

Наименование института: **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук  
(ИПМех РАН)**

**Отчет по основной референтной группе 2 Гидро- и аэродинамика, микромеханика**

Дата формирования отчета: **19.05.2017**

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

### **Инфраструктура научной организации**

#### **1. Профиль деятельности согласно перечню, утвержденному протоколом заседания Межведомственной комиссии по оценке результативности деятельности научных организаций, выполняющих научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы гражданского назначения от 19 января 2016 г. № ДЛ-2/14пр**

«Генерация знаний». Организация преимущественно ориентирована на получение новых знаний. Характеризуется высоким уровнем публикационной активности, в т.ч. в ведущих мировых журналах. Исследования и разработки, связанные с получением прикладных результатов и их практическим применением, занимают незначительную часть, что отражается в относительно невысоких показателях по созданию РИД и небольших объемах доходов от оказания научно-технических услуг. (1)

#### **2. Информация о структурных подразделениях научной организации**

1. Лаборатория механики жидкостей («Динамика и тонкая структура периодических течений в неоднородных жидкостях»)

2. Лаборатория механики сложных жидкостей («Конвективные, волновые процессы, тепло- и массообмен в сложных жидкостях»)

3. Лаборатория физической газовой динамики («Газодинамические и магнитогазодинамические (МГД) течения многокомпонентных сред в аэродинамике и в условиях космического пространства»)

4. Лаборатория термогазодинамики и горения («Термогазодинамика и горение дисперсных и многофазных сред»)

5. Лаборатория радиационной газовой динамики («Создание расчетно-теоретических моделей гиперзвуковых течений с учетом неравновесных физико-химических процессов и селективного теплового излучения»)

6. Лаборатория лазерных разрядов («Исследование газодинамических, разрядных и оптических явлений с целью создания научных основ новых технологий»)



7. Лаборатория взаимодействия плазмы и излучения с материалами («Аэротермохимия и теплообмен при обтекании поверхности материалов высокоэнтальпийными потоками газов и электроразрядные явления»)

8. Лаборатория механики природных катастроф («Моделирование процессов геофизической гидродинамики, механики сплошных сред, квантовой механики и термодинамики с помощью асимптотических методов»)

9. Лаборатория механики систем («Динамика систем твердых и деформируемых тел, включая сплошные среды»)

10. Лаборатория механики управляемых систем ("Управление, оценивание и оптимизация в динамических системах")

11. Лаборатория робототехники и мехатроники («Динамика и управление движением мобильных робототехнических и мехатронных систем»)

12. Лаборатория моделирования в механике деформируемого твердого тела («Моделирование поведения сложных сред, тел и конструкций в процессах их создания, нагружения и разрушения»)

13. Лаборатория механики прочности и разрушения материалов и конструкций («Механика деформирования, прочности и разрушения многомасштабно структурированных материалов, сред и конструкций»)

14. Лаборатория механики и оптимизации конструкций («Теоретическое и экспериментальное исследование поведения деформируемых сред при внедрении в них жестких тел и оптимизация их механических свойств в условиях неполноты данных о процессах проникания и пробивания»)

15. Лаборатория трибологии («Исследование влияния структуры, механических и фрикционных свойств поверхностных слоев материалов на механизмы трения и изнашивания»)

16. Лаборатория геомеханики («Исследование процессов деформирования и разрушения горных пород с учетом фильтрации с целью развития геомеханического подхода к созданию новых технологий добычи и снижения рисков при разработке месторождений углеводородов»)

17. Лаборатория вычислительной техники («Развитие итерационных методов для решения эллиптических уравнений на вычислительных системах с массивным параллелизмом»)

### **3. Научно-исследовательская инфраструктура**

В ИПМех РАН созданы и поддерживается экспериментальная база, основу которой составляют более 70 экспериментальных установок и комплексов, ряд которых зарегистрирован как уникальные научные установки в реестре ФАНО.

1) УНУ Гиперзвуковая ударная аэродинамическая труба (ГУАТ). Вошла в реестр УНУ ФАНО на сайте <http://www.ckp-rf.ru/usu/441564/>



2) УНУ Высокочастотные индукционные плазмотроны ВГУ-3 и ВГУ-4. Вошла в реестр УНУ ФАНО на сайте <http://www.ckp-rf.ru/usu/441568/>

(Плазмотроны ВГУ)

3) УНУ Испытательная система трехосного независимого нагружения (ИСТНН). Вошла в реестр УНУ ФАНО на сайте <http://ckp-rf.ru/usu/441432/>

4) УНУ "Гидрофизический комплекс для моделирования гидродинамических процессов в окружающей среде и их воздействия на подводные технические объекты, а также распространения примесей в океане и атмосфере (ГФК ИПМех РАН)"

Вошла в реестр УНУ ФАНО на сайте <http://ckp-rf.ru/usu/73600/>

При поддержке РАН – ФАНО приобретено дорогостоящее оборудование:

- Сканирующий электронный микроскоп FEI«Quanta-650» (с системой микроанализа EDAX)

- Наноиндентор НаноСкан-4D компакт

Основные научные результаты, полученные с использованием объектов научно-исследовательской инфраструктуры

1) На высокочастотном индукционном плазмотроне ВГУ-4 мощностью 100 кВт в дозвуковых потоках высокоэнтальпийного воздуха и азота на моделях, имеющих форму конуса со сферическим притуплением, получен сублимационный режим окисления графита и достигнута максимальная температура поверхности выше 3500оС. При этом тепловой поток в критической точке модели достиг рекордного значения 30 МВт/м<sup>2</sup>. Отработан и реализован технический подход к моделированию в дозвуковых струях диссоциированного углекислого газа на 100-киловаттном ВЧ-плазмотроне ВГУ-4 тепловых потоков к носку спускаемого аппарата, входящего в атмосферу Марса. На основании данных экспериментов по теплообмену сделан прогноз теплового потока и температуры поверхности керамического материала в окрестности затупленного носка аппарата EXOMARS для теплонапряженного участка траектории входа в атмосферу Марса.

2) С использованием ГУАТ исследованы ударно-волновые взаимодействия групп моделей, имитирующих воздухозаборник ГПВРД: модели острых и затупленных клиньев с кавернами, имитирующие стабилизатор пламени в трактах реальных ГПВРД (элемент «flameholder») гиперзвуковым потоком на числах Маха  $M=4,5\dots 8$ . Получены картины гиперзвукового обтекания моделей сложных геометрических форм перспективных летательных аппаратов. Разработанные в ИПМех РАН национальные коды для расчетов гиперзвуковых течений верифицированы с помощью экспериментов на ГУАТ с использованием геометрических примитивов, соответствующих элементам конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов.

3) Впервые выполнена синхронная регистрация оптических картин течений, вызванных падением капли, и акустического излучения в жидкость и атмосферу с разрешением не хуже 1 мкс, установлена связь дискретного характера акустического сигнала с перестройкой картины течения. Определен физический механизм излучения звука, обусловленный бы-



стрым преобразованием доступной потенциальной поверхностной энергии при отрыве образующихся газовых полостей в другие формы. Впервые в осциллирующем прямоугольном бассейне с развивающимися собственными колебаниями (сейшами) прослежен процесс структуризации однородной суспензии с частицами различного размера, формирование рельефа дна, определены закономерности затухания осцилляций жидкости.

**4. Общая площадь опытных полей, закрепленных за учреждением. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»**

Информация не предоставлена

**5. Количество длительных стационарных опытов, проведенных организацией за период с 2013 по 2015 год. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»**

Информация не предоставлена

**6. Показатели деятельности организаций по хранению и приумножению предметной базы научных исследований**

Информация не предоставлена

**7. Значение деятельности организации для социально-экономического развития соответствующего региона**

Информация не предоставлена

**8. Стратегическое развитие научной организации**

Информация не предоставлена

### **Интеграция в мировое научное сообщество**

**9. Участие в крупных международных консорциумах (например - CERN, ОИЯИ, FAIR, DESY, МКС и другие) в период с 2013 по 2015 год**

ИПМех РАН принимал участие в Международной космической программе, выполняя работы по постановке экспериментов на Международной космической станции (МКС) и их обработке. Выполнялась работа «Оценка развития катастрофических и потенциально опасных явлений по результатам космических наблюдений с борта Международной космической станции (МКС)».

