
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 2013 г.

Построение адаптивных сеток для численного решения прикладных задач

А.В. КОФАНОВ

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

(19.02.2013)

Работа посвящена разработке технологии построения адаптивных разностных сеток, основанной на численном решении систем обращённых уравнений Бельтрами и диффузии относительно управляющей метрики, и её дальнейшему применению для численного решения двух- и трёхмерных задач с особенностями. В частности, рассмотрены сингулярно-возмущённая задача диффузии, задача исследования погрешности измерения температуры в твёрдом веществе, подвергающемся пиролизу под воздействием внешнего теплового источника, а также задача численного моделирования динамики роста нанопор в пленке оксида алюминия.

Численное моделирование течений вязкой несжимаемой жидкости с применением методов расщепления (по материалам докторской диссертации)

Н.П. МОШКИН

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

(26.02.2013, 16.04.2013)

Впервые численно решены задачи о самодвижении двух вращающихся цилиндров и тора с вращающейся поверхностью (вокруг его центральной оси) в вязкой несжимаемой жидкости в ламинарном режиме течения при умеренных числах Рейнольдса; исследована зависимость скорости и направления самодвижения от скорости вращения поверхности тора.

На основе иерархии полуэмпирических моделей турбулентности построены усовершенствованные численные модели динамики турбулентного следа за буксируемым телом в линейно стратифицированной среде. Проведено тестирование и сравнение численных моделей, а также численное моделирование анизотропного вырождения турбулентности в дальнем следе за буксируемым телом в линейно стратифицированной среде. Показано, что турбулентный след за буксируемым телом по сравнению со следом за самодвижущимся телом генерирует внутренние волны существенно большей амплитуды. Впервые численно решена задача о динамике турбулентного следа с малым ненулевым суммарным избыточным импульсом в линейно стратифицированной среде. Выполнено численное моделирование динамики пассивного скаляра в турбулентных следах за телами, движущимися в линейно стратифицированной среде. Построен численный алгоритм для новой формулировки уравнений Навье — Стокса для закрученно-симметричного течения (предложенной С.Н. Аристовым и В.В. Пухначёвым), продемонстрирована высокая эффективность численной модели, основанной на новой форме уравнений.

Разработаны численные алгоритмы и комплексы программ для решения задач о течении вязкой несжимаемой жидкости, в которых давление задано на участках границы как часть краевых условий; построена диаграмма режимов течения в плоском Т-образном канале при заданных перепадах давления.

Использование итерационных схем при решении нестационарных систем уравнений Навье — Стокса

К.С. ИВАНОВ

Кемеровский государственный университет

(05.03.2013)

Во введении обоснована актуальность решаемых задач, сформулированы цели и задачи исследования, обозначены научная новизна и основные результаты.

Первая часть посвящена подготовке теоретического и практического материала, используемых для решения изучаемых задач: рассматривается метод неполной аппроксимации минимальных невязок решения линейных и билинейных систем алгебраических уравнений (СБАУ/СЛАУ), отдельное внимание уделяется алгоритму с полной оптимизацией итерационных параметров в линейном случае, описанный инструментарий тестируется на численном решении нестационарного уравнения Бюргерса, особый акцент делается на численном способе переноса краевого условия с удаленной границы на границу конечной области, приводящем к СЛАУ, заведомо не обладающими свойствами самосопряженности и знакоопределенности, обосновываются предпосылки разработки собственного программного комплекса для решения изучаемых задач, и рассматривается его базовая архитектура.

Вторая часть включает исследование плоских течений вязкой однородной несжимаемой жидкости: рассматривается дифференциальная постановка двумерной нестационарной системы уравнений Навье — Стокса в ограниченной многосвязной области, приводится численный алгоритм решения задач о плоском течении вязкой однородной несжимаемой жидкости. Особое внимание уделяется способу переноса краевых условий с удаленной границы на границу конечной области, который приводит к СЛАУ, заведомо не обладающей свойствами самосопряженности и знакоопределенности. Отмечается возможность использования полностью неявной разностной схемы для уравнения

четвёртого порядка относительно функции тока. Анализируются результаты расчётов различных типов плоских неустановившихся течений. Особо рассматриваются случаи обнаружения периодических режимов. Здесь же приводится дополнение к программному комплексу, позволяющее проводить визуализацию течений с помощью маркеров, в отличие от классического подхода, использующего линии тока.

