

УДК 532.516:621.89

*А. И. Беспорточный*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

## **Асимптотические режимы гидродинамического контакта упругого цилиндра и жесткого полупространства**

Рассматривается течение смазочной жидкости между упругим цилиндром и жестким полупространством. Вязкость жидкости растет с увеличением давления. Исследуются характерные особенности поведения толщины смазочной пленки и распределения давления внутри области тяжело нагруженного гидродинамического контакта. Выделяются различные асимптотические режимы упругогидродинамической смазки. Указаны диапазоны применимости ряда формул для расчета толщины смазочной пленки.

**Ключевые слова:** смазка, гидродинамический контакт, упругий цилиндр, толщина смазочной пленки, асимптотические режимы.

УДК 533.6.011.55, 533.6.011.6, 532.526.3

*В. Н. Бражко<sup>1,2</sup>, А. В. Ваганов<sup>1,2</sup>, В. Я. Нейланд<sup>1,2</sup>, М. А. Стародубцев<sup>1,2</sup>,  
В. И. Шалаев<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Центральный аэрогидродинамический институт

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

## **Моделирование особенностей обтекания наветренной стороны треугольного крыла с затупленными передними кромками на основе численного решения уравнений Навье–Стокса**

В работе, на основе численного решения методом конечного объема стационарных уравнений Навье–Стокса для сжимаемого вязкого и теплопроводного газа, исследовано гиперзвуковое обтекание конфигурации треугольного крыла с конусом. Рассмотрены ламинарный и турбулентный режимы течения, а также режим с ламинарно-турбулентным переходом. Особый акцент сделан на исследование структур пространственного течения около наветренной поверхности крыла. Результаты расчетов позволяют качественно объяснить наличие локальных зон пиковых тепловых потоков на крыле, наблюдаемых в экспериментах. В работе построено несколько сеточных моделей от 4 млн до 100 млн расчетных узлов. Непосредственное численное интегрирование выполнено в рамках пакета программ ANSYS CFX на вычислительном кластере ФАЛТ МФТИ.

**Ключевые слова:** гиперзвуковое течение, треугольное крыло с затупленными кромками, численное моделирование, тепловые потоки.

УДК 62-78

*Е. В. Варюхина*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

## Анализ эффективности экономических механизмов стимулирования повышения безопасности полетов

Проведен экономико-математический анализ эффективности естественных рыночных механизмов, стимулирующих повышение безопасности полетов, государственного регулирования безопасности полетов и их комбинированного механизма. Показано, что естественный механизм существенно менее эффективный, чем государственное регулирование.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, авиаперевозки, экономическая заинтересованность, механизмы управления, экономико-математическое моделирование, государственное регулирование безопасности полетов.

УДК 532.526.2

*Г. Н. Дудин<sup>1,2</sup>, А. В. Ледовский<sup>1,2</sup>, Я. Н. Со<sup>1</sup>*<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)<sup>2</sup>Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского

## Распространение возмущений в гиперзвуковом пограничном слое в окрестности точки излома передней кромки крыла

Исследовано течение в пространственном ламинарном пограничном слое на тонком крыле с изломом передней кромки на режиме сильного вязко-невязкого взаимодействия. Давление, индуцированное толщиной вытеснения, определяется по формуле «касательного клина», обобщенной на нестационарный случай. На основе теоретического анализа уравнений пограничного слоя получено интегральное соотношение для определения характеристической поверхности, связанной с индуцированным давлением. В результате численного решения уравнений пограничного слоя определены скорости распространения возмущений и построены диаграммы направленности при различных значениях температурного фактора и углов стреловидности передних кромок.

**Ключевые слова:** тонкое крыло, пограничный слой, гиперзвуковые течения, сильное взаимодействие, распространение возмущений.

УДК 532.526.048.3, 532.527, 532.529

*Л. С. Кукушкин, В. В. Вышинский*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

## **Моделирование на пилотажном стенде заправки топливом в полёте с учётом турбулентности атмосферы и спутной турбулентности за самолётом-заправщиком**

Разработаны математические модели взаимодействия заправляемого самолёта и конус-датчика заправщика с учётом турбулентности атмосферы и воздействия спутного следа самолёта-заправщика в процессе заправки. Выполнено моделирование на пилотажном стенде факультета аэромеханики и летательной техники МФТИ с внедрением математических моделей движения конус-датчика, шланга, процесса стыковки и расстыковки. Реализация алгоритмов на C++ облегчает их внедрение на другие стенды. Приведены результаты моделирования.

**Ключевые слова:** заправка в воздухе, вихревой след самолёта, безопасность полёта, атмосферная турбулентность, математическое моделирование на пилотажном стенде.