Выполнено дистанционное зондирование Земли, в том числе мониторинг катастрофических явлений в рамках космического эксперимента «Ураган», на борту российского сегмента Международной космической станции с использованием цифровых зеркальных фотоаппаратов с длиннофокусными объективами. Для повышения информативности и качества интерпретации получаемых данных, в октябре 2014 года на борт российского



сегмента Международной космической станции доставлена научная аппаратура «Видео-спектральная система», предназначенная для измерения спектральной плотности энергетической яркости 270 локальных зон подстилающей поверхности, размером порядка 100 метров с спектральным разрешением не хуже 5 нанометров в диапазоне 400 – 950 нанометров. С использованием результатов дистанционных наблюдений построены расчетно-теоретические модели катастрофических явлений на поверхности мирового океана и в горных массивах.

В рамках программы фундаментальных исследований РАН «Фундаментальные проблемы физической и химической механики для экспериментов на МКС» выполнены работы по решению проблемы физико-химической механики обеспечения оптических и радиофизических каналов связи со спускаемыми космическими аппаратами после их отстыковки от Международной космической станции. Выполнено расчетно-теоретическое исследование физики и астрохимии высотных метеорных явлений в видимой и ультрафиолетовой областях спектра, и формирование научной программы постановки экспериментальных исследований по их регистрации с борта Российского модуля Международной космической станции.

В рамках 4-летней 7-й Рамочной программы Европейского Союза (финансируемый проект Phys4Entry, 2010-2014 г.г.), объединяющей 17 ведущих университетов Европы (Англия, Германия, Франция, Италия, Испания, Нидерланды) и аэрокосмических организаций Европы (DLR (Германия), CNES (Франция)) в ИПМех РАН выполнены работы по проекту «Неравновесные процессы физической и химической кинетики в аэрофизике спускаемых космических аппаратов»

Выполнен расчетно-теоретический анализ радиационно-аэротермодинамических характеристик космических аппаратов EXOMARS, PATHFINDER и нового космического аппарата MSL. Показана принципиальная необходимость учета радиационного нагрева марсианских спускаемых аппаратов. Результаты исследований ИПМех РАН опубликованы в трудах Европейского космического агентства и Американского Института по Аэронавтике и Астронавтике.

**10. Включение полевых опытов организации в российские и международные исследовательские сети. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства»**

Информация не предоставлена

**11. Наличие зарубежных грантов, международных исследовательских программ или проектов за период с 2013 по 2015 год**

Направление III.22 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва.



### Международная программа

В рамках 4-летней 7-й Рамочной программы Европейского Союза (финансируемый проект Phys4Entry, 2010-2014 г.г.), объединяющей 17 ведущих университетов Европы (Англия, Германия, Франция, Италия, Испания, Нидерланды) и аэрокосмических организаций Европы (DLR (Германия), CNES (Франция)) в ИПМех РАН выполнены работы по проекту «Неравновесные процессы физической и химической кинетики в аэрофизике спускаемых космических аппаратов»

Выполнен расчетно-теоретический анализ радиационно-аэротермодинамических характеристик космических аппаратов EXOMARS, PATHFINDER и нового космического аппарата MSL. Показана принципиальная необходимость учета радиационного нагрева марсианских спускаемых аппаратов. Результаты исследований ИПМех РАН опубликованы в трудах Европейского космического агентства и Американского Института по Аэронавтике и Астронавтике.

Направление III.23 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

Международные гранты РФФИ

1. Международный Российско-Японский Грант РФФИ №14-08-92103-ЯФ\_а «Теория развития шероховатости на свободной поверхности и ее приложение к процессу гидроформовки миниатюрных изделий»

Получено точное решение задачи о предсказании развития шероховатости свободной поверхности при одновременной осадке и скручивании полых цилиндрических образцов. Решение основано на новом эмпирическом уравнении для параметров шероховатости поверхности, предложенном ранее авторским коллективом. Выполнена экспериментальная программа по определению влияния толщины листа на развитие шероховатости свободной поверхности при растяжении листа в условиях, близких к плоскодеформированному состоянию. Показана необходимость учета толщины листа в формулировке моделей для развития шероховатости свободной поверхности (для листов малой толщины).

2. Международный Российско-Вьетнамский Грант РФФИ № 13-01-93000-Вьет\_а «Эффективный численный метод определения коэффициента интенсивности скорости деформации и его применение для описания процесса интенсивной пластической деформации в тонких слоях вблизи поверхностей трения» (2013-2015)

Развит общий метод расчета тонких упругопластических дисков, подверженных термомеханическому нагружению. Предполагается, что материал диска подчиняется достаточно общему условию пластичности, частные случаи которого включают условие Мизеса, условие Друкера-Прагера и условие Хилла. Метод применен для расчета полого диска с сильным градиентом свойств, подверженному равномерному давлению по внутреннему



контуру. Определены распределения остаточных напряжений и деформаций после разгрузки.

3. Международный Российско-Индийский Грант РФФИ 13-01-92693-ИНД\_а «Моделирование процессов изготовления, деформирования и разрушения конструкций и материалов»

Построены новые модели материалов и тел на основе полной системы уравнений механики растущих тел, в частности, растущих по толщине тонкостенных конструкций, рост которых осуществляется за счет электролитического осаждения материала. Развита аналитическая методика определения напряженно деформированного состояния таких конструкций при различных режимах наращивания.

4. Международный Российско-Южно-Африканский Грант РФФИ 14-08-93964 ЮАР\_а «Термомеханические напряжения и искажение геометрических форм изделий в технологических процессах лазерной обработки материалов»

Исследованы нестационарные температурные и силовые поля в растущих термоупругих телах канонической формы, в частности, в растущем параллелепипеде в постановке теории температурных напряжений, а также с учетом полной связности тепловых и кинематических полей.

Сформулированы варианты постановок краевых условий, специализированных для различных относительных скоростей роста.

5. Совместный Российско-Белорусский Грант РФФИ 14-08-90026 Бел\_а «Теоретико-экспериментальное исследование механических и триботехнических свойств бикомпонентных покрытий, конденсируемых из паров металлов при криогенных температурах»

Разработаны методы исследования новых аморфных бикомпонентных покрытий, разрабатываемых белорусской стороной. Покрытия характеризуются однородной структурой и малой толщиной – от 50 до 200 нм, а также малой шероховатостью (подложка – кварцевое стекло). Методика включает в себя определение механических свойств покрытий по результатам нано-индентирования, определение коэффициента трения покрытий и их износостойкости в паре с керамическим шариком по схеме возвратно-поступательного движения, исследование поверхности покрытий методами микроскопии для выявления механизмов их разрушения. Определение упругих свойств позволяет провести расчет напряжений в покрытии при его фрикционном нагружении. Методы исследования протестированы на пробных образцах покрытий, предоставленных белорусской стороной.

6. Участие в совместных работах с Университетом им Гумбольдтов (Берлин, Германия) в проекте DFG SFB 674.

Исследовано влияние иглы электронного микроскопа на результаты измерения в графене. Принцип Мопертюи-Якоби применен для задачи осреднения уравнений классической динамики графена в периодическом потенциале и большом магнитном поле.



7. Проект РФФИ №15-58-53075\_ГФЕН-а «Вязкопластические определяющие уравнения, включающие критерии пластического разрушения, для алюминиевых сплавов»(2015-2016 г.г.)

Разработана и выполнена экспериментальная программа для конкретизации критерия пластического разрушения, основанного на диаграмме пластичности, при повышенной температуре. Эксперимент выполнен на листовых образцах из алюминиевого сплава. Изменение напряженного состояния достигается за счет изменения диаметра отверстия, предварительно выполненного в заготовке. Выполнен теоретический анализ процесса деформирования в рамках мембранной теории.

