роботов, имитирующих игру футболиста, – намерены к 2050 году создать команду полностью автономных роботов-андроидов, способных выиграть у команды – чемпиона мира по футболу среди людей.

США в своих вооружённых силах намерены к тому же сроку полностью исключить участие человека на поле боя, заменив его различного вида «интеллектуальными» роботами.

Биомехатроника

Среди новых технологий, сулящих кардинальные изменения обществу, важное место занимает биомехатроника – новая дисциплина, целью которой является налаживание взаимодействия биологических организмов с встроенными в них мехатронными модулями. Подобное взаимодействие может возникнуть в следующих случаях.

1. Замена утраченных или приобретение дополнительных функций биологическим организмом при протезировании или при имплантации внутрь этого организма электронных чипов или мехатронных модулей.

2. Внедрение элементов биологической (человеческой) ткани в искусственно созданные механизмы. Также возможна интеграция живых биологических компонентов в искусственные устройства. В этом случае биологическая составляющая выполняет основные функции, а искусственные компоненты занимаются остальными задачами и обеспечивают работоспособность всей системы в целом.

3. Создание самостоятельных мехатронных систем, содержащих элементы, имитирующие возможности основных функций биологического организма.

В рамках проводимых в Институте механики МГУ работ по биомехатронике в 2003 году были начаты исследования по теме «Медицинские приборы с тактильным очувствлением». Целью исследований является инструментальное воспроизведение осязания. Чувствительным элементом в инструменте является искусственный тактильный механорецептор, который представляет собой систему камер с передающей давление средой. Инструмент позволяет «ощупывать» недоступные для пальпации места (внутри желудка, бронха, брюшной полости и т.п.). Полученная информация анализируется на компьютере и воспринимается специальным устройством, которое передает ощущение руке исследователя или врача.

Таким образом, контуры предмета, его неоднородность и плотность в реальном или усиленном (увеличенном) виде воспринимаются наблюдателем, находящимся вблизи предмета исследования или удаленным от него на любое расстояние. Такие тактильные дисплеи используются в системах виртуальной реальности. На базе созданного комплекса могут быть созданы медицинские диагностические и лечебные аппараты, такие как: прибор для использования во время хирургической операции (определения свойств подлежащей ткани, «мягкого» выделения органа из рубцов, определения свойств лимфатического узла); снабженные осязательными датчиками эндоскопы (гастроскоп, колоноскоп, бронхоскоп), позволяющие определить свойства стенки полого органа, плотность прилегающих объектов, наличие флуктуации. Кроме того, становится возможным использование инструментов с лечебными возможностями (массажёр для предстательной железы, проведение «под контролем пальца» лазерного световода для разрушения опухоли).

Создание космических аппаратов

Возвратимся вновь к примерам технических устройств, обретших в последнее время на основе достижений механики недоступные для прошлого новые качества.

Создание космических аппаратов многократного пользования (“Space Shuttle” – в США и «Буран» – в СССР) – величайшие достижения науки и техники второй половины XX века. При разработке этих аппаратов одну

из главных ролей сыграла механика. Уникальность и сложность решаемых задач послужили толчком для создания новых направлений в науке. Остановлюсь лишь на одном примере, который является лишь небольшой иллюстрацией решающего участия механики в создании космической техники.

При возвращении с околоземной космической орбиты аппарат при торможении испытывает громадные динамические и тепловые нагрузки. Очень непростой выбор формы аппарата и траектории его снижения, минимизирующих эти нагрузки, – дело механиков. Конструкция должна противостоять, в частности, действию очень высокой температуры, достигающей в наиболее теплонапряжённых местах поверхности аппарата двух с половиной тысяч градусов. При такой температуре воздух представляет собой химически активную смесь молекул и атомов, при этом весь кислород находится в атомарном состоянии.

При взаимодействии с поверхностью часть атомов кислорода вновь рекомбинирует (т.е. вновь объединяется в молекулы) с выделением большого количества тепла, которое ранее было затрачено на диссоциацию молекул (т.е. их разделение на атомы). В зависимости от химических свойств поверхности доля рекомбинирующихся атомов может быть разной (эта доля называется степенью каталитичности материала поверхности). Таким образом, при выборе теплозащитных материалов необходимо учитывать не только их прочностные свойства при высокой температуре, но и их каталитичность.

