
Институт вычислительных
технологий СО РАН

Кафедра математического
моделирования НГУ

Кафедра вычислительных
технологий НГТУ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ 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 2018 г.

Астрофизика и астрохимия экзопланет — суперкомпьютерное моделирование и его проблемы

В.Н. СНЫТНИКОВ

Институт катализа СО РАН, Новосибирск

Новосибирский государственный университет

(13.02.2018)

Современная астрофизика широко изучает процессы, которые привели к формированию Солнечной системы и многочисленных, недавно открытых экзопланет. Для этого используются методы наблюдательной астрономии, лабораторный эксперимент и суперкомпьютерное математическое моделирование. По этому направлению в мире работают тысячи исследователей, и ежегодно вкладываются сотни миллионов долларов. Эти средства идут прежде всего на эксплуатацию, строительство и проектирование радио- и других телескопов, в том числе телескопов космического базирования.

Такие ключевые конференции, как проходящая раз в пять лет Protostars and Planets, насчитывает около тысячи участников. Большой поток данных с Хаббла, АЛМА и других телескопов по околозвездным дискам в областях звездообразования определяет востребованность математических численных моделей. Многие из этих моделей находятся на границах возможностей современных суперкомпьютеров.

В выступлении рассмотрены узловые, по мнению докладчика, проблемы современного суперкомпьютерного моделирования в последовательности усложняющихся задач по изучению процессов в околозвездных дисках. В первую очередь это нестационарные задачи гравитационной газовой динамики с развитием турбулентности, неустойчивостей, джетов, коллапсов с возникновением сгустков — клампов. Кроме того, задачи динамики двухфазной среды газ — пыль, которая укрупняется до камней — булыжников и метровых тел. Важная роль в общей картине процессов принадлежит химическим реакциям, газофазным и гетерогенным каталитическим, а также ион-молекулярным. Общая

картина не будет полной без учета излучения звезды и протопланетного диска. Серьезную проблему представляет необходимость рассмотрения магнито-гидродинамических процессов. Затронутые проблемы кратко иллюстрируются результатами расчетов, которые получены под руководством докладчика.

Разработка алгоритмов расчета быстрого обмена импульсом между газом и твердыми частицами и моделирование газопылевых течений в околозвездных дисках

О.П. СТОЯНОВСКАЯ

Новосибирский государственный университет

Институт катализа СО РАН, Новосибирск

(20.02.2018)

Околозвездные протопланетные диски состоят из газа, пыли и твердых тел. Для таких дисков характерна жесткая связь между газовой и пылевой компонентами. Эта связь предъявляет высокие требования к методам расчета динамики пыли при моделировании дисков.

В докладе представлены разработанные экономичные алгоритмы для расчета трения (обмена импульсом) между твердой фазой и газом. Данные алгоритмы обладают следующими свойствами:

- универсальность — применимость для пыли и тел с любыми размерами, меньшими длины свободного пробега молекул газа;
- возможность рассчитывать взаимный обмен импульсом между пылью и газом, а не односторонний, как это делается во многих моделях;
- возможность проводить без потери точности расчеты с шагом по времени, определяемым газодинамическими параметрами, а не силой трения.

Приведены результаты суперкомпьютерного моделирования динамики газопылевого диска с использованием разработанного подхода.

Распространение нерастворенных примесей в затопленных подземных выработках (по материалам кандидатской диссертации)

Л.В. БОНДАРЕВА

Кемеровский филиал Института вычислительных технологий СО РАН

(27.02.2018)

Предложена математическая модель очистки жидких промышленных стоков в отработанных горных выработках закрытых и затопленных угольных шахт. Модель позволяет выявлять тенденции развития процессов очистки промышленных стоков от взвешенных примесей и оценивать время “безопасного” использования выработки как очистного сооружения.

Приведены результаты численного моделирования процесса очистки промышленных стоков от оседающих примесей разных фракций, “залпового выброса”, размыва слоя всплывших примесей при “самоизливе” жидкости из выработки. На основании проведенных численных экспериментов проанализированы причины возникновения “залпового выброса”, приведены оценки времени “безопасного” использования выработки как очистного сооружения.