8. Международный Российско-Индийский проект РФФИ-15-51-45052\_ИНД-а «Новая модель вязкопластичности для смесей металлического порошка и пластиковой матрицы и ее приложения» (2015-2016 г.г.)

Разработана и частично выполнена экспериментальная программа для конкретизации определяющих уравнений, адекватно описывающих процессы деформирования смесей металлического порошка и пластиковой матрицы. Эксперимент предполагает развитие интенсивных пластических деформаций вблизи поверхности трения. Основные теоретические предположения состоят во введении напряжения насыщения в модель вязкопластичности и в учете влияния вращения частиц порошка относительно матрицы на сопротивление материала деформированию.

9. Проект P 27147-N30 “Short- and Long- Term Behaviour of Solid-Like Granular Materials”, поддержанный Австрийским научным фондом

Разработан общий подход к построению в рамках механики сплошной среды определяющих уравнений для гранулированных материалов при циклической нагрузке с использованием метода дискретных элементов. В основу определяющих уравнений положено условие пластичности Друкера-Прагера. Предложен закон перемещения вершины конуса соответствующей поверхности пластичности в зависимости от объемной деформации.

Направление III. 21 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем.

10. Грант РФФИ «Динамика, управление движением и оптимизация мобильных систем с вибрационным возбуждением» (код № 14-01-91153-ГФЕН)

Исследовано движение капсульного вибрационного робота, который состоит из корпуса и внутреннего тела, прикрепленного к корпусу с помощью пружины. Между корпусом и средой, в которой он движется, действует сухое кулоново трение. Движение возбуждается силой, которая действует между корпусом и внутренним телом и изменяется периодически так, что она постоянна в течение заданной доли периода и равна нулю на остальной его части. Исследована зависимость средней скорости установившегося движения робота от периода возбуждения и от относительной длительности его активного участка, на котором





сила взаимодействия внутреннего тела с корпусом не равна нулю. Обнаружены резонансные эффекты.

## НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЗАЦИИ

### Наиболее значимые результаты фундаментальных исследований

#### 12. Научные направления исследований, проводимых организацией, и их наиболее значимые результаты, полученные в период с 2013 по 2015 год

Направление III.22 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва.

1. Выполнено численное исследование трехмерной радиационно-газодинамической модели обтекания экспериментальных и перспективных спускаемых космических аппаратов (Fire-II, Stardust и перспективного транспортного корабля «Федерация» с описанием возбужденных электронных состояний двухатомных молекул посредством радиационно-столкновительной модели и использовании ab-initio квантово-механических моделей).

2. Предложен метод определения упругих свойств сложных жидкостей путём визуализации процесса распада струи на капли. Метод основан на компьютерном анализе формы капли, к которой примыкают жидкие мостики. Аксиальная сила, действующая на каплю со стороны мостиков, вызывает деформацию капли и отклонение ее формы от сферической. Капля играет роль чувствительного датчика микро-силы. В результате проведенных экспериментов впервые удалось измерить силу упругого натяжения струи полимерного раствора непосредственно в процессе её распада. Полученные данные позволяют сделать вывод об уровне упругих напряжений и характере их изменений в ходе распада струи.

Метание жидкостей - ключевой элемент ряда современных технологий, в том числе информационных, космических, оборонных. С целью выявления особенностей метания жидкостей с упругими свойствами исследовано импульсное высокоскоростное истечение из кольцевого зазора жидкостей с добавками полимера. Установлено, что при метании образуется жидкая ламелла (круглая плёнка). Далее, в зависимости от добавок, ламелла может либо разрушаться на вторичные капли, либо формировать истечение жидких нитей, либо оставаться круглой пленкой без разрушения.

3. На 100-киловаттном высокочастотном индукционном плазмотроне проведены эксперименты по исследованию термохимического разрушения графита в дозвуковых потоках воздушной и азотной плазмы в экстремальных режимах нагрева поверхности перспективного транспортного корабля РФ «Федерация». В потоках плазмы воздуха и азота особой чистоты получены зависимости скорости уноса массы в критической точке модели от температуры поверхности в диапазоне температур 3200 – 3500 градусов С при атмосферном



давлении. Характер полученных зависимостей показывает, что реализован сублимационный режим уноса массы графита в высокоэнтальпийных струях плазмы воздуха и азота.

1. Andrienko D.A., Surzhikov S.T., Shang, J.S. View-Factor Approach as a Radiation Model for Reentry Flowfield. *Journal Spacecraft and Rockets*. 2015. № 12. (WoS, Scopus),

2. Базилевский А.В. Динамика горизонтальных нитей вязкоупругих жидкостей // Известия РАН. МЖГ. 2013. №.1 . С. 112-124. WoS

3. Базилевский А.В., Рожков А.Н. Динамика капиллярного распада упругих струй // Известия РАН. МЖГ. 2014. № 6.С. 169-187. РИНЦ, WoS

4. Колесников А.Ф. Соотношения Стефана-Максвелла для амбиполярной диффузии в двухтемпературной плазме с приложением к задаче об ионно-звуковой волне. МЖГ. 2015, № 1, С. 170-181. РИНЦ, WoS.

5. Гордеев А.Н., Колесников А.Ф., Сахаров В.И. Течение и теплообмен в недорасширенных неравновесных струях углекислого газа: эксперимент и численное моделирование. ТВТ. 2015, том 53, № 2, С. 284-290. DOI: 10.7868/S004036441501007X, Impact factor 0.952

Направление III.23 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1. В результате разработки новых расчетно-теоретических методов получено асимптотическое представление сингулярных жестко вязкопластических решений в окрестности поверхностей максимального трения для широкого класса определяющих уравнений при плоском и осесимметричном течениях. Этот результат позволяет обобщить на вязкопластические материалы методы предсказания эволюции свойств материала, основанные на коэффициенте интенсивности скорости деформации, что важно при моделировании процессов обработки материалов давлением.

Предложен новый подход к анализу и дизайну процесса развития такого слоя, основанный на использовании представлений о коэффициенте интенсивности скорости деформации. Суть решаемой проблемы состоит в том, что при обработке металлов давлением вблизи поверхности трения деформируемого материала и инструмента (например, экструдера) развивается тонкий слой с мелкозернистой структурой. Подход включает взаимосвязанные теоретические исследования по построению новых определяющих уравнений и исследования, связанные с развитием новых численных алгоритмов, необходимость в которых возникает вследствие качественного отличия новых определяющих уравнений от традиционных, а также экспериментальные исследования, учитывающие математические свойства новых определяющих уравнений и позволяющие идентифицировать входящие в них параметры. Подход реализован для процесса выдавливания цилиндрических прутков. Прикладной аспект заключается в возможности создания упрочнённого поверхностного слоя изделия посредством направленной его обработки в условиях интенсивного трения.



2. Разработаны основные положения геометрических методов математической теории растущих тел, которые рассматриваются как тела с индуцированной неоднородностью, вызванной соединением несовместно деформированных частей, что приводит к представлению тела как абстрактного гладкого многообразия с неевклидовой структурой и классификации возможных аффинных связностей на нем.

3. Проведено исследование движения в сплошной деформируемой среде осесимметричных ударников, совершающих совместное поступательное движение и вращение вокруг оси симметрии. С помощью эволюционного численного алгоритма нелокального поиска экстремума определены оптимальные формы ударников, пробивающих толстую плиту с наименьшей баллистической предельной скоростью при дополнительных ограничениях на массу тела и угловую скорость вращения в момент удара. Расчеты показали, что оптимальная форма ударника характеризуется небольшим усечением носовой части и практически не зависит от частоты вращения в рассмотренном диапазоне.

1. Alexandrov S., Kuo C.-Y., Jeng Y.-R. Effect of the shape of pressure-dependent yield surfaces on solution behaviour near frictional interfaces // *Int. J. Eng. Math.* 2013. V.79. No. 1. P. 143-152.

2. Alexandrov S. Geometry of plane strain characteristic fields in pressure-dependent plasticity // *ZAMM*, 2015, V.95, No.11, P.1296-1301 - WoS, Scopus.