УДК 532.525

*З. М. Маликов<sup>1</sup>, А. Л. Стасенко<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>3</sup>Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского

## **Асимптотика затопленной струи и процессы переноса в ней**

Найдено решение стационарных уравнений Навье–Стокса для осесимметричной струи несжимаемой жидкости, истекающей в затопленное пространство, с точностью до третьего порядка по обратным степеням расстояния от точечного источника. Возникающий при этом парадокс нулевого расхода при конечном значении импульса преодолевается введением конечной пространственно-угловой области турбулентного течения для «сильной» струи. Исследованы пространственная эволюция циркуляции вязкой закрученной струи, а также диффузия примеси и распространение тепла.

**Ключевые слова:** ламинарный, вязкий, закрученный, турбулентный поток, перенос тепла и примеси.

УДК 533.6.011.8

*З. Я. Мъо Мъинт, А. Ю. Хлопков*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

## Расчет аэродинамики летательного аппарата сложной формы в гиперзвуковом режиме обтекания

Исследование влияния граничных условий на аэродинамические характеристики летательных аппаратов является одной из важнейших проблем современной аэрокосмической науки и практики. Особенно важна эта проблема при движении летательных аппаратов на больших высотах на режимах, описываемых молекулярной функцией распределения. Это орбитальный полет космических летательных аппаратов и движение воздушно-космических систем в верхних слоях атмосферы. В работе рассматриваются различные модели взаимодействия молекул газа с поверхностью и их влияние на аэродинамические характеристики в широком диапазоне режимов течения. Приведены результаты расчета аэродинамических характеристик воздушно-космического аппарата в свободномолекулярном, переходном и сплошносреднем режиме.

**Ключевые слова:** аэродинамика летательного аппарата, граничные условия, взаимодействие молекул газа с поверхностью, числа Рейнольдса, аэродинамика в различном режиме течения, гипотеза локальности.

УДК 532.5.032

*Г. Б. Сизых*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

## Критерий Бернулли для установившегося плоскопараллельного течения вязкой несжимаемой жидкости

Рассмотрено установившееся плоскопараллельное течение вязкой несжимаемой жидкости в потенциальном поле массовых сил. Доказано, что известное достаточное условие сохранения вдоль линий тока трехчлена Бернулли — равенство нулю градиента величины завихренности — является необходимым условием.

**Ключевые слова:** влияние вязкости, интеграл Бернулли, скорость переноса завихренности, теорема Бернулли, трехчлен Бернулли.

УДК 532.5.032

*Ву Тхань Чунг<sup>1</sup>, В. В. Вышинский<sup>1,2</sup>*<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)<sup>2</sup>Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского

## Исследование влияния теплообмена на подъёмную силу модели прямоугольного крыла при дозвуковых скоростях

В работе приведены результаты параметрических расчетов и экспериментов по влиянию поверхностного теплообмена на подъёмную силу модели крыла при дозвуковых скоростях полета. Дается иллюстративное объяснение происходящего.

**Ключевые слова:** теплообмен, аэродинамические характеристики, расчет, эксперимент, крыло.

УДК 533.924

*Д. А. Кравченко*

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
ГНЦ ФГУП «Центр им. Келдыша»

## **Кинетическое моделирование пристеночного слоя плазмы стационарного плазменного двигателя**

Статья посвящена исследованию взаимодействия плазмы с поверхностью керамических стенок разрядного канала в стационарном плазменном двигателе. Описывается одномерная нестационарная кинетическая модель пристеночной области плазмы. В данной модели учитывается процесс вторичной электрон-электронной эмиссии и влияние внешнего магнитного поля. Проводятся исследования зависимости структуры пристеночного слоя от локальных параметров плазмы и свойств материала изолятора. Исследуется влияние процесса взаимодействия электронов с поверхностью изолятора на их среднюю энергию и распределение по скоростям. Определяется характер влияния величины и направления магнитного поля на формирование пристеночного слоя.

**Ключевые слова:** численное моделирование, пристеночный слой плазмы, взаимодействие плазмы с материалом, вторичная электрон-электронная эмиссия, холловский двигатель, стационарный плазменный двигатель.

УДК 531.391.5

*В. П. Легостаев<sup>1,2</sup>, А. В. Субботин<sup>1</sup>, С. Н. Тимаков<sup>1,2</sup>, А. В. Зыков<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С. П. Королева

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

## **Исследование динамики управляемого углового движения космического аппарата с вращающимся солнечным парусом**

Методом математического моделирования исследуется динамика углового движения космического аппарата (КА) с двойным вращением и скрытым кинетическим моментом. Принципы управления угловым движением КА продемонстрированы на примере предложенной базовой конструкции, которая содержит приборный отсек, солнечный парус в виде большого вращающегося мембранного диска и компенсирующий силовой гироскоп. Парус находится в напряженно-деформированном состоянии под действием центробежных сил и гироскопического момента, возникающего при повороте оси вращения центральной жесткой вставки мембранного диска в процессе выполнения КА угловых маневров. Представлены результаты аналитических и численных исследований динамического поведения КА с вращающимся солнечным парусом в режимах программных разворотов и гашения начальных угловых скоростей.