Так как избежать расширения материалов с ростом температуры пока не удаётся, покрытие состоит из квадратных плиток с зазорами между ними. Механики разработали методы расчёта тепловых потоков в этих зазорах и создали специальные хитроумные установки с электрическим подогревом воздуха для проведения экспериментальных испытаний элементов покрытия (нагревание горением не годится, так как меняет химический состав воздуха). Испытания проводятся в условиях, не соответствующих натурным (их в лабораторных условиях воспроизвести невозможно), так что потребовалось разработать и надёжные методы пересчёта лабораторных результатов на натурные условия полёта.

Сейчас именно механики находятся на передовой линии исследования химического взаимодействия газа с поверхностью твёрдых тел – задачи, казалось бы, более близкой химии и физике. В этих исследованиях используются методы молекулярной динамики с учётом квантовых эффектов.

Разработка новых летательных аппаратов и двигателей

Успехи современной сверхзвуковой авиации обязаны в решающей мере развитию ряда областей механики, в первую очередь, динамики полёта и теории управления механическими объектами.

Сверхзвуковые маневренные военные самолёты последних поколений при отсутствии постоянно действующих управляющих усилий неустойчивы в полёте. Для таких самолётов устойчивость при прямолинейном полёте и при выполнении того или иного манёвра обеспечивается наличием необходимых управляющих устройств и быстродействующей компьютеризованной системой управления ими. Именно неустойчивость позволяет таким самолётам совершать немыслимые для сверхзвуковых самолётов первых поколений боевые манёвры и трюки при выполнении демонстрационных полётов «на публику».

Уже многие годы определённые перспективы развития авиации связываются с созданием самолёта, летающего на большие расстояния с большой сверхзвуковой скоростью, т.е. со скоростью, многократно превышающей скорость звука в воздухе при нормальных условиях (эта скорость равна примерно 330 м/с). В аэродинамике принято говорить об отношении скорости к скорости звука – числе Маха М. Для разных целей под большой сверхзвуковой скоростью можно понимать разное: и М=5-7, и орбитальную скорость М~25. При больших скоростях проблемой является теплозащита аппарата, усугубляемая длительностью полёта. О некоторых аспектах этой проблемы шла речь в предыдущем разделе.

Остановимся на другой важнейшей проблеме: какой должна быть силовая установка гиперзвукового самолёта, обеспечивающая необходимую тягу двигателя в полёте.

Попутно рассмотрим двигатели современных сверхзвуковых самолётов, летающих со скоростями до М=2-3,5. Можно утверждать, что такие силовые установки, продукт многолетней эволюции, являются самыми сложными и совершенными машинами нашего времени. По использованному для их разработки времени и материальным средствам, по затратам вложенного человеческого интеллекта, по их значению для человечества эти творения техники, несомненно, многократно превосходят так широко разрекламированный по всему миру пока так и не заработавший адронный суперколлайдер физиков[†].

В основе разнообразнейших типов двигателей для скоростных самолётов лежит турбокомпрессорная установка – тепловая машина с довольно простым термодинамическим циклом: давление воздуха перед двигателем

[†] Уже когда настоящая статья была сдана в печать, появилось сообщение об успешном пуске коллайдера после года ремонтных работ по устранению последствий первого, неудачного пуска.

повышается при его торможении, дальнейшее увеличение давления производится компрессором. Сжатый воздух высокого давления поступает в камеру сгорания, где к нему за счёт сжигания топлива подводится тепловая энергия. Затем нагретый сжатый газ снова расширяется в турбине, отдавая часть энергии на вращение ротора компрессора и используя оставшуюся часть энергии для создания тяги вращающимся винтом, вентилятором или истекающей через сопло реактивной струёй газа. Соответственно различают типы двигателей (турбовинтовой, турбовентиляторный, турбореактивный, могут быть и комбинированные двигатели).

При увеличении числа Маха полёта до 3,5-4,0 и выше одного лишь торможения воздуха (без дополнительного сжатия в компрессоре) оказывается достаточно для того, чтобы подвод тепловой энергии газу в камере сгорания и, соответственно, создание тяги реактивной струёй газа были эффективными (из-за отсутствия компрессора турбина становится ненужной). Такой тип двигателя называется прямоточным воздушно-реактивным двигателем (сокращённо – ПВРД). ПВРД для сверхзвуковых скоростей полёта (СПВРД) тоже достигли высокой степени совершенства благодаря решающему вкладу учёных-механиков, сумевших путём многолетних интенсивных исследований обеспечить необходимые, достаточно эффективные торможение сверхзвукового потока в воздухозаборнике и его разгон в реактивном сопле.