3. Александров С.Е., Гольдштейн Р.В. К построению определяющих уравнений в тонком слое материала вблизи поверхностей трения в процессах обработки материалов давлением // *Докл. РАН*, 2015, Т.460, №3, С.283-285 - WoS, Scopus, РИНЦ.

4. Manzhirov A. V., Lychev S. A., Gupta N. K. Geometrical language in the theory of growing solids // *Topical Problems in Theoretical and Applied Mechanics*. New Delhi: Elite Publishing House, 2013. P. 1-23. ISBN 978-81-88901-55-5.

5. Баничук Н.В., Иванова С.Ю. Оптимизация формы затупленных осесимметричных тел, движущихся поступательно с вращением в упругопластической среде. Проблемы прочности и пластичности. Т. 77. №4. 2015. С.329 – 340. РИНЦ (ИФ РИНЦ – 0.148).

Направление III.25. ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Механика природных процессов

1. Построена модель формирования навалов льда перед преградами на мелководье при надвиге ледяного покрова, которая исследовалась с помощью метода дискретных элементов, позволяющего корректно обеспечить энергетический баланс в системе обломков льда. Впервые удалось оценить высоту навала и результирующую силу, действующую на преграду. Полученные результаты могут быть непосредственно использованы при проектировании морских нефтегазопромысловых объектов, расположенных на мелководных акваториях.

2. Выполнено физическое моделирование деформационных процессов в коллекторе Ковыктинского газоконденсатного месторождения в условиях, отвечающих реальным полям напряжений, возникающих при бурении и эксплуатации скважин. Изучено влияние



пластических деформаций и ползучести на фильтрационные свойства пород-коллекторов Ковыктинского ГКМ. Установлено, что на начальном этапе развития вязкопластических деформаций проницаемость породы в окрестности добывающей скважины сначала необратимо уменьшается, а затем начинает увеличиваться, причем также необратимо, что существенно для выработки рациональной системы разработки месторождения.

Проведен анализ существующих подходов к описанию упруго-пластического поведения горных пород. Выбрана модель Друкера-Прагера, позволяющая описывать неупругое деформирование пород с упрочнением.

Предложен способ определения пластических параметров модели путем проведения экспериментов по достаточно простым траекториям нагружения. С целью определения констант, входящих в выбранную модель, а также изучение закономерностей упруго-пластического поведения горных пород при сложных трехосных программах нагружения, на уникальной установке ИСТНН выполнены испытания образцов горных пород из коллектора Чаяндынского газоконденсатного месторождения.

Выполнен расчет упруго-пластического деформирования пород при неоднородном нагружении, соответствующий практической задаче нефтяной механики – взаимодействию обсадных колонн нефтяных и газовых скважин с породным массивом и их сопротивлением к разрушению.

1. Епифанов В.П., Глазовский А.Ф. Исследования ледников на основе акустических измерений // Лед и Снег. 2013. № 3(123). С. 43-52.

2. Климов Д.М., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф., Устинов К.Б. Механико-математическое и экспериментальное моделирование устойчивости скважин с анизотропных средах // Изв. РАН. МТТ. 2013. №4. с.4-12. WoS

3. Журавлев А.Б., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф., Устинов К.Б. Влияние фильтрации на напряженно-деформированное состояние и разрушение в окрестности скважины // ПММ. 2014. Т. 78. Вып. 1. WoS

4. Климов Д.М., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Экспериментальное исследование влияния неравнокомпонентного трехосного напряженного состояния на проницаемость горных пород // Изв. РАН. МТТ. 2015. № 6. С. 39-48. WoS

5. Климов Д.М., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф. Геомеханика извлечения газа из угольных пластов // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. №2. С. 158-160. WoS

Направление III.29 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Триботехника и износостойкость высоконагруженных элементов машин

1. Построена численно-аналитическая модель для расчета деформационной составляющей силы трения при скольжении штампа с регулярным рельефом по вязкоупругому основанию, которое моделируется телом Кельвина со спектром времен релаксации. Модель применима как для дискретного, так и для полного контакта взаимодействующих поверхностей. Выполнено сравнение результатов, полученных с применением разработанной модели для случая полного контакта, с аналитическим расчетом. Изучено влияние скорости



скольжения и формы регулярного рельефа штампа на контактные характеристики и деформационную составляющую коэффициента трения.

Рассмотрена трехмерная задача об изнашивании штампа, который случайным образом скользит по тонкому упругому слою. С использованием модели деформирования асимптотически тонкого слоя и процедуры усреднения закона изнашивания по случайным направлениям скольжения штампа получено дифференциальное уравнение кинетики изнашивания штампа. Установлено, что характерной особенностью эволюции формы изнашиваемой поверхности штампа является ее эквидистантное смещение в плоскости контакта. Получено выражение для скорости такого смещения.

2. Разработана математическая модель изнашивания волокнистого композитного материала, состоящего из матрицы и тонких волокон, собранных в жгуты. Проведен анализ осредненного поля напряжений и температур в зависимости от механических свойств, размеров и концентрации жгутов и их ориентации. Исследовано изнашивание поверхности, содержащей включения в виде волокон. Проведен расчет эффективного коэффициента износа поверхности композита. Проведен расчет напряженного состояния в окрестности отдельного волокна при различной степени адгезии его к матрице.

3. Решена задача о взаимном изнашивании тонкого упругого покрытия и скользящего по нему контртела; исследован эффект учета фактора взаимного изнашивания контактирующих тел. Изучено совместное влияние изнашивания, имеющего природу, отличную от усталостной, а также изменения амплитудных значений нагрузки, на процесс накопления контактно-усталостных повреждений в покрытии и подложке и на скорость усталостного изнашивания покрытия при его фрикционном нагружении периодической системой инденторов.

1. Е.В. Торская, И.И. Курбаткин, А.М. Мезрин, А.В. Морозов, Т.И. Муравьева, Н.Н. Фролов, В.В. Сахаров. Механические и трибологические свойства наноструктурированных покрытий на основе многокомпонентных оксидов. // Трение и износ, 2013, Т.34, № 2., WoS

2. И.А. Солдатенков. Задача об изнашивании штампа при его случайном скольжении по тонкому упругому слою // ПММ. Т.77. Вып. 5. 2013. С. 778-787, WoS

3. Б.В. Шептунов, И.Г. Горячева, М.А. Ноздрин, Контактная задача о движении штампа с регулярным рельефом по вязкоупругому основанию, Трение и износ. – 2013. – Т. 34. – № 2. – С. 109–119, WoS

4. Маховская Ю.Ю. Моделирование фрикционного разогрева тормозного диска из волокнистого композитного материала // Трение и износ, 2015, том 36, № 4. С. 375-383, WoS

5. Торская Е.В., Мезрин А.М., Морозов А.В., Усейнов А.С., Кравчук К.С., Фролов Н.Н. Сравнительное исследование трибологических свойств тонких покрытий на базе оксидов металлов на разных масштабных уровнях // Трение и износ. –2015 (36), №6, 699-705, WoS

Направление III. 21 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.



Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем.

1. На основе развитой теории поликомпонентного сухого трения создана адекватная реальному физическому явлению модель шимми. Получены необходимые и достаточные условия потери устойчивости прямолинейного качения колеса, выраженные в терминах реальных параметров колеса и стойки. Показано, что шимми возникает не только в случае резиновых колес (пневматик), но и для пластмассовых и металлических.

В результате создания новой теории явление шимми изучено без общепринятых упрощений в виде замены реально действующих на пневматик сил сухого трения неголономным условием. Такие упрощения приводили к некорректной по Адамару модели, сводящейся к модели «черного ящика». Предложенная модель выражена в физически наблюдаемых параметрах колеса и стойки. Она позволила получить необходимые и достаточные условия устойчивости прямолинейного качения.