Третья часть посвящена исследованиям пространственных течений вязкой однородной несжимаемой жидкости: рассматриваются различные дифференциальные формулировки трёхмерной нестационарной системы уравнений Навье — Стокса. Обсуждаются вопросы их эквивалентности, преимущества и недостатки. Отдельное внимание уделяется постановке граничных условий и численным алгоритмам решения задач о пространственном течении вязкой однородной несжимаемой жидкости. Анализируются результаты расчётов различных типов пространственных неустановившихся течений.

В заключении сформулированы основные выводы и приводится список использованных публикаций.

Алгоритмы формосохраняющей интерполяции весовыми бигармоническими сплайнами

И.Б. КВАСОВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск
(12.03.2013)*

Весовые кубические сплайны — эффективный инструмент интерполяции дискретных данных с сохранением таких их геометрических свойств, как монотонность и выпуклость. Данные сплайны являются естественным обобщением обычных кубических сплайнов и стали известны благодаря работе К. Салкаускаса [1]. С физической точки зрения они описывают неоднородный упругий стержень, опёртый в нескольких точках. Идея состоит в том, что упругие свойства материала считаются постоянными на участках между точками опоры. Это приводит к тому, что C^2 -гладкость теряется, но взамен мы имеем возможность регулировать скачки второй производной. В течение последующих десятилетий теория весовых сплайнов была существенно развита, и теперь известно, что такие сплайны имеют базис из В-сплайнов [2] и являются чебышёвскими сплайнами. В докладе задача построения весовых сплайнов одной и двух переменных сформулирована как дифференциальная многоточечная краевая задача (ДМКЗ). Это позволяет распараллелить вычисления и разработать весьма эффективные в реализации алгоритмы формосохраняющей интерполяции. В случае поверхностей используется весовое бигармоническое уравнение [3, 4]. Для решения ДМКЗ применены конечно-разностный метод и итерационные схемы в дробных шагах с расщеплением по пространственным переменным. Рассмотрено получение точного решения разностной задачи для схемы повышенной точности. Приводятся результаты тестовых расчётов.

Литература

1. Salkauskas, K.: C^1 splines for interpolation of rapidly varying data, Rocky Mountain Journal of Mathematics 14(1), 239–250 (1984).
2. Kim Tae-wan, Kvasov, B.I.: A shape-preserving approximation by weighted cubic splines, J. Comput. Appl. Math. 236, 4383–4397 (2012).
3. B.I. Kvasov, Hyperbolic spline interpolation algorithms, Comput. Math. Math. Phys. 51, 722–740 (2011).

4. В.И. Kvasov, Parallel mesh methods for tension splines, J. Comput. Appl. Math. 236, 843–859 (2011).

Информационные и вычислительные технологии в медицине и биологии: наши перспективы

А.В. ЮРЧЕНКО

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск
(19.03.2013)*

Представлено авторское видение проблем, связанных с применением вычислительных и информационных технологий в задачах медицинского и биологического характера. Предложен ряд направлений, развитие которых, с точки зрения автора, актуально и перспективно. Сформулированы несколько конкретных задач, решением которых уже занимаются в ИВТ СО РАН или предлагается заняться в ближайшее время.

Математическое моделирование ударных течений идеального и вязкого теплопроводного газа на основе дискретно-аналитического подхода

А.Л. АДРИАНОВ

*Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. акад. М.Ф. Решетнева, Красноярск
(26.03.2013)*