Так как СПВРД способен развивать тягу лишь при достаточно высокой скорости полёта, то использование летательных аппаратов с СПВРД возможно только при их предварительном разгоне, например, с помощью ракетных ускорителей или при их запуске с самолётов, использующих турбокомпрессорные силовые установки. Например, в сверхзвуковых противокорабельных крылатых ракетах «Яхонт» и «Москит» на маршевом участке траектории используются СПВРД, а для разгона – твердотопливные ускорители.

При очень большой сверхзвуковой скорости, при М=6-7 и выше, трудности создания ПВРД с небольшой скоростью воздуха перед камерой сгорания становятся непреодолимыми: давление и температура воздуха становятся экстремально высокими (при М=7 давление превосходит 1000 атмосфер, температура имеет порядок десяти тысяч градусов!) Создать действующую в таких условиях конструкцию невозможно: отводимое для её охлаждения тепло должно будет многократно превышать тепло, подводимое при сгорании топлива. Кроме того, горючее, поступающее в столь сильно энергетически возбуждённую среду, в ходе реакции горения будет передавать значительную долю энергии химических связей на увеличение энергии внутренних степеней свободы молекул. Обратный процесс возвращения к равновесному состоянию (релаксация) требует времени, так что из реактивного сопла будет истекать возбуждённый газ, тепловая

Рис. 9. Гиперзвуковая летающая лаборатория ЦИАМ (1991).

энергия которого осталась в значительно мере неиспользованной для создания тяги.

Для уменьшения описанных сложностей учёными-механиками уже давно была высказана идея об отказе от торможения потока в части тракта двигателя (в камере сгорания) до малых дозвуковых скоростей, т.е. об оставлении потока во всём тракте двигателя сверхзвуковым.

Идея о таком двигателе давно носилась в воздухе. В СССР её высказал ещё в конце 1940-х профессор Е.С. Щетинков, в США – в конце 1950-х – профессор А. Ферри. Советские учёные-механики и инженеры выступили первооткрывателями в этой области.

В 1978 году по инициативе ЦИАМ (ЦИАМ – Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова) подготовка и проведение лётного испытания ГПВРД (гиперзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя) была включена в Государственную программу «Холод» исследования применения водорода в авиации. В программе было запланировано создание экспериментального ГПВРД и проведение его лётных испытаний в составе гиперзвуковой летающей лаборатории (рис. 9), укреплённой перед носовой частью зенитной ракеты комплекса С-200.

К середине 1991 года вся основная подготовка системы к запуску была завершена и 27 ноября был проведен первый полёт с пуском ГПВРД, который проработал 27,5 секунд, и в процессе полета дважды автоматически выключался и включался. Впервые в мире была продемонстрирована работа ГПВРД на режимах дозвукового и сверхзвукового потоков в камере сгорания. Это событие получило широкий отклик в мировой прессе, как предельно сенсационное. Первое сообщение было опубликовано в газете «Вашингтон пост» в виде большой редакционной статьи на первой полосе под заголовком: «Мы пока только рассчитываем, а они уже летают».

К сожалению, сразу же после первого запуска ГПВРД в 1991 году в СССР и в России работы по его дальнейшему совершенствованию были прекращены.

В США исследования по ГПВРД также проводятся уже несколько десятков лет. Самым успешным проектом в этой области является проект