2. Предложен алгоритм управления роботизированным экзоскелетом руки человека, предназначенным для усиления его физических возможностей при манипулировании тяжелыми грузами. Задающее управляющее воздействие осуществляется рукой оператора. Параметры движения регистрируются датчиками, и формируются управляющие сигналы для двигателей суставов экзоскелета с целью воспроизведения желаемого движения при умеренных усилиях со стороны оператора. В контур обратной связи системы управления включены датчики, регистрирующие биоэлектрические потенциалы, информирующие о мышечных усилиях оператора. Проведено компьютерное моделирование системы обработки информационных сигналов, на основании которых формируются управляющие воздействия. Отработаны алгоритмы управления приводом локтевого сустава экзоскелета, учитывающие информацию о биоэлектрических потенциалах.

Разработаны принципы управления экзоскелетом руки с использованием биопотенциалов мышц. Синтезирована система компьютерного управления экзоскелетом, реализующая эти принципы. Проведены компьютерные и физические эксперименты по исследованию и отладке системы управления.

3. С целью развития механики живых двигательных систем изучена модель шероховатого жесткого конуса (голени), охватываемого конформной ему раздвижной жесткой обоймой (гильзой ортеза) и нагруженного вертикальной силой (весом тела) и опоясывающей нагрузкой (боковой компрессией). Установлены условия возникновения скольжения.

Модели системы Нога-Ортез с учетом деформируемости мягких тканей исследованы численно: конические модели – на основе метода граничных интегральных уравнений, модели реальной формы – методом конечных элементов с использованием специально сделанных для этой цели компьютерных программ голени *in vivo*. Обнаружено, что на поверхности контакта голень-ортез возникают области скольжения. Их размеры сильно зависят от коэффициента трения между голенью и ортезом.



1. В.Ф. Журавлёв, Д.М. Климов, П.К. Плотников, Новая модель шимми // Изв. РАН. МТТ № 5, 2013, с.13-23, WoS.

2. Журавлёв В.Ф. Явление шимми с позиций поликомпонентного сухого трения // Космонавтика и ракетостроение. №1(74), 2014. (РИНЦ)

3. Ермолов И.Л., Градецкий В.Г., Князьков М.М., Семёнов Е.А., Суханов А.Н., Кинематическая модель экзоскелета руки человека и определение ошибки позиционирования // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. №5. С. 37-41, РИНЦ

4. Болотник Н.Н., Градецкий В.Г., Козлов Д.В., Смирнов И.П., Чашухин В.Г. Физические характеристики чувствительных элементов датчиков обратной связи, совмещенных с термомеханическими актюаторами, для систем управления микроперемещением объектов // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2015. № 1. С. 144-155, РИНЦ, WoS

5. Дашевский И.Н. О возможности управления разгрузкой при ортезировании ног // Сб. докладов, XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, Казань, 20-24 августа, 2015, С.1143-1145

Направление III. 31 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Общая теория систем управления и информационно-управляющих систем, методы и средства коммуникационно-сетевого управления многоуровневыми и распределенными динамическими системами в условиях неполной информации.

1. Выполнено исследование движения тела в жидкости, реализуемое посредством пары дополнительных тел, совершающих периодические поступательные движения относительно основного тела. Данный тип перемещения имитирует греблю при помощи вёсел или плавников. Предполагается, что на все движущиеся тела в жидкости тела действуют силы сопротивления, пропорциональные квадрату скорости тела. Показано, что данная система может перемещаться в жидкости с некоторой средней скоростью, зависящей от параметров системы. Проведено численное моделирование движения. Построены циклические движения, при которых скорость тела изменяется периодически. Получены условия существования циклических движений.

2. Предложен подход, основанный на методе динамического программирования, позволяющий вычислять оптимальные по расходу топлива траектории полёта гражданских самолётов. Подход позволяет учесть многочисленные сложные ограничения, налагаемые требованиями безопасности полёта, техническими особенностями определённого типа воздушного судна, условиями комфорта пассажиров. Разработанная методика построения оптимальных траекторий позволяет сравнительно легко перестраивать траекторию в случае возможных отклонений. Оптимальная траектория полёта на дальность 500 км.

3. Исследованы задачи приближенного граничного управления системами с распределенными параметрами. Развита методика, с помощью которой гладкое ограниченное по абсолютной величине управление, представленное в явной аналитической форме, приводит систему в малую окрестность покоя. Даны оценки времени приведения в зависимости от ограничений на управление и окрестность покоя.



1. Chernousko F.L.. Motion of oscillating two-link system in a fluid. Proceedings of the IUTAM Symposium on Nonlinear Dynamics for Advanced Technologies and Engineering Design. Springer, Dordrecht, 2013. P. 109-121.

2. С.П. Карманов, Ф.Л. Черноусько. Моделирование плавания стилем “брас”. Доклады Академии наук, т. 454, № 6, 2014, стр. 661-664. WoS

3. Romanov I., Shamaev A. Exact Controllability of the Two-Dimensional Distributed System Governed by Integrodifferential Equation / Working papers by Cornell University. Series math "arxiv.org". 2014. No. arXiv:1408.0382

**13. Защищенные диссертационные работы, подготовленные период с 2013 по 2015 год на основе полевой опытной работы учреждения. Заполняется организациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».**

Информация не предоставлена

**14. Перечень наиболее значимых публикаций и монографий, подготовленных сотрудниками научной организации за период с 2013 по 2015 год**

Монографии:

1. Gupta N. K., Manzhurov A. V., Velmurugan R. (Eds.) Topical Problems in Theoretical and Applied Mechanics. New Delhi: Elite Publishing House, 2013. 441 p. ISBN 978-81-88901-55-5.

2. Vasiliev V.V., Morozov E.V. Advanced Mechanics of Composite Materials and Structural Elements. 3rd Edition. Elsevier, 2013. 818 p. ISBN 978-0-08-098231-1

3. Суржиков С.Т. Радиационная газовая динамика спускаемых космических аппаратов. Многотемпературные модели. М.: ИПМех РАН. 2013. 706 с. ISBN 9785917410883

4. Журавлёв В.Ф. Розенблат Г.М. Теоретическая механика в решениях задач из сборника И. В. Мещерского М.: Книжный дом «Либроком», 2013, 192 с. ISBN 978-5-397-03681-8

5. Гольдштейн Р.В., Городцов В.А., Лисовенко Д.С., Волков М.А. Отрицательный коэффициент Пуассона для кубических нано/микротрубок. В кн. Фундаментальные проблемы механики и смежных наук в изучении многомасштабных процессов в природе и технике / коллективная монография под ред. акад. И.Г. Горячевой и акад. Н.Ф. Морозова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014, С.156-183.

6. Nikolay Banichuk, Juha Jeronen, Pekka Neittaanmaki, Tytti Saksa, Tero Tuovinen. Mechanics of Moving Materials. Springer International Publishing Switzerland. 2014, 253 p.

7. Маркеев А.П. Динамика тела, соприкасающегося с твердой поверхностью. - М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014.-496 с.

8. В. М. Гремячкин. Гетерогенное горение частиц твердых топлив. – М., Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2015, 230 с., ISBN 978-5-7038-4132-7





9. Ф.Л. Черноусько, Л.Д. Акуленко, Д.Д. Лещенко Эволюция движений твердого тела относительно центра масс. Москва-Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2015. 308 стр. ISBN 978-5-4341-0294-1

10. Продолжающееся издание Актуальные проблемы механики/Отв.ред. Ф.Л. Черноусько, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН.- М.: Наука, 2008 – 50 лет Институту проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН.-2015.-510 с.- ISBN 978-5-02-039181-9. Тираж 300 экз.