Математическое моделирование динамики плазмы на высокопроизводительных вычислительных системах

А.В. СНЫТНИКОВ

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск (13.03.2018)*

Проведено математическое моделирование для нескольких актуальных задач физики плазмы и плазмоподобных сред: тлеющего разряда в силан-водородной плазме, взаимодействия мощного электронного пучка с субтермоядерной плазмой и эволюции дисковой гравитирующей среды. Для каждой задачи предложены новые вычислительные методы и создана оригинальная технология решения задач физики плазмы на высокопроизводительных вычислительных системах.

О неявных разностных схемах для уравнений газовой динамики

Г.М. КОБЕЛЬКОВ

*Московский государственный университет
Институт вычислительной математики РАН, Москва
(15.03.2018)*

Рассматриваются неявные разностные схемы, аппроксимирующие систему уравнений динамики идеального (вязкого) сжимаемого баротропного газа. Доказано, что для этих разностных схем выполняется сеточный закон сохранения массы, решение удовлетворяет энергетическому неравенству, а функция плотности положительна. Доказана разрешимость задачи на временном шаге. Приведены примеры расчетов задач.

Численное моделирование конвекции в верхней мантии Земли (по материалам докторской диссертации)

В.В. ЧЕРВОВ

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск
Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск
(20.03.2018)*

Для исследования конвективных процессов в верхней мантии Земли привлекаются уравнения Навье — Стокса в приближении Обербека — Буссинеска и геодинамическом приближении. Построены и детально протестированы основанные на методах расщепления по физическим процессам и пространственным переменным трехмерные численные модели конвекции в верхней мантии Земли. Проведено численное моделирование конвекции под континентальной плитой переменной мощности. Показано, что даже для протяженных геодинамических структур двумерное приближение неприменимо. Выявлена мелкомасштабная мода конвекции непосредственно под литосферой на “астеносферном” уровне глубин 200–350 км.

Проведено численное моделирование конвекции под литосферой Центральной Азии и Евразии. Показано, что мощная литосфера Сибирского кратона затрудняет вынос мантийного тепла, вследствие чего под ней возникает естественный локальный пере-

грев и происходит становление восходящего потока конвекции в верхней мантии под юго-западной частью кратона. В восточной части Центральной Монголии возникает парный ему восходящий поток. Положение этих восходящих потоков совпадает с распределением отрицательных аномалий сейсмических скоростей, положением аномалий наблюдаемого гравитационного поля и распределением теплового потока. Возвышенности и низменности Русской платформы согласованы с восходящими и нисходящими конвективными потоками под ней. Построены численные модели спрединга и субдукции. Представлены результаты численного моделирования трехмерной конвекции под океанической литосферой в зонах раздвижения плит (спрединг) и формирования слэба (субдукция) под континентальной литосферой.

Численное моделирование размыва связного грунта (по материалам кандидатской диссертации)

А.И. Зимин

Кемеровский государственный университет

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

(27.03.2018)

Работа посвящена построению модели двух- и трехкомпонентной вязкой несжимаемой жидкости для задач размыва и переноса связного грунта под действием внутреннего течения и поверхностных волн. Подобные задачи могут возникать при необходимости контроля за устойчивостью нефте- или газодобывающих платформ гравитационного типа, расположенных на прибрежном шельфе. Такие платформы держатся на дне благодаря огромной массе основания. В случае, когда дно является связным грунтом (глина, ил и т. п.), инженерные методы не всегда могут обеспечить получение корректной картины размыва, а проведение лабораторных экспериментов зачастую технически не представляется возможным.

Модель описывается нестационарной системой уравнений Навье — Стокса (с учетом переменных вязкости и плотности), уравнениями конвективной диффузии и уравнениями для определения вязкости и плотности, зависящими от концентрации компонентов. В модели учитываются эффекты намочания и диффузии грунта в воде.

Представлены результаты двух- и трехмерных расчетов задач размыва связного грунта (размыв грунта вблизи препятствия, Hole Erosion Test), распространения поверхностных волн (обрушение столба жидкости, распространение одиночной волны в гидроволновом лотке) и взаимодействия волн и донного грунта между собой (движение подводного оползня, размыв грунта под действием поверхностных волн).

Автоморфные системы и дифференциально-инвариантные решения

А.А. Талышев

Новосибирский государственный университет

(03.04.2018)

Система дифференциальных уравнений называется автоморфной относительно локальной группы Ли G , если любое решение этой системы получается из одного фик-

сированного ее решения преобразованием, принадлежащим группе G . Автоморфная система максимального ранга участвует в групповом расслоении, а решения автоморфных систем меньшего ранга называются дифференциально-инвариантными решениями. Понятие дифференциально-инвариантных решений является обобщением понятия инвариантных решений.