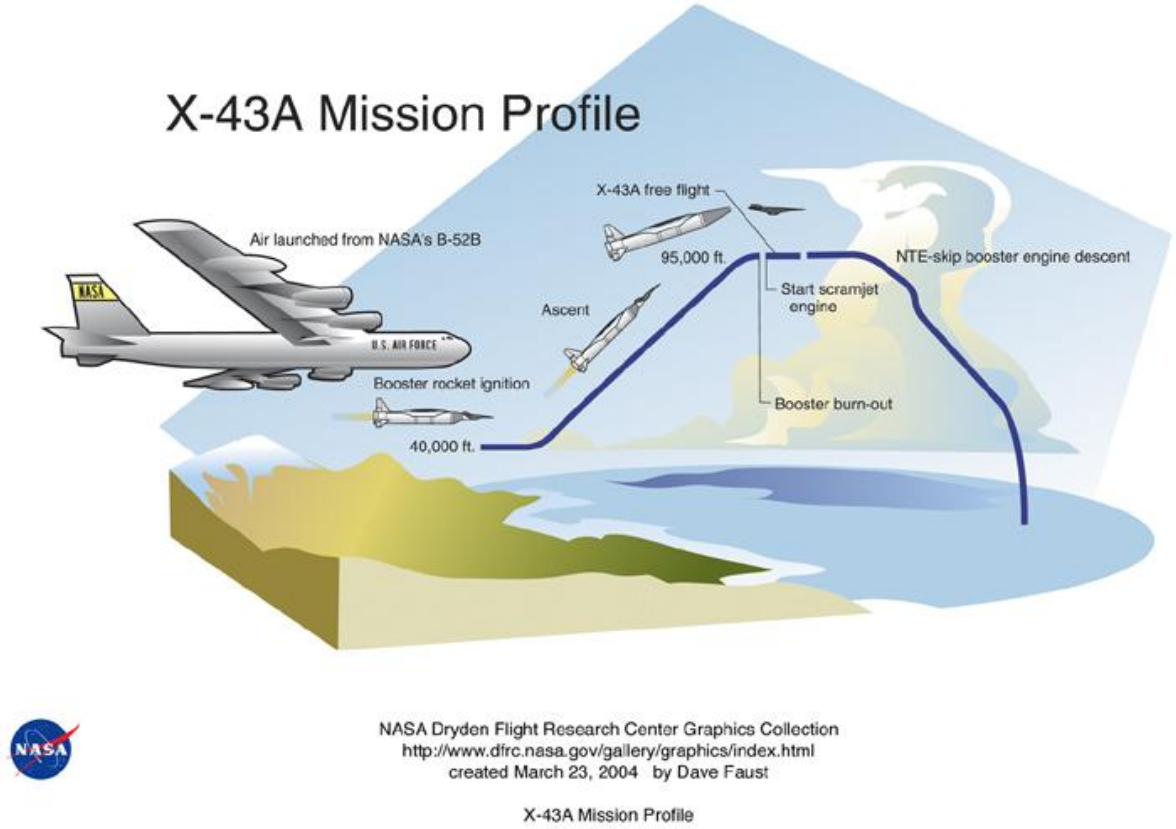


Рис. 10. Миссия NASA X-43 по испытанию ГПВРД (2004).

NASA X-43. X-43 представляет собой гиперзвуковой беспилотный самолет массой 1.3 т и длиной 3.6 м, оборудованный прямоточными воздушно-реактивными двигателями ГПВРД.

В 2004 году состоялось два запуска, которые можно назвать успешными (рис. 10). X-43, закрепленный на ракете-носителе (трехступенчатой крылатой ракете Pegasus воздушного базирования, предназначенной для вывода спутников на низкие околоземные орбиты), был выведен в атмосферу самолетом B-52. Затем на высоте 12 км ракета вместе с X-43 отделились от самолета-носителя, после чего был осуществлен разгон при помощи двигателей ракеты-носителя до высоты 29 км. Далее произошло разделение X-43 и ракеты-носителя и ГПВРД был успешно запущен. ГПВРД проработал 11 сек в течение которых X-43 двигался с ускорением, пролетев более 24 км. В конце разгона скорость достигла M=7 (M=10 во втором полете) после чего последовала 10 минутная фаза горизонтального полета (планирования) с выключенным двигателем, поддерживавшегося за счет использования аэродинамических поверхностей. Оба X-43 после окончания полета были затоплены в океане. Проект X-43 был закрыт NASA еще в 2007 году, поставленные цели были объявлены достигнутыми, а технологии этого проекта находятся в стадии разработки в некоторых военных учреждениях США.

Создание надёжного, продолжительно действующего, эффективного ГПВРД – дело всё ещё неблизкого будущего, но первые шаги уже сделаны. Перед учёными-механиками и инженерами стоят фантастически сложные и увлекательные задачи. Одним из путей увеличения полноты сгорания горючей смеси за то время, пока она ещё находится в камере сгорания (а масштаб этого времени порядка одной миллисекунды) является изменение цепи химических превращений, происходящих при горении, Как это сделать, и возможно ли это?