#### Публикации

1. Bazelyan, E. M.; Raizer, Yu. P.; Aleksandrov, N. L. The effect of space charge produced by corona at ground level on lightning attachment to high objects // *ATMOSPHERIC RESEARCH*. 2015. Vol. 153. Pp. 74-86. DOI:10.1016/j.atmosres.2014.07.018; WOS:000347264600007 Atmospheric research IF=2,844

2. Zhuravlev, V. F. Once more on the dynamics of the rattleback (comment on "Strange attractors in rattleback dynamics" by A V Borisov and I S Mamaev [*Usp Fiz. Nauk* 173 407 (2003); *Phys. Usp.* 46 393 (2003)] and "Nonlinear dynamics of the rattleback: a nonholonomic model" by A V Borisov, A O Kazakov, S P Kuznetsov [*Usp Fiz. Nauk* 184 493 (2014); *Phys. Usp.* 57 453 (2014)]) // *PHYSICS-USPEKHI*. 2015. Vol. 58. Issue 12. Pp. 1218-1219. DOI:10.3367/UFNe.0185.201512f.1337; WOS:000371914300005 Physics-uspekhi IF=2,606

3. Polyenin, Andrei D.; Zhurov, Alexei I. Unsteady axisymmetric boundary-layer equations: Transformations, properties, exact solutions, order reduction and solution method // *INTERNATIONAL JOURNAL OF NON-LINEAR MECHANICS*. 2015. Vol. 74. Pp. 40-50. DOI:10.1016/j.ijnonlinmec.2015.03.007; WOS:000356988300006 International journal of non-linear mechanics IF=1,977

4. Markeev, Anatoly. Stability of an equilibrium position of a pendulum with step parameters // *INTERNATIONAL JOURNAL OF NON-LINEAR MECHANICS*. 2015. Vol. 73. Pp. 12-17. DOI:10.1016/j.ijnonlinmec.2014.11.013; WOS:000355022100003 International journal of non-linear mechanics IF=1,977

5. Goldstein, R. V.; Popov, A. L.; Kozintsev, V. M.; Chelubeev, D. A. Some new applications of ESPI at the mechanical tests // *MECCANICA*. 2015. Vol. 50. Issue 2. Pp. 389-399. DOI:10.1007/s11012-014-9949-2; WOS:000346059900010 Meccanica IF=1,949

6. Rozhkov, Aleksey; Prunet-Foch, Bernard; Vignes-Adler, Michele. Star-like breakup of polymeric drops in electrical field // *JOURNAL OF NON-NEWTONIAN FLUID MECHANICS*. 2015. Vol. 226. Pp. 46-59. DOI:10.1016/j.jnnfm.2015.10.001; WOS:000366764100004 Journal of non-newtonian fluid mechanics IF=1,821

7. Goldstein, R. V.; Gorodtsov, V. A.; Lisovenko, D. S. Young's Modulus and Poisson's Ratio for Seven-Constant Tetragonal Crystals and Nano/Microtubes // *PHYSICAL MESOMECHANICS*. 2015. Vol. 18. Issue 3. Pp. 213-222. DOI:10.1134/S1029959915030054; WOS:000360214800005 Physical mesomechanics IF=1,488



8. Surzhikov, S. T. The role of atomic lines in radiation heating of the experimental space vehicle Fire-II // DOKLADY PHYSICS. 2015. Vol. 60. Issue 10. Pp. 465-470. DOI:10.1134/S1028335815100110; WOS:000364221300009 Doklady physics IF=0,598

9. Klimov, D. M.; Akulenko, L. D.; Shmatkov, A. M. Separation and spectral analysis of oscillations of the Earth's pole // DOKLADY PHYSICS. 2015. Vol. 60. Issue 9. Pp. 423-427. DOI:10.1134/S1028335815090104; WOS:000362730900010 Doklady physics IF=0,598

10. Zakharov, S. M.; Goryacheva, I. G.; Krasnov, A. P.; Yudin, A. S.; Morozov, A. V.; Markov, D. P.; Naumkin, A. V.; Ovechkin, A. V. Tribological studies for developing friction modifiers in the wheel-rail system // JOURNAL OF FRICTION AND WEAR. 2015. Vol. 36. Issue 6. Pp. 468-475. DOI:10.3103/S1068366615060173; WOS:000366639300003 Journal of friction and wear IF=0,475

**15. Гранты на проведение фундаментальных исследований, реализованные при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского гуманитарного научного фонда, Российского научного фонда и другие**

Ежегодно в ИПМех РАН выполняются работы по более 60 инициативным проектам Российского фонда фундаментальных исследований, в том числе:

Направление III.22 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва.

1. Грант РФФИ № 12-01-00128 "Исследования динамики, структуры и взаимовлияния волновых и вихревых компонент течений неоднородных жидкостей" (2012 -2014 г.г.), объем финансирования – 2185000,00 руб.

Выполнен анализ условий совместности и даны оценки ранга полной системы, порядка ее линейной части и степени характеристического (дисперсионного) уравнения позволяющие установить общие свойства полных решений сложных систем и оценить характерные масштабы структурных элементов течений. Показано, что полные решения содержат две группы функций, отличающиеся собственными пространственно-временными масштабами. Одна часть описывает крупномасштабные элементы – волны и вихри. Другая характеризует тонкоструктурные компоненты, обусловленные действием вязкости, температуропроводности и диффузии.

2. Грант РФФИ № 15-01-09235 «Экспериментальные и теоретические исследования влияния стратификации на перенос вещества в периодических течениях жидкостей» (2015-2017 г.г.), объем финансирования 1732000,00 руб.

Проведены теоретические исследования эволюции структуры стратифицированных течений, включая индуцированные диффузией на телах сложной формы (пластина, выпуклый и вогнутый клин), выполнен расчет полей величин и компонент градиента плотности, подготавливается методика расчета переноса маркеров. Визуализированы решения



для течений, индуцированных диффузий, которые в качестве начальных условий при расчете установления течений, вызванных движениями тел.

3. Грант РФФИ № 14-01-00738 «Аэротермохимия течений молекулярных газов и теплообмен в индукционных ВЧ-плазмотронах» (2014-2016 г.г.). Объем финансирования - 1750000,00 руб

На 100-киловаттном ВЧ-плазмотроне ВГУ-4 получены устойчивые дозвуковые и сверхзвуковые потоки плазмы азота в диапазоне давлений торможения 0.05 - 0.5 атм.

Выполнена фоторегистрация ударно-волновых структур, возникающих при обтекании водоохлаждаемой цилиндрической модели с плоским торцом радиуса 10 мм высокоэнтальпийной недорасширенной сверхзвуковой струей азота, вытекающей из конического сопла с диаметром выходного сечения 30 мм.

4. Грант РФФИ № 12-01-00398а «Конвективные процессы в околокритических жидкостях с существенно переменными физическими свойствами» (2012-2014 г.г.), объем финансирования 1149000,00 руб.

Осуществлено численное исследование тепловой гравитационной конвекции около- и сверхкритической жидкости в замкнутой области при подводе тепла сбоку. Проанализировано влияние переменных по пространству физических свойств, наблюдаемых при существенной температурной неоднородности внутри объема, на структуру течения и теплоперенос, изучены небуссиновские эффекты при сравнении с конвекцией совершенного газа.

Направление III.23 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

5. Грант РФФИ № 14-08-00016-а «Теоретические и экспериментальные исследования по механике и оптимизации в процессах проникания твердых тел в деформируемые среды с учетом неполноты данных о свойствах среды и внешних воздействиях» (2014-2016 г.г.), объем финансирования – 1710000,00 руб.

Проведены экспериментальные исследования новых эффектов при разрушении и пробивании пластин и слоистых преград. Были изучены механизмы разрушения, новые эффекты и оценены баллистические пределы в экспериментах по пробиванию пластин из твердых и мягких алюминиевых сплавов (Д16АТ и АМЦм), лежащих на пластилиновом основании (блоке).

6. Грант РФФИ № 14-01-00372 «Моделирование фрикционного взаимодействия неоднородных тел» (2014-2016 г.г.), объем финансирования – 2250000,00 руб.

Проведен расчет эффективных модулей упругости и коэффициентов теплопроводности волокнистого композита, состоящего из матрицы и волокон, уложенных параллельно поверхности трения. Полученные величины использованы для расчета поля температур



и напряжений при трении на примере углерод-углеродного композитного тормозного диска.

7. Грант РФФИ № 15-05-07767 «Влияние структуры промежуточного слоя на прочность соединения лед-горная порода» (2015-2017 г.г.), объем финансирования – 1205000,00 руб.