На основе дискретно-аналитического подхода моделируются двумерные стационарные ударные течения идеального и вязкого теплопроводного газа. Данный подход предполагает обоснованную схематизацию скачков уплотнения гладкой криволинейной поверхностью сильного газодинамического разрыва в вязком теплопроводном газе при больших числах Рейнольдса и допускает выделение множества газодинамических особенностей (разрывов) различного типа в случае идеального газа. Схематизация разрывов (или газодинамических образований, которые можно считать таковыми при больших числах Рейнольдса) позволяет при математическом моделировании избежать таких отрицательных явлений как дистракция (размазывание) разрыва и локальная (на нём) потеря аппроксимативных свойств численного решения, присущих методам сквозного счёта. Основным аргументом для гладкого представления скачка уплотнения с адекватным этому локальным применением аналитического аппарата, которым следует воспользоваться, является естественный (бесконечный при отсутствии других возмущений и тем более при учёте фактора вязкости — теплопроводности) порядок гладкости решения в касательном к скачку направлении. Конструируются численно-аналитические методы-симбиозы, сохраняющие положительные свойства как численных, так и аналитических методов. Практическое применение этих методов позволяет получить новые сведения о деталях внутреннего устройства сложных двумерных газодинамических течений, выявить как совместное, так и раздельное влияние вязкости — теплопроводности и краевого эффекта за скачком на исследуемый физический процесс.

Численное исследование математических моделей микромеханики при периодическом электростатическом импульсном воздействии

Э.Г. КОСЦОВ, Д.О. ПИМАНОВ, С.И. ФАДЕЕВ

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, Новосибирск,

Новосибирский государственный университет,

Институт математики СО РАН, Новосибирск

(02.04.2013)

Приводятся результаты численного исследования математических моделей микромеханики. Математические модели представлены электромеханическими устройствами, в которых подвижный электрод совершает колебания под воздействием электростатического поля в узком зазоре. Рассмотрены устройства с четырьмя типами подвижного электрода: недеформируемая платформа на пружине, цилиндрический изгиб натянутой плёнки, упругая балка с закреплёнными концами и консольного типа. Найдена область параметров модели, в которой подвижный электрод совершает колебания с периодом импульсного воздействия.

Численное моделирование кавитационных течений жидкости в гидротурбинах

Л.В. ПАНОВ

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

(09.04.2013)

Построены методы численного моделирования стационарных и нестационарных кавитационных течений вязкой жидкости, основанные на модели движения квазигомогенной изотермической сжимаемой среды, состоящей из жидкости и пара. В первом методе для нахождения плотности среды система уравнений движения замыкается баротропным уравнением состояния, во втором — с использованием уравнения переноса объёмной доли жидкости с источником членом, отвечающим за парообразование и конденсацию. Методы тестировались на задаче кавитационного обтекания цилиндра потоком вязкой жидкости. Показано хорошее согласование численных результатов обоих методов с экспериментом.

Второй метод распространён на задачи моделирования кавитационных течений в гидротурбинах. В этом случае для моделирования сжимаемых течений используется такая постановка граничных условий, при которой на входе и выходе задана полная энергия потока. Предлагается методика прогнозирования кавитационных характеристик гидротурбин — графиков зависимости КПД, момента, расхода от кавитационного числа. Методика даёт качественно хорошее согласование с экспериментом, но завышенное значение критического кавитационного числа.

Проведены моделирование нестационарных кавитационных течений в режиме частичной нагрузки и анализ учёта кавитации на динамику вихревого жгута в конусе отсасывающей трубы. Впервые выполнено моделирование продольных пульсаций давления, расхода, энергии потока в проточном тракте ГЭС в режиме полной нагрузки

по модели трёхмерного кавитационного течения. Результаты моделирования качественно и количественно согласуются с экспериментом.

Решение задач строительства в неформализованной постановке (по материалам кандидатской диссертации)

Д.С. ШМАКОВ

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

(23.04.2013)

Предложен новый подход к решению задач строительства, обладающих высокой степенью неопределённости и неполнотой исходных данных. Рассмотрены задачи обработки экспериментальных данных, определения изгибающего момента трещинообразования в железобетонных конструкциях, расчёта осадки здания на естественном основании в неформализованной постановке. Для описания не вполне определённых физико-механических характеристик материалов, грунтов и границ между слоями применён новый математический аппарат. Исходные данные для решения задачи представляются в виде нечётких величин, моды и носители которых определяются по результатам экспериментов и по нечётким аппроксимациям диаграмм деформирования материалов, в частности бетона. Реализован алгоритм расчёта осадки и момента трещинообразования как нечёткой величины. Их расчётные функции принадлежности дают вполне приемлемые для практического применения оценки. Полученные результаты показали преимущества нового подхода перед традиционным детерминистическим подходом к решению рассматриваемых задач, так как коэффициенты запаса могут быть заданы после выполнения расчёта.