В этом направлении идут сейчас поиски. Химики открыли возможность изменять протекание реакции и её скорость селективным возбуждением внутренних степеней свободы участвующих в реакции молекул и радикалов. В отличие от естественного термического возбуждения колебательных степеней свободы в процессе реакций, имеется в виду возбуждение при колебательном обмене и при различного вида электромагнитном возбуждении электронных степеней свободы, которые затем передают их энергию колебательным степеням свободы. В ряде направлений теории этих явлений и в соответствующих экспериментальных исследованиях механики прочно заняли лидирующие позиции, введя в орбиту своих интересов и эту область смежных наук.

Механика материалов

Поведение деформируемых твердых тел при действии на них различных нагрузок – давняя задача физиков и механиков. Роберт Гук (1635-1703), живший в одно время с первооткрывателем основных законов механики Исааком Ньютоном (1643-1727), первым сформулировал (в 1660 году) закон, носящий его имя. Согласно этому закону цилиндрический образец однородного твёрдого материала удлиняется (или укорачивается) пропорционально приложенному к его торцам растягивающему (или сжимающему) усилию. Так было положено начало линейной теории упругости. В течение трёх с половиной столетий трудом многих поколений учёных теория деформации твёрдых тел под действием приложенных нагрузок непрерывно совершенствовалась, включая в свои рамки кроме упругости материалов всё большее и большее число их свойств. Так возникли теоретические модели упруго-пластических, вязко-упруго-пластических тел, тел с ползучестью и другие модели с учётом теплопроводности материалов, влияния температуры и ряда других факторов на их свойства.

Почти все эти модели создавались и продолжают создаваться на основе характерных для механики феноменологических подходов с использованием данных опытов с макроскопическими объектами. Исключение составили построение теории достаточно разреженных однородных газов, исходя из их атомно-молекулярной структуры, теории квантовых жидко-

стей и теории деформирования монокристаллических тел с регулярной кристаллической решёткой.

В последние десятилетия и, особенно, в новейшее время внимание физиков и механиков обращено к проблеме прочности и разрушения твёрдых тел. Эту труднейшую проблему можно считать одним из серьёзнейших вызовом природы современной науке: ну-ка попробуй описать и объяснить процесс разрушения! При этом резко обозначилось различие в подходах к этой проблеме со стороны физиков и механиков. Физики в наше время сосредоточились на изучении микромира, считая это главной задачей человечества; многие из них вообще перестали считать наукой всё то, что создаётся в механике без опоры на закономерности микромира (это вовсе не означает – в противоречии с этими закономерностями; просто при решении многих фундаментальных задач, не менее важных для человечества, чем задача изучения микромира, можно обходиться и без использования закономерностей этого мира).

Так, к примеру, создание самолётов не потребовало применения закономерностей микромира, но в решающей мере опиралось на закономерности механики и использование её методов исследования.

Российскими учёными-механиками в самое последнее время получены важные сведения об основных закономерностях разрушения материалов под действием приложенных к ним нагрузок. Процесс разрушения является многостадийным, многомасштабным. Начиная с зарождения и образования в материале микротрещин, при росте нагрузки последовательно формируются всё бóльшие пространственныё структуры, связанные с ростом трещин или появлением в материале более слабых в прочностном отношении участков. При нарастании нагрузки масштаб трещин становится порядка размеров тела, и тело разрушается – разваливается на куски. Может оказаться и так, что процесс образования новых, более крупных структур продолжится самопроизвольно даже при уменьшении нагрузки, так что и в этих условиях произойдёт разрушение. Для описания многомасштабного процесса разрушения в механике создаются соответствующие феноменологические модели.

В свою очередь, физики, занимаясь изучением процесса разрушения, исходят из «основных» принципов – атомно-молекулярной структуры вещества и законов взаимодействия между частицами. Пока им удалось решить следующую задачу (сформулируем её для простоты достаточно приближенно): верхняя и нижняя грани образца – прямоугольного параллелепипеда из меди с основанием в виде квадрата со стороной ~ 87нм и высотой ~ 154нм начинают раздвигаться, сохраняя свою форму. В срединной плоскости образца параллельно его основанию сделан сквозной надрез шириной ~ 29нм – зачаток трещины. Образец заполнен достаточно большим числом взаимодействующих атомов вещества. Максимальное число атомов, при котором авторам удалось провести расчёты, равнялось 35

миллионам. Поведение решений рассматриваемой системы уравнений становилось неустойчивым уже после немногих актов взаимодействия атомов между собой или с отражающими стенками, так что для продолжения расчёта необходимо было делать некоторые гипотезы статистического характера, что, по существу, лишало принятый подход каких-либо преимуществ над принятым в механике сплошных сред.