**Ключевые слова:** устойчивость движения, космический аппарат с двойным вращением, солнечный парус.

УДК 533.951

*Т. И. Морозова<sup>1,2</sup>, С. И. Копнин<sup>1,2</sup>, С. И. Попель<sup>1,2</sup>*<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)<sup>2</sup>Институт динамики геосфер РАН

## О возможности управляемого разрушения микрочастиц плазменно-пылевыми методами

Рассмотрена возможность дробления мелкодисперсных частиц и разделения полиминеральных частиц на мономинеральные фракции плазменно-пылевыми методами. Разрушение частиц достигается посредством аномально высокой зарядки частиц вследствие их облучения жестким электромагнитным излучением высокой интенсивности. Представленное рассмотрение и его дальнейшая технологическая проработка имеют практический интерес с точки зрения повышения эффективности разработки рудных месторождений и переработки рудных отвалов и хвостохранилищ, содержащих определенное количество благородных металлов в виде тонковкрапленных фракций.

**Ключевые слова:** плазменно-пылевые процессы, зарядка пылевых частиц, электромагнитное излучение, дробление микрочастиц.

УДК 531.38

*А. А. Адуенко, Н. И. Амелькин*

Московский физико-технический институт (государственный университет)

## О предельных движениях волчка с внутренней диссипацией в однородном поле тяжести

Рассматривается волчок, моделируемый несущим телом с неподвижной точкой и однородным шаром, помещенным в шаровую полость несущего тела такого же радиуса, как и радиус шара. Предполагается, что диссипация обеспечивается только за счет внутренних сил, возникающих при относительных перемещениях шара. Показано, что предельными движениями волчка являются только стационарные вращения вокруг вертикали. Для случая, когда центр масс волчка лежит на одной из главных осей инерции, определено все множество предельных движений и детально исследован характер их устойчивости. Установлено, что для симметричного волчка с внутренней диссипацией условие устойчивости вращений, для которых радиус-вектор центра масс волчка направлен вертикально вверх, отличается от условия Майевского.

**Ключевые слова:** предельные движения, стационарные вращения, характер устойчивости, внутренняя диссипация, условие Майевского.

УДК 531.13, 531.36

*Н. Н. Ердакова<sup>1</sup>, А. П. Иванов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Удмуртский государственный университет

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

## Математическое моделирование удара двойного маятника о препятствие

Разработан и компьютерно реализован алгоритм исследования математической модели удара двойного маятника о препятствие, позволяющий рассчитывать ударные нагрузки и коэффициенты восстановления в точке контакта и шарнирах с целью минимизации негативных условий ударов в шарнирных креплениях.

**Ключевые слова:** двойной маятник, уравнения движения, математическая модель, численное исследование.

УДК 621.391.832.4

*В. М. Агафонов<sup>1,2</sup>, К. А. Афанасьев<sup>1</sup>, А. В. Яшкин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>ОАО «НПП «Квант»

## Определение направления на движущийся объект с использованием сейсмического модуля, содержащего молекулярно-электронные датчики движения

Разработан прототип сейсмического модуля системы безопасности, представляющий собой прибор, содержащий датчик линейных движений и, что является его характерной особенностью, два датчика вращательных движений. Проведена регистрация сейсмических сигналов. Основное внимание уделяется проблеме обнаружения направления на источник сейсмического сигнала. Приведены основные предпосылки и закономерности, на которых основывается анализ полученных сигналов. В результате обработанных данных построена траектория движения экспериментатора. На основании полученных результатов сделаны выводы о возможности создания качественно новых сейсмических систем безопасности и контроля территории на базе молекулярно-электронных датчиков движения.

**Ключевые слова:** измерительные приборы, сейсмические сенсоры, локация, рэлеевская волна, цифровая обработка сигналов, амплитудно-частотная характеристика.

УДК 519.688

*В. Г. Байдин*

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
Московский исследовательский центр Шлюмберже

## Построение изображения сейсмического разреза по модели BP2004 Benchmark

Задачи сейморазведки всегда требовали серьёзных вычислительных мощностей. В данной работе рассматривается метод миграции в обратном времени (Reverse time migration — RTM). Автором проделано тестирование программного кода [?] на модели EAGE BP2004 Benchmark. Модель представляет собой двумерный геологический разрез с заданным распределением скоростей (рис. ??). Модель создана по инициативе геофизического общества EAGE и предназначена для сравнительного тестирования программных разработок.