Орбита графика всякого отображения в продолженном пространстве может рассматриваться как система дифференциальных уравнений.

Доказано, что в случае конечнопараметрических групп Ли для каждого отображения начиная с некоторого продолжения (зависящего от отображения) орбиты будут вполне интегрируемыми системами дифференциальных уравнений и в силу этого будут автоморфными системами. Этот факт вместе с известной теоремой о представлении неособого инвариантного многообразия помогает конструировать автоморфные системы.

Еще один результат работы автора касается обоснования алгоритма интегрирования автоморфных систем.

Спектральный метод с адаптивной сеткой на основе дробно-рациональной аппроксимации

С.В. ИДИМЕШЕВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск
(10.04.2018)*

Рассматривается спектральный метод для решения задач с особенностями в виде больших градиентов. Решение на каждом шаге по времени аппроксимируется одной дробно-рациональной функцией (отношение двух полиномов), записанной в барицентрической форме на адаптивной сетке. По сравнению с полиномиальной дробно-рациональная аппроксимация имеет принципиально лучшие свойства в случае приближения функций с особенностями в виде больших градиентов и ограниченной гладкости. Приведен алгоритм адаптивного распределения точек коллокации, использующий информацию об особенности функции в комплексной плоскости. Предложен способ одновременного учета нескольких особенностей (фронтов). Верификация метода проведена на примере уравнения Бюргера.

Approximation of multivariate functions under certain generalized convexity assumptions

A. GUESSAB

*Universite de Pau et des Pays de l'Adour, Pau, France
(17.04.2018)*

In this presentation, we will try to answer the following question: How can we compute the best possible approximation to a given multivariate function when some of its additional characteristic properties as convexity are known? We also discuss some ongoing related research.

Конечно-разностные методы решения многомерных задач тепло- и массопереноса и течений вязкой жидкости с локально-аналитическим разрешением сингулярностей и подвижных границ (по материалам докторской диссертации)

А.В. Паничкин

Омский филиал института математики им. С.Л. Соболева СО РАН

(24.04.2018)

Для математического моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости при больших числах Рейнольдса и тепло- и массопереноса при малых числах диффузии проведено совмещение численных и аналитических методов для многомерных задач. На практике при решении ряда задач возникает необходимость сталкиваться с разрешением локальных сингулярностей для искомых функций в виде подвижных тонких внутренних слоев или с расчетом подвижных границ.

Показана эффективность использования регулярных сеток с разработанным алгоритмом уменьшения схемной вязкости для многомерных задач, имеющих решения с большими градиентами и какими-либо сингулярностями внутри области определения в условиях неопределенности расположения.

Проведено тестирование задач конвективно-диффузионного теплопереноса с разрывами первого рода при использовании различных конечно-разностных схем. При этом имеет место применение одномерных схем с равномерной сходимостью второго порядка точности с сохранением точности в многомерном случае для широкого диапазона малого параметра диффузии.

Разработанный численно-аналитический метод применен к расчетам модельных течений вязкой несжимаемой жидкости при больших числах Рейнольдса, а также к моделированию турбулентных течений, включая прямое моделирование турбуликации потоков с возникновением нестационарного образования вихрей, что может иметь место на крупной сетке (≈ 80 узлов) с наличием несущественной схемной вязкости при $Re \geq 103$.

Разработанные алгоритмы применены для пространственных задач массопереноса загрязняющих веществ на примере расчетов в воздушном бассейне города и задачи переноса вязкой жидкости со свободными границами на примере офсетной печати с протеканием ее между вращающимися цилиндрами, что имеет большое практическое значение.

Конформная инвариантность в двумерной турбулентности

В.Н. ГРЕБЕНЕВ, М. ВАЦЛАВЧИК, М. ОБЕРЛАК

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

(08.05.2018)

А.М. Поляковым в 1993 г. сформулирована гипотеза о существовании структур во второй турбулентности инвариантных относительно конформной группы преобразований. Гипотеза возникла в связи с обнаруженным эффектом конформной инвариантности границ фаз в теории критических фазовых переходов. В работах Bernard et al. 2006, 2007 и Falkovich 2007 конформная инвариантность изолиний поля завихренности (границы кластеров вихрей в обратном каскаде) установлена на основе прямого численного моделирования уравнений Навье — Стокса. Этот результат доказан аналитически в работе Grebenev et al. 2017.