Исследованы амплитудно-частотные спектры акустических колебаний в диапазоне частот от 100 Гц до 20 кГц в промежуточном слое пресноводного льда на фрикционном контакте с подложкой сложной формы в условиях интенсивной пластической деформации, которые имитируют основные режимы движения ледников по сухому ложу. Разработан акустико-механический метод количественного определения структуры льда в процессе его фрикционного взаимодействия с подложкой. Для установления связи между обратной акустической сжимаемостью и радиусом подвижных элементов структуры, их собственной резонансной частотой и плотностью использовано аналитическое решение дифференциального волнового уравнения для осциллятора, состоящего из двух и более частиц льда, соединенных упругими связями.

8. Грант РФФИ 14-01-00275-а " Экспериментальное и теоретическое изучение закономерностей взаимовлияния напряженно-деформированного состояния и фильтрационных процессов в массиве горных пород" (2014-2016 г.г.), объем финансирования – 1480000,00 руб.

Проведено экспериментальное изучение влияния неравнокомпонентного трехосного напряженного состояния на фильтрационные и структурные характеристики горных пород различного типа. Исследования проводились на Испытательном стенде истинно трехосного независимого нагружения ИПМех РАН. Объектами изучения были породы из продуктивных пластов нефтегазовых месторождений, в том числе сланцы баженовских отложений, а также уголь.

В 2014-2015 г.г. в ИПМех РАН выполнялись работы по семи проектам Российского научного фонда, среди которых:

Направление III. 21 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем.

1. Грант РФФИ № 14-11-00298-а «Динамика и управление движением локомоционных систем и роботов», объем финансирования 12500000,00 руб.

Установлено, что для того, чтобы центр масс локомоционной системы, состоящей из двух тел, расстояние между которыми изменяется периодически, и перемещающейся вдоль горизонтальной прямой на шероховатой плоскости, мог начать движение из состояния покоя и выйти на стационарный режим с постоянной средней скоростью, необходимо и достаточно, чтобы массы тел системы были различными и, кроме того, были различными временные доли периода, в течение которых расстояние между телами системы увеличивается и уменьшается.

Направление III.22 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.



Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва.

2. Грант РФФИ № 14-19-01633 «Математические модели нелинейной механики в инженерной практике», объем финансирования 15000000,00 руб.

Получены точные аналитические формулы, выражающие волновое сопротивление двумерного тела через параметры генерируемых вниз по потоку волн.

Изучены механизмы затухания колебаний газового пузырька в жидкости и гашения акустической волны в пузырьковой среде. Получены формулы, описывающие единым образом свободные и вынужденные колебания газовых пузырьков в жидкости с учётом термического, вязкостного, акустического механизмов диссипации и поверхностного натяжения.

Направление III.23 ПФНИ ГАН на 2013-2020 г.г.

Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

3. Грант РФФИ № 14-11-00844 «Развитие механики пластического деформирования и разрушения для совместного дизайна слоистых композитов» (2014-2016 г.г.), объем финансирования 14600000,00 руб.

Предложено уравнение для определения толщины слоя с сильно измененной микроструктурой материала, возникающего в окрестности поверхностей трения, включая поверхности контакта двух материалов, в процессах обработки металлов давлением.

Получено полуаналитическое решение краевой задачи, описывающей процесс осадки трехслойной полосы в условиях плоскодеформированного состояния. Показано, что на поверхности контакта слоев возможны два режима трения: прилипание и проскальзывание.

4. Грант РФФИ № 14-29-00198 «Теоретико-экспериментальное исследование трения эластомеров» (2014-2016 г.г.), объем финансирования 27000000,00 руб.

Построена теоретическая модель и соответствующий алгоритм расчета силы и коэффициента трения, а также фактической и номинальной площадей контакта для вязкоупругого тела и контртела, имеющего многоуровневую шероховатость. Центральным моментом используемого подхода к расчету силы трения для рассматриваемой многоуровневой шероховатости является положение о передаче нагрузки с верхнего масштабного уровня на нижний, более мелкий. Выполнена численная реализация предложенного алгоритма в виде компьютерной программы на языке ФОРТРАН. Проанализировано влияние внешней нагрузки и скорости скольжения на силу и коэффициента трения при различных характеристиках шероховатости и вязкоупругих параметрах.

**16. Гранты, реализованные на основе полевой опытной работы организации при поддержке российских и международных научных фондов. Заполняется орга-**



низациями, выбравшими референтную группу № 29 «Технологии растениеводства».

Информация не предоставлена

## **ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАУЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

### **Наиболее значимые результаты поисковых и прикладных исследований**

#### **17. Поисковые и прикладные проекты, реализованные в рамках федеральных целевых программ, а также при поддержке фондов развития в период с 2013 по 2015 год**

В ИПМех РАН выполняются работы, поддержанные фондом развития – Инновационным центром «Сколково».

Договоры с ООО «БИОСТЭН», участником проекта «Сколково» на основании гранта фонда «Сколково» на научно-исследовательскую деятельность в рамках инновационного проекта «Разработка универсальных эндоваскулярных имплантатов (стентов) со свойствами биодegradации». Общий объем финансирования 11 632 202 руб.

1. Договор НИОКР №19ИПМех-12 от 28.11.2012 г. Тема «Создание экспериментальных кандидатов и разработка методики оценки и тестирования основных функционально-механических характеристик и дизайна модельных прототипов эндоваскулярных имплантатов (стентов)». Начало работ 01 ноября 2012 г., окончание 25 февраля 2013 г. Объем финансирования 6 200 000 руб.

2. Договор НИОКР №17ИПМех-14 от 01.10.2014 г. Тема «Разработка лабораторной технологии изготовления экспериментальных серийных образцов эндоваскулярных имплантатов (стентов) со свойствами биодegradации, методики оценки и тестирования их основных функционально-механических характеристики и дизайна». Начало работ 01 октября 2014 г., окончание 25 мая 2015 г. Объем финансирования 5 432 202 руб.

Основные результаты. Разработаны методики изготовления прототипов стентов с заданными геометрическими и механическими характеристиками из биоразлагаемых полимеров с помощью лазерной резки. Описаны изготовленные таким образом кандидаты прототипов стентов. Исследованы механические свойства биоразлагаемых полимеров. Выработаны рекомендации к свойствам материалов, предназначенных для изготовления биоразлагаемых стентов. Разработана лабораторная технология изготовления экспериментальных образцов эндоваскулярных имплантов (стентов) со свойствами биодegradации. Разработана технология мелкосерийного изготовления трубчатых заготовок для стентов методом послойного наращивания из раствора, которая также может применяться для нанесения лекарственного или (и) рентгеноконтрастного покрытия. Разработана методика



лазерной резки стентов с помощью фемтосекундного лазера из заготовок, полученных методом экструзии и послойным наращиванием, в том числе с рентгеноконтрастными добавками и покрытиями. Проведена осадка стента на средство доставки, предложены способы осадки для мелкосерийного производства стентов. Разработана методика упаковки стента для последующей стерилизации этиленоксидом. Проведено раскрытие стента в водной среде при 37 градусах Цельсия.

## **Внедренческий потенциал научной организации**

### **18. Наличие технологической инфраструктуры для прикладных исследований**

На базе ряда крупных экспериментальных комплексов ИПМех РАН располагает технологической инфраструктурой для прикладных исследований:

- Имеется технологическая инфраструктура на базе ВЧ-плазмотронов ВГУ-3 и ВГУ-4 для локального моделирования аэродинамического нагрева тепловой защиты и испытаний на термохимическую стойкость теплозащитных материалов для условий входа в атмосферы Земли и Марса спускаемых космических и гиперзвуковых летательных аппаратов.

Отработан и реализован технический подход к моделированию в дозвуковых струях диссоциированного углекислого газа на 100-киловаттном ВЧ-плазмотроне ВГУ-4 тепловых потоков к носку спускаемого аппарата, входящего в атмосферу Марса. На основании данных экспериментов по теплообмену сделан прогноз теплового потока и температуры поверхности керамического материала в окрестности затупленного носка аппарата EXOMARS для теплонапряженного участка траектории входа в атмосферу Марса.