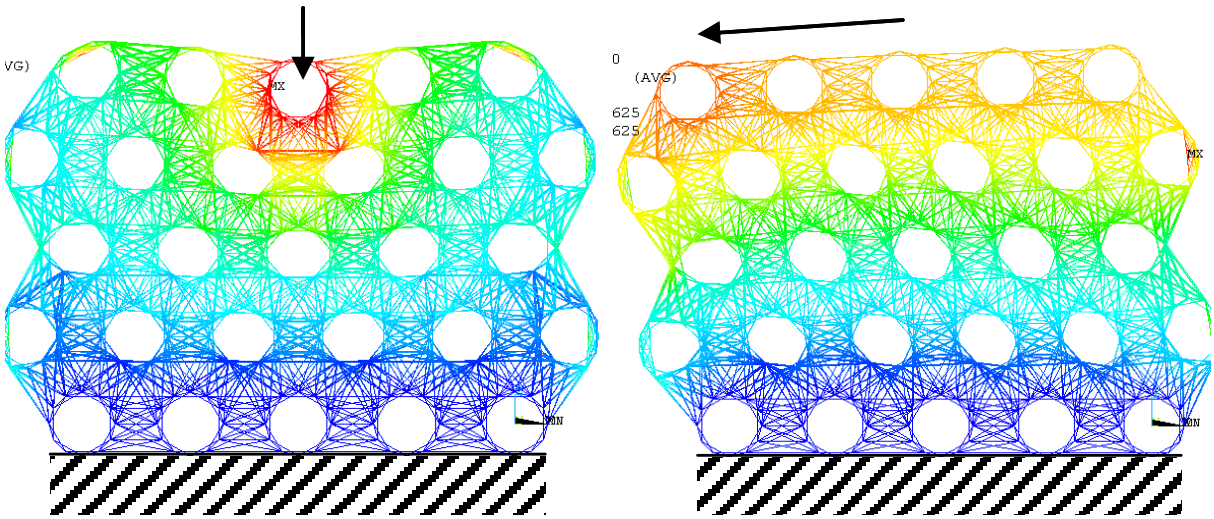
При названном числе частиц физикам удалось осуществить моделирование лишь до стадии формирования дислокационных петель, выходящих на фронт надреза. Ясно, что эта стадия представляет собой лишь начало процесса разрушения и за ней еще должны последовать стадии перехода процесса разрушения с масштаба на масштаб вплоть до разделения образца трещиной, размеры которой сопоставимы с размером образца. Для описания всех фаз развития процесса разрушения методами молекулярной динамики потребовались бы вычислительные мощности, многократно превышающие возможности компьютерных систем не только сегодняшнего дня, но и обозримой перспективы.

В связи с этим учеными-механиками были предприняты систематические исследования возможностей применения методов механики сплошных сред либо непосредственно, либо в сочетании с методами типа молекулярной динамики для расчета деформирования и разрушения наноструктурных объектов. Моделирование проводилось для слоистых элементов, а также для элементов в форме нанотрубок. Оказалось, что модули упругости пакета, содержащего всего 10-12 атомных слоев, рассчитанные методом молекулярной динамики, практически совпадают с модулями упругости макроскопического объема того же материала.

Удалось разработать дискретно-континуальный подход к моделированию и расчету деформирования наноструктурных объектов (в частности, нанотрубок и пакетов нанослоев). В основе подхода лежит возможность построения стержневой системы, эквивалентной по энергии деформации исходной атомной системе, образующей рассматриваемый наноструктурный объект. Эффективные модули упругости элементов стержневой системы определяются из условия совпадения энергий деформации атомной модели и ее стержневого аналога. Преимущество подобных моделей в том, что они позволяют при сравнительно маломощных вычислительных средствах проводить расчеты для весьма сложных систем с многомасштабной структурой. В частности, можно выполнить моделирование поведения композита, наполненного нанотрубками, с учетом пограничного слоя, соединяющего отдельные наночастицы наполнителя с матрицей композита.

