

---

Институт вычислительных  
технологий СО РАН

Кафедра математического  
моделирования НГУ

Кафедра вычислительных  
технологий НГТУ

## ОБЪЕДИНЁННЫЙ СЕМИНАР

### ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (численные методы механики сплошной среды)

*Основан в 1964 году академиком Н. Н. Яненко*

*Руководители: академик Ю. И. Шокин, д-р физ.-мат. наук профессор В. М. Ковеня*

---

## Аннотации докладов за весенний семестр 2012 г.

### Численное моделирование сложных режимов конвекции Рэля — Бенара (по материалам докторской диссертации)

И.Б. ПАЛЫМСКИЙ

*Военный учебно-научный центр сухопутных войск общевойсковой военной академии  
ВС РФ, Новосибирск*

*(07.02.2012)*

Предложен специальный спектрально-разностный метод расчёта различных режимов конвекции Рэля — Бенара, от стационарных до стохастических. Показано, что все рассматриваемые интегральные характеристики вычисляются устойчиво и с достаточной точностью.

Рассмотрены двумерная и трёхмерная постановки задачи о конвекции в прямоугольной области подогреваемой снизу несжимаемой жидкости. При трёхмерном моделировании горизонтальные границы предполагаются непроницаемыми и свободными от касательных напряжений, при двумерном — свободными либо жёсткими. Несмотря на наблюдаемые количественные расхождения между результатами трёхмерного моделирования и экспериментом, расчёты дают правильные законы изменения величин среднеквадратичных пульсаций температуры и вертикальной скорости, числа Рейнольдса, среднеквадратичной скорости и кинетической энергии при надкритичности, большей 150. При двумерном моделировании аналогичное соответствие наблюдается при сравнительно невысокой надкритичности до 250. В двумерных расчётах, при высокой надкритичности, формирование крупномасштабной структуры является доминирующим фактором, определяющим характеристики течения.

При умеренной горизонтальной протяжённости области в двумерных и трёхмерных расчётах действие силы плавучести обуславливает стратификационные спектры

Болджиано — Обухова и Ламли — Шура для скорости, а доминирование конвективного переноса для температуры — спектр пассивной примеси. При увеличении горизонтальной протяжённости области в двумерном моделировании в определённом интервале надкритичности в спектре скорости наблюдаются степенные законы, соответствующие прямому и обратному каскадным процессам переноса энтропии и энергии соответственно.

### **Конечно-разностное моделирование сейсмоакустических волновых процессов в сложноустроенных средах (по материалам кандидатской диссертации)**

М.Н. ДМИТРИЕВ

*Новосибирский государственный университет, Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск*

*(14.02.2012)*

Одной из основных задач акустического каротажа скважин является получение детальной структуры и определение механических свойств околоскважинного пространства на основе измерения волновых полей, вызванных воздействием ультразвуковых источников, находящихся в скважине. Проведение акустического каротажа в районах со сложным геологическим строением ведёт к необходимости углублённого понимания процессов формирования и распространения волновых полей с учётом свойств среды (анизотропия, поглощение). Кроме того, существенное влияние на волновые поля оказывают не только строение и свойства среды, но и конструкция самого акустического зонда. В работе на основе конечно-разностного метода на сдвинутых сетках разработан алгоритм моделирования процессов формирования и распространения волновых полей с учётом основных элементов конструкции источника (пьезоэлектрический излучатель, поглощающие прослойки). Для ограничения расчётной области теоретически и экспериментально обоснован алгоритм построения слабоотражающих граничных условий, позволяющий производить расчёт волновых полей без потери устойчивости. Результаты верифицируются серией численных экспериментов.

### **Моделирование взаимодействий ударных волн с использованием неструктурированных расчётных сеток (по материалам кандидатской диссертации)**

Д.Б. ЭПШТЕЙН

*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск*

*(21.02.2012)*

Работа посвящена численному моделированию сверхзвуковых течений газа на неструктурированных расчётных сетках, состоящих из треугольников (в двумерном случае) или тетраэдров (в трёх измерениях). Уравнения газовой динамики интегрируются с помощью конечнообъёмной TVD-схемы второго порядка точности. Реализовано несколько способов вычисления численных потоков путём приближённого решения задачи о распаде разрыва на гранях ячеек сетки. Расчётный код параллелизован методом геометрической декомпозиции области на подобласти, для обмена сообщениями между процессорами используется библиотека MPI.

