

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор ИПМех РАН,  
академик

\_\_\_\_\_ Ф.Л.Черноузько

« 25 » декабря 2008 г.

**ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
УЧРЕЖДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ИНСТИТУТА ПРО-  
БЛЕМ МЕХАНИКИ им. А.Ю.Ишлинского РАН**

***Общая механика***

Завершен цикл работ по оптимальному быстродействию для нелинейного математического маятника. Численными и аналитическими методами построен синтез оптимального быстродействия для приведения маятника в верхнее (неустойчивое) и нижнее (устойчивое) положение равновесия.

Исследованы граничные сингулярные характеристики и особенности решения уравнения Гамильтона-Якоби. Найдены условия, при которых граничные данные могут быть эквивалентно представлены с помощью сингулярных характеристик. Сформулирована и доказана теорема об особенностях решения нерегулярной задачи Коши. На конкретных примерах исследована устойчивость этих особенностей.

(Зав. лаб. Меликян А.А.)

Отмоделированы уравнения движения кельтского камня, с использованием новой трехмерной модели сухого трения в контакте камня с поддерживающей плоскостью, результаты моделирования полностью совпадают с экспериментально наблюдаемым поведением объекта.

(Зав. лаб. Жбанов Ю.К.)

***Механика жидкости, газа и плазмы***

Исследования перераспределения примеси в почвенных и грунтовых водах при испарении. Выявили наличие ячеистых структур, возникающих в результате неустойчивости. Обнаружено повышение концентрации примеси на значительном удалении от области испарения, что может быть объяснено только интенсивным конвективным переносом. В рамках линейной теории устойчивости был развит аналитический метод, позволивший получить точный результат в классе задач с подвижными границами. Было найдено, что в высокопроницаемых грунтах увеличение концентрации примеси перед фронтом испарения приводит к гравитационной неустойчивости, образованию солевых пальцев и перемешиванию грунтовых вод. В низкопроницаемых средах процесс испарения устойчив, что приводит к выпадению солей в осадок в приповерхностном слое. Полученные результаты имеют практическое значение для прогнозирования и мониторинга процессов переноса примесей, определяющих качество почвенных и грунтовых вод. (Цыпкин Г.Г.)

(Зав. лаб. Рожков А.П.)

Выявлен новый механизм, который ответствен за падающий характер вольт-амперной характеристики и отрицательное дифференциальное сопротивление таунсендовского разряда в пределе нулевых токов. Механизм установлен в результате расчетов таунсендовского разряда методом Монте-Карло. Он связан с неравновесным характером электронного спектра у катода. Отрицательное дифференциальное сопротивление вызывает неустойчивость однородного разряда постоянного тока. Начиная от некоторого порогового тока, возникают автоколебания, а при более сильных токах - нарушается однородность и появляются токовые нити, зачастую образующие упорядоченные структуры. Эти процессы, весьма интересные с научной точки зрения, будучи проявлением эффектов самоорганизации в природе, представляют и практический интерес. Они нарушают работу прибора, в котором таунсендовский разряд с полупроводниковым катодом используется для преобразования инфракрасных изображений в видимые с рекордным быстродействием.

(Зав. лаб. Колесников А.Ф.)

Создана трехмерная компьютерная модель физико-химической аэротермодинамики гиперзвуковых летательных аппаратов сложной геометрии. Совместно с Европейским космическим агенством (ЕКА) выполнен цикл исследований по анализу аэротермодинамики перспективных европейских космических аппаратов, предназначенных для исследования планет Солнечной системы. В результате проведения серии совместных научных конференций (РАН - ЕКА) определен круг задач аэрофизики космических аппаратов, которые отнесены к разделу фундаментальных научных исследований Европейской рамочной программы (S-7) и Российской академии наук.

(Зав. лаб. Суржиков С.Т.)

Выполнен цикл исследований трехмерных структур конвекции в сжимаемом совершенном газе, сверхкритическом флюиде и жидкости Буссинеска, результаты которых применены для проектов по исследованию околокритических состояний веществ с учетом нанотехнологий и лазерных средств пространственного контроля тепловых полей, разрабатываемой поворотной платформы «Флюгер», а также к анализу результатов начавшегося на Российском сегменте Международной космической станции в сентябре 2008 г. эксперимента по исследованию конвективного теплообмена с помощью прибора «Дакон» в реальных условиях микрогравитации.

(Зав. лаб. Полежаев В.И.)