На рис. 11 приведен пример расчета напряженно-деформированного состояния элемента массива углеродных нанотрубок, выполненного на основе разработанного дискретно-континуального подхода.

Механика деформируемого твердого тела и механика материалов всё в большей мере становятся фундаментальной основой проектирования ма-



а) путем вдавливания индентора **б) сдвига по одной из поверхностей.**

Рис. 11. Расчет напряженно-деформированного состояния при нагружении массива углеродных нанотрубок, выращенных на кремниевой подложке.

териалов с повышенными характеристиками деформирования, прочности и сопротивления развитию трещин.

Модели механики позволяют понять механизмы влияния структуры материала на процессы его деформирования и разрушения, приводят к расчетным зависимостям эффективных характеристик упруговязкопластического поведения, прочности и трещиностойкости материала от параметров структуры и механических свойств элементов структуры. Подобные зависимости получены для композиционных материалов разных типов, в частности, армированных волокнами или «усами», изометричными частицами, пластинчатыми элементами. Нередко обнаруживается необъяснимое на первый взгляд изменение той или иной механической характеристики материала при изменении размера, концентрации и/или жесткости и прочности армирующих частиц. Упомянутые расчетные зависимости позволяют оптимизировать эффективные характеристики композиционного материала, управляя параметрами его структуры.

Переход к нанотехнологиям открывает новые возможности управления параметрами структуры материала и приводит к необычным эффектам в их механическом поведении.

С точки зрения механики материалов речь идет о построении моделей, которые описывали бы механическое поведение наноструктурных объектов, наноматериалов и нанокомпозитов. Располагая такими моделями, можно получать зависимости эффективных характеристик деформирования, прочности и разрушения элементов, состоящих из наноструктурных объектов, наноматериалов и нанокомпозитов. В свою очередь, эти зависимости позволяют оптимизировать параметры структуры при проектировании наноматериалов и нанокомпозитов.

До сих пор речь шла о возможностях применения моделей и методов механики сплошных сред для моделирования механического поведения наноструктурных объектов. Однако, взаимосвязи механики сплошных сред с наноматериалами и нанотехнологиями этим не ограничиваются. Имеются экспериментальные (а в некоторых случаях и теоретические) данные, свидетельствующие об определяющей роли механических воздействий на служебные электромагнитные и оптические свойства наноструктурных и/или наномасштабных объектов. Например, показано, что механические напряжения растяжения или сжатия существенно влияют на характеристики подвижности носителей заряда в полупроводниковых приборах нано- и микромасштаба, в частности, на характеристики работы полевого транзистора. Другой пример – обнаруженное сравнительно недавно влияние ударной волны на частотные характеристики (расположение запрещенных зон) фотонных кристаллов. Эти эффекты требуют исследования и разработки соответствующих сопряженных физико-механических моделей, что позволит прогнозировать рабочие параметры тех или иных изделий наноэлектроники и нанофотоники. Использование механических воздействий весьма перспективно для указанных областей техники.

Подчеркнем, что изделия нано- и микроэлектроники представляют собой с точки зрения механики весьма сложные конструкции. В качестве примера укажем элемент изделия, содержащий многоуровневые межсоединения (проводящие дорожки). Деградация проводящих дорожек (обычно алюминиевых или медных) происходит вследствие диффузии вакансий под действием электрического поля и механических напряжений. Моделирование процессов разрушения таких элементов и оценка их долговечности проводится в рамках сопряженных моделей механики деформирования и разрушения материалов.

В заключение отметим, что развитие нанотехнологий предполагает и создание их метрологического обеспечения. В свою очередь, метрология параметров и изделий нанотехнологий предусматривает возможность контроля их механических свойств наряду с физико-химическими свойствами. Возникла новая область механики, связанная с разработкой и моделированием схем, методов и устройств для проведения испытаний по определению деформационных, прочностных свойств и сопротивления разрушению наноструктурных и наномасштабных объектов. Ввиду сложности реализации самих испытаний, стало актуальным новое направление – компьютерное моделирование механических испытаний (виртуальные механические испытания).

Можно утверждать, что механика займет достойное место в ряду фундаментальных наук, которые обеспечат прогресс в развитии общества, основанного на использовании нанотехнологий.