Показана конформная инвариантность вероятностной меры для одноточечной функции плотности распределения вероятности поля завихренности — гипотеза, высказанная Г. Фальковичем в 2007 г. Результаты получены на основе группового анализа уравнений Лангрена — Монины — Новикова. Они свидетельствуют о возможности получения точных аналитических результатов в статистической теории турбулентности. Значимость результата состоит в том, что изолинии нулевой завихренности лежат в том же классе (Scramm — Loewner evolution) конформно-инвариантных стохастических кривых, что и границы фаз в теории критических фазовых переходов (теории критической перколяции). Это позволяет перенести полученные соотношения из теории критической перколяции в теорию турбулентности.

Дисперсионные и гидростатические модели обрушения волн на мелкой воде

С.Л. ГАВРИЛЮК, В.Ю. ЛЯПИДЕВСКИЙ, А.А. ЧЕСНОКОВ

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

Новосибирский государственный университет

(15.05.2018)

Предложен метод построения математических моделей распространения и обрушения волн, основанный на двухслойном представлении течения. Верхний слой рассматривается в рамках гидростатического приближения вихревой мелкой воды. Для описания нижнего слоя применяются уравнения Грина — Нагди или Сен-Венана. Взаимодействие между слоями учитывается кинематическим условием с массообменом, пропорциональным величине, характеризующей сдвиговой характер течения в верхнем слое. Полученные модели описывают генерацию завихренности при обрушении волн, ондулярные и монотонные боры.

Выведены двухслойные модели взаимодействия приповерхностного пузырькового сдвигового слоя жидкости с длинными внутренними волнами. Представлены численные результаты по формированию внутренних волн большой амплитуды, включая периодические и затухающие колебательные решения.

Балансовые модели динамики применительно к подсистемам биосферы (по материалам кандидатской диссертации)

А.И. ПЕСТУНОВ

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

(22.05.2018)

Математическое моделирование и вычислительный эксперимент являются эффективными способами получения знаний о происходящих в биосфере процессах без непосредственного вмешательства в систему. При этом минимальные (малоразмерные) модели, учитывающие небольшое число интегральных переменных, позволяют провести качественный анализ процессов. Однако если переменных очень много, подобный анализ полноразмерных моделей может быть затруднителен или вовсе невозможен.

Настоящий доклад посвящен нахождению областей в пространстве параметров минимальных моделей, при которых происходят существенные изменения в динамике значений переменных, и интерпретация полученных результатов.

Рассмотрены малоразмерные модели для решения двух прикладных задач. Первая задача заключается в качественном анализе наземной части круговорота углерода. Эта модель содержит три переменных: углерод фитомассы, углерод гумуса и углерод атмосферы. Исследованы сценарии динамики системы при задании различных допустимых наборов значений параметров. Вторая задача состоит в описании фундаментальных принципов развития и самоорганизации лесных экосистем. Приведено описание и дан качественный анализ построенных дифференциальных балансовых моделей роста одиночного дерева и роста и взаимодействия двух деревьев в условиях ограничения питательных веществ почвы и ограничения энергии света.

Численные и аналитические методы расчета воздействия электромагнитного поля на проводящее тело (по материалам докторской диссертации)

А.О. САВЧЕНКО

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск (29.05.2018)*

Разработаны и исследованы оригинальные численно-аналитические и численные методы математического моделирования воздействия внешнего электромагнитного поля на проводящее тело. Исследования проведены для однородных проводников, имеющих шаровую, эллипсоидальную и осесимметричную форму, а также для проводников, ограниченных гладкой поверхностью, в условиях квазистационарного приближения.

Решена внешняя краевая задача в трехмерной области для определения скалярного потенциала вне проводника произвольной формы методом декомпозиции области. Исследованы сходимость метода и условия его применимости. Предложены квадратурные формулы для вычисления потенциала и напряженности поля заряженного эллипсоида, имеющие непосредственное применение при решении вышеуказанных задач.

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

Адрес: просп. акад. Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090

Секретарь семинара: канд. физ.-мат. наук Олег Игоревич Гусев

e-mail: gusev_oleg_igor@mail.ru

Интерактивная заявка доклада:

<http://www.ict.nsc.ru/ru/education/seminar/seminar-page-ict>