Разработанная программа применена для моделирования сверхзвукового обтекания решетки цилиндров. Показано, что в зависимости от числа Маха набегающего потока и относительного расстояния между цилиндрами могут реализовываться три различных режима взаимодействия головных ударных волн: регулярное отражение, маховское отражение и коллективная головная ударная волна. Впервые обнаружено, что переход между регулярной и маховской ударно-волновыми конфигурациями при изменении числа Маха или относительного расстояния между цилиндрами сопровождается гистерезисом. Продемонстрировано, что прямой и обратный переход происходят, когда локальные углы наклона ударной волны в точке отражения или соответственно в тройной точке хорошо согласуются с известными теоретическими критериями.

Рассмотрена задача о прохождении ударной или взрывной волны через пористый барьер, моделируемый системой цилиндров или сфер. Исследована зависимость ослабления прошедшей волны от таких параметров задачи, как интенсивность падающей волны и коэффициент пористости барьера и его толщина. Показано, что ослабление практически отсутствует, если относительное расстояние между составляющими барьер телами превышает определенное значение.

## **Алгоритмы формосохраняющей аппроксимации весовыми кубическими сплайнами**

И.Б. КВАСОВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск  
(28.02.2012)*

Весовые кубические сплайны представляют собой естественное обобщение обычных кубических сплайнов. С физической точки зрения они описывают неоднородный упругий стержень, опёртый в некоторых точках. Считается, что упругие свойства материала на участках между точками опоры являются постоянными. Это приводит к тому, что гладкость теряется, но взамен имеем возможность регулировать скачки второй производной.

Получены алгоритмы построения интерполяционных весовых сплайнов и оценены ошибки аппроксимации. Предложены алгоритмы автоматического выбора весов (параметров формы), позволяющие сохранять свойства монотонности и выпуклости исходных данных. Построен базис из весовых кубических В-сплайнов, дающий возможность конструировать гладкие кривые с заданными свойствами формы. Найдены рекуррентные соотношения для весовых В-сплайнов. Численные расчёты показали высокую эффективность разработанных алгоритмов.

## **Проблемы передачи информации по магистральным линиям волоконно-оптической связи: Современность и перспективы**

А.С. Скидин, А.А. Редюк

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск  
(13.03.2012)*

Рассматриваются методы обработки информации, направленные на повышение пропускной способности волоконно-оптических линий связи при условии наличия в канале связи нелинейных воздействий на передаваемый сигнал. Обозначается круг проблем,

с которыми сталкиваются разработчики скоростных магистральных систем передачи информации, и предлагаются подходы к их решению.

### **Алгоритмы расщепления и факторизации для решения многомерных задач**

В.М. КОВЕНЯ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

*(20.03.2012)*

Дан обзор методов расщепления и факторизации для численного решения уравнений в частных производных применительно к задачам аэро- и гидродинамики в приближении уравнений Навье—Стокса сжимаемого теплопроводного газа и вязкой несжимаемой жидкости. Описываются основные подходы построения экономичных разностных схем с использованием схем расщепления по пространственным направлениям, расщепления по физическим процессам, их комбинаций, метода предиктор-корректор, приближённой факторизации и т. д. Представлен класс разностных схем, удовлетворяющих требованиям минимальной диссипации, и схем с минимальным числом арифметических операций на один временной слой. Приведены некоторые иллюстрации расчётов.

### **Численное моделирование в медицине: Некоторые постановки задач и результаты расчётов**

О.Ф. ВОРОПАЕВА

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

*(27.03.2012)*

Дан обзор типичных постановок задач, возникающих при численном моделировании процессов в организме человека. Представлены результаты численного моделирования взаимосвязи белков, ответственных за естественную гибель клеток (p53-индуцируемый апоптоз).

### **Модели и алгоритмы анализа состояния систем уникальных объектов (по материалам докторской диссертации)**

Р.Ю. ЗАМАРАЕВ

*Кемеровский филиал Института вычислительных технологий СО РАН, Кемерово*

*(03.04.2012)*

Работа посвящена разработке нового метода интерпретации наблюдений и экспериментов на основе математической модели полной энтропии системы уникальных объектов. Под системой уникальных объектов-опытов понимается совокупность наблюдений (экспериментов) за функционированием сложных, автономных и открытых систем — социально-экономических, производственных, технических. Новизна подхода к анализу и интерпретации определяет выбор общего случая данных наблюдений — неоднородных, косвенных, со скрытыми корреляциями, систематическими и случайными погрешностями. Для системы уникальных объектов-опытов устанавливается необходимость анализа структуры в аспектах связей объектов и показателей.