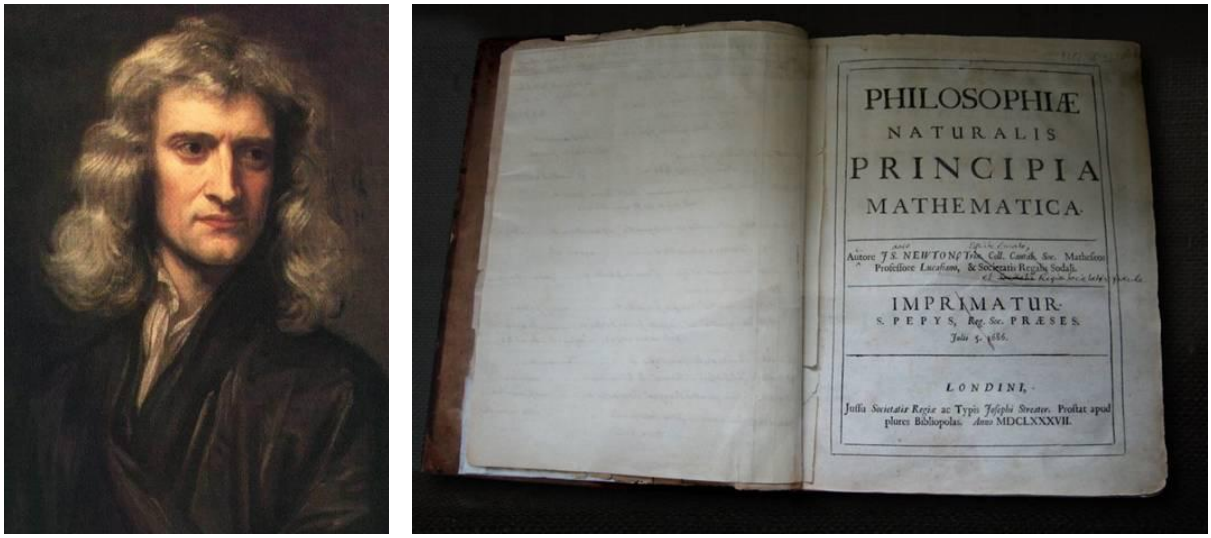


Рис. 11. Сэр Исаак Ньютон и «Начала натуральной философии».

Сэр Исаак Ньютон. Вечно новая механика

Завершу статью ещё одним панегириком в адрес механики.

На современном этапе прогресс научного знания в значительной мере определяется проникновением в различные области науки методов математического моделирования. Возникли даже высказывания о том, что область знания может считаться наукой лишь в той мере, в какой в неё проникли методы математического моделирования. Особенно такие высказывания относились и относятся к общественным и историко-филологическим наукам.

Следует помнить, что метод математического моделирования возник в ньютоновской механике, с успехом опробован самим Ньютоном на ряде серьёзных задач. Разработка методологии создания сложных математических моделей принадлежит механикам, а затем была последовательно применена физиками, геофизиками, химиками, биологами, лингвистами, а в последнее время – социологами и экономистами. Модели механики необычайно наглядны. Ряд знаменитых физиков прошлого утверждал примерно следующее: «Ни одно физическое явление не может считаться до конца понятым, пока оно не сформулировано в терминах механики». Выдающиеся физики-атомщики недавнего времени, уже упоминавшиеся выше академики Ю.Б. Харитон, Е.И. Забабахин, Я.Б. Зельдович с большим уважением относились к механике, понимали её значение как фундаментальной науки; два последних сами имели прекрасные работы в области механики. Их позиция, к сожалению, находится в резком контрасте с позицией современной когорты крупных учёных-физиков, сумевших, по-видимому, создать и соответствующее отношение к механике в правящих кругах.

Замечательный механик и математик академик Алексей Николаевич Крылов писал в предисловии к его русскому переводу основного труда Ньютона: «“Начала “Натуральной Философии” Ньютона составляют незыблемое основание Механики, Теоретической Астрономии и Физики». Лагранж назвал это сочинение «**величайшим из произведений человеческого ума**».

Добавлю: **Ньютоновская механика – непревзойдённое достижение физики (натуральной философии) всей истории человеческой цивилизации. Она вечна. На её могучем древе появляются новые и новые ветви. Среди них – и ветви, выросшие из привитых на это древо черенков саженцев, взращённых в лоне других естественных наук.**