- Имеется технологическая инфраструктура на базе мощных CO<sub>2</sub>-лазеров «Лантан 3» и «Лантан 5» для исследования взаимодействия интенсивного лазерного излучения с веществом, разработки лазерных технологий и создания специализированных оптических резонаторов.

### **19. Перечень наиболее значимых разработок организации, которые были внедрены за период с 2013 по 2015 год**

Информация не предоставлена

## **ЭКСПЕРТНАЯ И ДОГОВОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРГАНИЗАЦИИ**

### **Экспертная деятельность научных организаций**

**20. Подготовка нормативно-технических документов международного, межгосударственного и национального значения, в том числе стандартов, норм, правил, технических регламентов и иных регулирующих документов, утвержденных федеральными органами исполнительной власти, международными и межгосударственными органами**



Информация не предоставлена

## **Выполнение научно-исследовательских работ и услуг в интересах других организаций**

### **21. Перечень наиболее значимых научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ и услуг, выполненных по договорам за период с 2013 по 2015 год**

Ежегодно в ИПМех РАН выполняется более 30 договоров на выполнение НИР с российскими и иностранными заказчиками.

1. ФЦП «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года». Договор № 4ИПМех-13 от 25.07.2013 г. с ФГУП «ЦАГИ» по теме «Исследование прочности авиационных конструкций на основе новейших технологий установления безопасной эксплуатации самолетов» (основание ДС №2 к ГК от 28.03.2013 г. № 13411.1003899.18.038, заключенному между Министерством промышленности и торговли РФ и ФГУП «ЦАГИ» на выполнение НИР «Исследование прочности авиационных конструкций на основе новейших технологий установления безопасной эксплуатации самолетов»).

2. ФЦП «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года». Договор № 8ИПМех-13/НИР от 24.07.2013 г. с ФГУП «ЦАГИ» по теме: «Исследование вихревых течений в жидкостях и газах» (основание ДС №2 к ГК от 28.03.2013 г. № 13411.1003899.18.038, заключенному между Министерством промышленности и торговли РФ и ФГУП «ЦАГИ» на выполнение НИР «Исследование характеристик летательного аппарата при различных режимах эксплуатации»).

3. Гособоронзаказ. Контракт № 14ИПМех-13 от 16.09.2013 г. с ОАО «Корпорация «Московский институт теплотехники» по теме «Экспериментальное исследование термохимического состояния материалов в высокоэнтальпийном газовом потоке» (основание – Контракт № ЕП/1/02/Н/2408/2013 от 13.07.2013 г., Госзаказчик МО РФ).

4. Договор № 1ИПМех-15 по теме "Оценка стойкости и свойств поверхности КМ с эффектом абляции при воздействии плазменного потока на установке типа ВГУ-4". По заказу Фонда перспективных исследований".

5. Договор № Slb-FAC-27/05/2013-IPM\_RAN/TCS от 27.05.2013 г. с ООО «Технологическая Компания Шлюмберже» по теме: «Изучение влияния свойств фибров на седиментационные свойства проппанта в загруженных волокном жидких растворах».

6. Договор № 4321313103 от 15.05.2013 г. ООО «Газпром «ВНИИГАЗ» по теме: «Анализ термических эффектов при проектировании, строительстве и эксплуатации ледового острова» (основание договор ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и ОАО «Газпром» «Разработка стандарта «Проектирование ледовых островных сооружений для бурения разведоч-





ных скважин на арктическом шельфе. Нагрузки и воздействия. Прочность и устойчивость конструкции острова.» № 3081-0730-12-2 от 11.02.2013).

7. Договор № 172-15 ро по теме "Экспериментально-теоретическое исследование фреттинг-коррозионного изнашивания пар трения трубных элементов ПГ РУ БРЕСТ-ОД-300". ГК между АО "НИКИЭТ" и Госкорпорацией "Росатом" от 06.06.2013 №Н.4х.44.90.13.1147

8. ФЦП "Развитие гражданской авиационной техники России на 2002-2010 годы и на период до 2015 года". Договор № 9ИПМех-15 НИР "Динамическое моделирование самолетных конструкций и методы их расчета". ДС №7 от 27 июля 2015 к ГК от 28.03.2013 №13411.1003899.18.038 между Минпромторгом РФ и ФГУП "ЦАГИ"

9. Договор № 10ИПМех-15. НИР "Математическое моделирование газодинамики интерференционного взаимодействия объектов". ГОЗ ГК от 13.04.11 № Н.2з.11.41.11.2159 и ДС №9 от 30.01.15 между ФГУП "ГНЦ РФ-ФЭИ" и Госкорпорацией "Росатом"

10. Договор № 13ИПМех-14/51КД-14/ГК09.017. СЧ НИР "Исследование возможности получения инерциальной информации по анализу траектории инертной массы в центральном подвесе". ГК Минпромторга России и ОАО "Концерн "ЦНИИ "Электроприбор" № 13411.1400099.09.017 от 13.11.13.

**Другие показатели, свидетельствующие о лидирующем положении организации в соответствующем научном направлении (представляются по желанию организации в свободной форме)**

**22. Другие показатели, свидетельствующие о лидирующем положении организации в соответствующем научном направлении, а также информация, которую организация хочет сообщить о себе дополнительно**

Институт проблем механики, созданный в 1965 году выдающимся механиком XX столетия, академиком А.Ю.Ишлинским, ближайшим соратником С.П. Королева и М.В.Келдыша, является уникальным в России и в мире научным центром, в котором представлены все основные направления современной механики, являющейся фундаментальной основой решения многих проблем современной мировой науки и практической реализации научных достижений в широком спектре оборонных приложений, технологий двойного назначения, стратегических направлений развития РФ. ИПМех РАН является головной организацией РФ в области фундаментальных исследований гиперзвуковых технологий и робототехники оборонного характера. Академики Ф.Л. Черноусько и С.Т. Суржииков входят в состав НТС ВПК при Правительстве РФ.

В ИПМех РАН имеется безусловный потенциал для дальнейшего развития исследований в штате Института около 30% молодых сотрудников, которые работают под руководством авторитетных Российских ученых. В ИПМех РАН сложились ряд ведущих научных школ, поддерживаемых грантами Минобрнауки:



"Методы и алгоритмы исследования динамики сложных механических систем и их приложения", руководитель академик Д.М.Климов; "Теория и методы управления динамическими системами", руководитель академик Ф.Л. Черноусько; "Механика контактных взаимодействий в решении фундаментальных и прикладных задач трибологии", руководитель академик И.Г.Горячева; "Разработка механических моделей, методов расчета и диагностики процессов деформирования и разрушения материалов, конструкций и природных объектов с учетом образования и развития трещин и трещиноподобных дефектов, многомасштабные структуры и текстуры", руководитель член-корреспондент РАН Р.В. Гольдштейн.

ИПМех РАН в 2014 г. был включен в одну из рейтинговых баз данных по оценке исследовательских центров РФ "Ranking Web of World Research Centres", и среди институтов РАН занимал 6 место.

В рамках подготовки экспертных заключений об оценке результативности деятельности государственных научных организаций ИПМех РАН по сведениям за 2014 г. успешно прошел так называемую экспертизу-100 в соответствии с письмом РАН от 02.12.2015 № 2-10108-2115/741.

С 2008 г. в Академиздатцентре "Наука" выходит продолжающееся издание ИПМех РАН "Актуальные проблемы механики".

В 2013 г. вышел сборник статей к столетию А.Ю.Ишлинского "Академик А.Ю.Ишлинский - выдающийся ученый-механик". (ISBN 978-5-02-038153-7). В 2015 г. вышел юбилейный сборник статей "50 лет Институту проблем механики им. А.Ю.Ишлинского РАН" (ISBN 978-5-02-039181-9)

ФИО руководителя

*Сергеев*

Подпись

*Сергеев*

Дата

*19 мая 2017 г.*