Разработана модель газификации пористой частицы углерода в парах воды, которая рассматривает протекание гетерогенных реакций внутри пористой частицы и гомогенных реакций как внутри, так и вне частицы. Гидродинамика внутри пористой частицы, тепло- и массоперенос внутри и вне частицы, а также теплообмен частицы с окружающей средой также рассмотрены. Анализ модели газификации позволил определить кинетическое уравнение гетерогенной реакции углерода с водяным паром при условии, что кинетическое уравнение углерода с двуокисью углерода известно. Отсутствие кинетики реакции углерода с парами воды явля-

лось основным препятствием для развития теории газификации углерода. Определены зависимости скорости газификации частицы углерода и состав продуктов газификации от давления, температуры окружающей среды, размера частицы и состава окисляющих газов в окружающей среде. Показано, что основным параметром, влияющим на состав продуктов газификации является теплообмен частицы с окружающей средой.

(Зав. лаб. Гремячкин В.М.)

Впервые экспериментально наблюдался анизотропный перенос примеси (растворимой краски) в установившемся составном вихре, образованном в цилиндрическом контейнере вращающимся диском, соосно установленным на его дне. В отличие от случая покоящейся однородной жидкости, где капля смешивающейся жидкости порождает каскад погружающихся капель, оставляющих окрашенные своды и линии, во вращающейся жидкости окрашенная жидкость переносится независимо вдоль свободной поверхности и выносится в толщу жидкости. На свободной поверхности из капли, помещенной в центр воронки, вытягиваются антициклонические спиральные рукава. Из капли, попадающей не в центр вихря, рукава вытягиваются и в циклоническом и антициклоническом направлениях. В толщу жидкости окрашенная жидкость поступает вдоль цилиндрической поверхности и длительное время сохраняется на ней и в центральном столбе. Окрашенная жидкость быстро перемешивается и становится неразличимой в пограничном слое на вращающемся диске.

(Зав. лаб. Чашечкин Ю.Д.)

### ***Механика деформируемого твердого тела***

Развиты методы математической теории наращиваемых тел для эффективного описания технологических и природных процессов. В частности, предложена принципиально новая геомеханическая модель Земли, опирающаяся на предположение о ее постепенном формировании в процессе сферической аккреции. Показано, что только эта модель дает адекватное описание наблюдаемого напряженно-деформированного состояния Земли, которое существенно отличается от описаний получаемых на основании моделей Земли как гравитирующего шара фиксированного радиуса или полупространства.

Ранее развитая модель поврежденности материала обобщена на случай связанных многомасштабных задач термомеханического процесса деформирования с учетом теплопроводности и термического разупрочнения. Разработан эффективный численный метод решения этих задач. На основе модели проведены реализация и многопараметрический анализ процесса резания упругопластических труднодеформируемых материалов. Даны рекомендации для оптимизации процесса.

Предложен новый метод наложенных сеток для многоцелевого моделирования технологических и природных процессов с учетом разрушения и контактных взаимодействий, стохастической неоднородности деформируемой среды и множественных макродефектов типа пор и жестких включений различной формы и ориентации.

Решена задача о внедрении сферического индентора в полупространство с функционально – градиентным упругим покрытием.

(Зав. лаб. Манжиров А.В.)

В результате исследования свойств инвариантных интегралов в механике деформируемого твердого тела установлена взаимосвязь между инвариантными интегралами различных типов и интегралами, определяемыми принципом взаимности. Полученные соотношения применены при разработке метода идентификации дефектов и трещин в упругих телах по результатам измерений характеристик упругого поля на поверхности тела.

Развит метод определения толщины слоя интенсивных пластических деформаций, основанный на анализе размерностей и предположении об определяющем влиянии коэффициента интенсивности скорости деформации на толщину этого слоя. Получено общее дифференциальное уравнение, определяющее толщину слоя. Показано, что в простейшем случае все коэффициенты этого уравнения определяются из одного эксперимента. Такой эксперимент (выдавливание полосы) был выполнен для латунного образца. Были предложены обобщения предложенной простейшей теории.

Выполнены исследования по механике термонапряженного состояния и дефектообразования в бездислокационных монокристаллах кремния при их выращивании и термообработке. Разработаны термомеханическая модель и программные средства, на основе которых впервые получены условия проявления наблюдаемого эффекта пространственной ростовой неустойчивости, вызывающей скручивание монокристалла кремния большого диаметра при его выращивании методом Чохральского.

(Зав. лаб. Гольдштейн Р.В.)