Для данных с указанными свойствами введено отображение, подобное энтропийному (по К. Шеннону), приводящее к определению математической модели полной энтропии системы объектов-опытов. Равенство или упорядоченность вкладов объектов в полную энтропию системы рассматриваются как признаки подсистем в особых видах состояния. Для получения критериев сравнения и оценки видов состояния объектов определено фазовое представление энтропийной модели системы, которое совмещается с изображениями эквивалентных динамических систем, выступающих в роли границ. Для единичных (разовых) наблюдений и экспериментов (на примере полигармонических вибраций) разработан способ построения комплексов феноменологических моделей и фазовых диаграмм на их основе для диагностики выборочных состояний технических систем.

Приведён ряд тестов и примеров с использованием данных из различных предметных областей, показывающих адекватность разработанных моделей, алгоритмов и правил интерпретации наблюдений и экспериментов.

### **Численное моделирование взаимодействия излучения с металлами при лазерной резке и легировании (по материалам кандидатской диссертации)**

Е.М. Смирнова

*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск*

(10.04.2012)

Теоретически исследовано влияние поляризации и моды лазерного излучения на форму и глубину образующейся поверхности металла. На примере лазерной резки нержавеющей стали проведено расчётно-теоретическое исследование и дан сравнительный анализ влияния длины волны излучения 10.6 и 1.06 мкм на максимальную глубину разрушения материала. Предложена математическая модель термокапиллярной и термоконцентрационной конвекции. На ее основе выполнено численное моделирование процесса взаимодействия импульсного лазерного излучения с металлом. Определены режимы существования многовихревой структуры течения в ванне расплава. Исследовано влияние температуры и концентрации на величину коэффициента поверхностного натяжения и характер течения в образующемся расплаве. Оценено влияние интенсивности лазерного импульса на гидродинамику образующегося расплава и распределение примеси внутри жидкой лунки. Проведено качественное сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

### **Моделирование конвективной неустойчивости в высоковязкой несжимаемой жидкости методом “частиц-в-ячейках”**

Горобчук А.Г., Григорьев Ю.Н., Федорук М.П.

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

(24.04.2012)

На основе численного моделирования решается задача о тепловой конвекции в высоковязкой несжимаемой жидкости методом “частиц-в-ячейках”. Математическая модель включает уравнения Стокса и уравнения непрерывности, описывающие движения породы, а также уравнение переноса тепла для температуры. Предложенный численный алгоритм позволяет проводить расчёты нестационарных конвективных течений при высоких числах Рэлея, больших градиентах вязкости и теплопроводности.

## Микросейсмический мониторинг гидроразрыва пласта

А.А. Дучков

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск*

*(15.05.2012)*

Технология гидравлического разрыва пласта (ГРП) широко распространена в нефтегазовой индустрии. Её основная задача — создание в массиве породы трещины или системы трещин, которые впоследствии служат для увеличения притока углеводородов. Считается, что рост трещины сопровождается излучением сейсмических волн. Целью микросейсмического мониторинга является установка системы сеймоприёмников, фиксирующих волновое поле в процессе ГРП. Данные мониторинга далее используются для локализации источников микросейсм; положение источников дает представление о геометрии образовавшейся системы трещин.

Работа включает краткое описание технологии и основных систем наблюдений (наземных и скважинных) при проведении микросейсмического мониторинга; основные методы обработки данных мониторинга: построение геометрии трещины гидроразрыва и определение анизотропных параметров среды (решение обратной кинематической задачи для времён пробега продольных и поперечных волн); примеры реальных данных и их обработки; перспективные задачи для численного моделирования: открытые проблемы и необъяснимые явления, наблюдаемые в данных.

*Место и время проведения заседаний:* по вторникам, в 16.00,  
конференц-зал Института вычислительных технологий СО РАН

*Адрес:* проспект акад. Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090

*Секретарь семинара:* канд. физ.-мат. наук, Юлия Викторовна Лиханова

*e-mail:* yulia.likhanova@gmail.com

*Интерактивная заявка доклада:* <http://www.ict.nsc.ru/seminar/ict/>