Моделирование течений газа в переходном режиме на основе решения модельных кинетических уравнений (по материалам кандидатской диссертации)

А.А. ШЕРШНЁВ

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск

(30.04.2013)

Представлен численный метод моделирования течений в переходном режиме в микроустройствах. Метод основан на прямом решении кинетических уравнений релаксационного типа с помощью WENO-схем сквозного счёта высокого порядка точности в координатном пространстве и метода дискретных координат в пространстве скоростей. В отличие от метода прямого статистического моделирования (ПСМ) данный подход не подвержен статистическому разбросу и одинаково эффективен для моделирования как стационарных, так и нестационарных течений. Рассмотрены несколько классических задач газовой динамики и ряд актуальных задач динамики разреженного газа, включая течения в ударной трубе и микросопле. Результаты расчётов сравниваются с решениями уравнений Навье — Стокса и данными ПСМ.

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

Д.Б. Эпштейн

*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН, Новосибирск
(07.05.2013)*

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 конечнообъемной TVD-схемы второго порядка точности. Реализованы 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 использована для моделирования сверхзвукового обтекания решётки 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 сопровождается гистерезисом. Продемонстрировано, что прямой и обратный переходы происходят в случае, 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 определённое значение.

Математическое моделирование распространения диссипативных и дисперсионно управляемых солитонов в импульсных волоконных лазерах

И.А. Яруткина

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск
(14.05.2013)*

При помощи математического моделирования с использованием скалярного и векторного нелинейного уравнения Шредингера и комплексного нелинейного уравнения Гинзбурга — Ландау исследованы оптимальные параметры различных конфигураций волоконных лазеров с целью получения импульсов с наилучшими характеристиками. Представлен численный метод вычисления периодических решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих “быструю” динамику диссипативных солитонов в волоконных лазерах с дисперсионным управлением. Проведён

численный анализ семейства сильночирпованных диссипативных солитонов модифицированного уравнения Гинзбурга — Ландау.

Математическое моделирование квазистационарных электрических полей в атмосфере Земли (по материалам кандидатской диссертации)

Е.В. ПОМОЗОВ

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

(21.05.2013)

Разработан эффективный инструмент математического моделирования, позволяющий рассчитывать квазистационарные электрические поля и токи в атмосфере Земли. С его помощью получены важные геофизические результаты: созданы многосеточный численный метод для решения трёхмерных краевых задач для уравнения электропроводности, которое является дифференциальным уравнением второго порядка эллиптического типа, и научно-исследовательский комплекс программ для реализации построенного численного метода на многопроцессорных компьютерах, проведены вычислительные эксперименты; предложена математическая модель квазистационарных электрических полей в атмосфере Земли, обусловленных проникновением электрического поля из ионосферы при различных геомагнитных условиях; выполнен анализ погрешностей моделирования атмосферного электрического поля, возникающих при использовании упрощенных моделей ионосферного проводника; разработана математическая модель электрических полей, проникающих в ионосферу через атмосферу из литосферы, показана их малость по сравнению с полями, обычно существующими в ионосфере.

Математическое моделирование нелинейных режимов генерации волоконных ВКР-лазеров

А.Е. БЕДНЯКОВА

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

(28.05.2013)

Предложен и реализован новый подход к моделированию непрерывных волоконных лазеров и ВКР-лазеров, позволяющий исследовать нелинейные режимы генерации лазеров с различными конфигурациями резонатора и свойствами выходного излучения. Построены численные модели для описания спектральных характеристик и временной динамики излучения в лазерах с резонатором Фабри — Перо. Продемонстрировано, что предложенные модели позволяют получить количественное согласие численных результатов с данными натуральных экспериментов на примере конкретных лазерных схем.

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/>