Задача построения сейсмических изображений — ресурсоемкая и сложная задача в обработке данных. Одной из проблем миграции сейсмических данных, в том числе и методом RTM, является ограниченность и дискретность наблюдения. В работе рассмотрены проблемы, возникающие при построении изображения методом RTM, а также способы их решения. Для этого по модели EAGE BP2004 выполняется расчёт прямой задачи и полученные модельные данные применяются для тестирования RTM миграции.

Отличительной особенностью программного кода является возможность расчёта с использованием неявных дифференциальных операторов (компактных схем). Произведено тестирование точности и времени исполнения алгоритма с использованием разных схем на задаче построения изображения данной модели.

В работе также освещены вопросы фильтрации изображений. Рассмотрены различные методы нормализации и высокочастотная фильтрация.

**Ключевые слова:** миграция в обратном времени, сейморазведка, обратные задачи, вычислительные методы, высокопроизводительные вычислительные системы.

УДК 519.677

*А. Г. Бирюков<sup>1</sup>, А. И. Гриневич<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>ООО «ГринМарк»

## Метод оценки погрешностей округления решений задач вычислительной математики в арифметике с плавающей запятой, основанный на сравнении решений с изменяемой длиной мантиссы машинного числа

Статья посвящена вопросам анализа погрешностей округления решений задач вычислительной математики на ЭВМ в арифметике с плавающей запятой и переменной длиной мантиссы машинного числа. Предложен метод оценки погрешностей округления, основанный на сравнении решений с различной длиной мантиссы, сформулированы правила достижения требуемой точности.

**Ключевые слова:** погрешность округления, точность решения задач вычислительной математики, машинное число с переменной длиной мантиссы, бесконечношаговый и конечношаговый алгоритмы, К-решение задачи вычислительной математики, гарантированная точность решений задач.



УДК 519.63

*Л. Е. Довгилевич, И. Л. Софронов*

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
Московский исследовательский центр Шлюмберже

## **Анализ явных и неявных центрально-разностных операторов для вычисления второй производной на равномерных сетках**

В работе рассмотрена задача вычисления второй производной от достаточно гладкой функции с помощью конечных разностей высокого порядка на равномерной сетке. Формулируются критерии сравнения различных алгоритмов вычисления по точности, памяти и количеству операций. Проанализированы два семейства конечно-разностных операторов с порядками аппроксимации от 4-го до 20-го: центрально-разностные и неявные центрально-разностные. Выявлено, что неявные операторы высокого порядка аппроксимации с трехдиагональной матрицей в левой части обладают преимуществом по всем критериям. Также показано, что такие операторы можно эффективно применять для вычислений на высокопроизводительных системах с распределенной памятью с помощью разбиения на подобласти.

**Ключевые слова:** вторая производная, аппроксимация, центрально-разностные операторы, неявные центрально-разностные операторы, компактные схемы, волновое уравнение.

УДК 004.4

*С. Н. Горбач<sup>1</sup>, Л. А. Макаревич<sup>1</sup>, К. Ю. Талецкий<sup>1</sup>, В. А. Петрухин<sup>1</sup>,  
В. И. Шоломова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

## **Организация обмена электронными документами для повышения качества образовательного процесса**

В статье предлагается способ организации обмена электронными документами в высшем учебном заведении и рассматривается создание электронной системы свободного обмена информацией. В ходе работы были проанализированы возможные способы решения данной задачи, заданы критерии оценки результата, разработана архитектура системы и анализируются результаты внедрения.

**Ключевые слова:** система электронного документооборота, хранение данных, сетевая архитектура, пользовательский интерфейс, распределённая система общественной печати, веб-сервер, прокси-сервер, виртуальная частная сеть, PDF, PCL, PJI, PostScript, Linux, IPP, SMB, CUPS.

УДК 614.8

*М. В. Шовкун<sup>1</sup>, А. И. Коровин<sup>2</sup>, В. Ю. Востоков<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России

## **К вопросу использования метода поэлементного расчета износа совокупности узлов, механизмов и агрегатов при оценке частоты возникновения чрезвычайной ситуации на опасном объекте**

В работе представлен анализ, позволяющий сделать вывод о том, что при оценке частоты возникновения чрезвычайной ситуации на объекте хранения и/или технологического использования пожаровзрывоопасных и токсичных веществ износ совокупности узлов, механизмов и агрегатов объекта может быть принят равным износу «долгоживущего» оборудования объекта.

**Ключевые слова:** частота возникновения чрезвычайных ситуаций, совокупность узлов, механизмов и агрегатов, износ, физический износ оборудования.