Разработан комбинированный метод исследования волновых процессов в телах микронных размерностей, включающий регистрацию электромагнитного излучения (ЭМИ) и высокоскоростную съемку видеокамерой. Методом ЭМИ определяются скорости упругой продольной волны, мгновенные модули Юнга и степень нелинейности динамической упругой разгрузки волокон в зависимости от реологии, начальной деформации растяжения и диаметра волокна (масштабный эффект существенен). Видеосъемка позволяет по движению кончика волокна измерять массовую скорость за фронтом продольной волны, изменение ее формы и амплитуды после отражений этой волны, аналогично методу отражения в экспериментах с ударными волнами, а также наблюдать зарождение, рост и распространение поперечных волн как результат потери устойчивости волокна после отражения волны от закрепления в виде волны сжатия (или, что тоже, после удара длинного упругого стержня о жесткую преграду). По этим данным определяются длины, амплитуды и скорости поперечных волн в волокнах и мгновенная жесткость при изгибе. Дается классификация различных сценариев развития неустойчивости в зависимости от скорости удара полимерного волокна. Обнаружен новый эффект гашения возмущений при скорости удара выше скорости распространения поперечных волн ( $< 10^2$  м/с): возмущения сносятся к точке удара и исчезают, сильные изгибные волны не развиваются. Таким образом, параллельно предложен и реализован экспериментальный метод исследования динамической потери устойчивости длинных стержней. Предлагаемые новые методы важны для разработки и калибровки моделей динамического поведения образцов новых материалов микронных

размеров и волновых процессов в них с приложениями в области создания защитных композиционных устройств против удара и взрыва с улучшенными характеристиками.

(Зав. лаб. Симонов И.В.)

Разработаны континуальный и локальный подходы к исследованию изнашивания композитного покрытия в подшипнике скольжения лопасти гидротурбины с учетом перекося вала, геометрии взаимодействующих тел и нагрузки подшипника, а также трибомеханических свойств материалов, составляющих композитное покрытие. На основе разработанной модели произведен расчет кинетики изнашивания покрытия с использованием различных типов закона изнашивания. Проанализирован характер изменения контактного давления и области контакта по мере изнашивания покрытия.

Предложен численно-аналитический метод моделирования усталостного механизма изнашивания тел с покрытиями, позволяющий исследовать процесс накопления контактно-усталостных повреждений в поверхностном слое и кинетику его разрушения при трении скольжения с шероховатыми поверхностями. Модель основана на решении периодической контактной задачи о фрикционном взаимодействии системы осесимметричных инденторов с двухслойным упругим полупространством. Установлено, что в зависимости от толщины поверхностного слоя, его относительных механических характеристик, а также величины коэффициента трения возможны различные виды разрушения поверхности: непрерывное поверхностное изнашивание и отделение поверхностных слоев конечной толщины в дискретные моменты времени (процесс отслаивания).

С целью исследования влияния адгезии различной природы на контактные характеристики при скольжении вязкоупругих тел с учетом рельефа их поверхностей на микро- и наноуровне, построены модели контактного взаимодействия с учетом дополнительных напряжений на поверхностях взаимодействующих тел, обусловленных адгезионным притяжением. Для описания молекулярного притяжения поверхностей используется модель Мажи-Дагдейла, в которой сила адгезионного притяжения поверхностей на единицу площади аппроксимируется кусочно-постоянной функцией. Рассмотрены случаи цилиндрической и сферической формы микронеровностей, для описания свойств основания использованы модели одно- и двумерного линейного вязкоупругого тела. На основании расчетов проведен анализ влияния адгезионных сил на контактные характеристики и силу трения скольжения.

(Зав. лаб. Горячева И.Г.)

### ***Машиностроение***

На основе анализа механических систем мобильных роботов и предложенного метода управления впервые разработан робототехнический комплекс вертикального перемещения грузоподъемностью 110кг, оснащенный бортовым плазменным технологическим оборудованием и манипулятором. Робототехнический комплекс разработан совместно с Росэнергоатомом, Научно-техническим центром аварийно-технических работ и предназначен для выполнения технологических работ на АЭС.

Разработана модель взаимодействия контактного устройства микроробота, покрытого адгезивным ворсистым материалом, с поверхностью, по которой движется робот. Выявлены основные особенности динамических процессов, происходящих в зоне контакта миниатюрного мобильного робота с поверхностью, исследовано влияние структуры адгезионного материала на анизотропию трения между контактным устройством робота и поверхностью. С использованием результатов по анизотропии трения впервые создан внутритрубный миниатюрный электромагнитный робот с возможностью реверсивного движения, которое осуществляется за счет изменения угла наклона ворсинок.

(Зав. лаб. Болотник Н.Н.)