
Федеральный
исследовательский центр
информационных
и вычислительных технологий

Кафедра математического
моделирования НГУ

Кафедра вычислительных
технологий НГТУ

ОБЪЕДИНЕННЫЙ СЕМИНАР

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

(Численные методы механики сплошной среды)

Основан в 1964 г. академиком Н. Н. Яненко

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

Аннотации докладов за 2023 г.

Восстановление дробно-линейных зависимостей по интервальным данным

С. П. ШАРЫЙ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Новосибирск (14.02.2023 и 21.02.2023)*

Рассмотрены методы восстановления дробно-линейных функциональных зависимостей по данным с интервальной неопределенностью. Они получаются как конкретизация теоретической схемы для общих нелинейных функциональных зависимостей и основаны на идее максимизации совместности параметров и данных, ранее успешно зарекомендовавшей себя при решении задач нахождения параметров линейных зависимостей.

Для случая сильной совместности параметров и данных показана квазивогнутость распознающего функционала, возникающего при восстановлении дробно-линейной зависимости. Его точка максимума берется в качестве оценки параметров зависимости. Рассмотрено обобщение предложенной методики на произвольные дробно-линейные функции.

Моделирование, анализ и испытания зеркальных антенн космических аппаратов с твердотельными рефлекторами

А. В. ЛОПАТИН, В. Б. ТАЙГИН

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Красноярск; АО “Информационные спутниковые системы” им. акад. М.Ф. Решетнева”,
Красноярск (28.02.2023)*

Представлены результаты исследований, посвященные моделированию, анализу и испытаниям зеркальных антенн космических аппаратов с твердотельными рефлекторами. Актуальность исследований обусловлена потребностью в совершенствовании конструкций зеркальных антенн космических аппаратов с твердотельными рефлекторами,

обеспечивающих трансляцию радиосигналов в высокочастотных диапазонах. Целью исследований является разработка методик проектирования и методик наземных испытаний конструкций твердотельных композитных рефлекторов космических аппаратов. Задачами исследований являются: разработка рациональных силовых схем твердотельных композитных рефлекторов, обеспечивающих их стойкость при нагрузках, возникающих в процессе выведения космического аппарата на орбиту; разработка методик проектирования твердотельных композитных рефлекторов, позволяющих определять параметры конструкции с требуемой жесткостью и минимальной массой; разработка методик натурного моделирования динамического состояния твердотельных композитных рефлекторов при нестационарных нагрузках, возникающих в процессе выведения космического аппарата на орбиту; разработка методик наземных испытаний твердотельных композитных рефлекторов на действие теплового нагружения, возникающего при орбитальном движении космического аппарата; проведение динамических и тепловых экспериментальных исследований твердотельных композитных рефлекторов.

Нелинейные оптические импульсы в средах с несимметричным усилением

А. Е. БЕДНЯКОВА

Новосибирский государственный университет, Новосибирск (14.03.2023)

Представлена новая модель, описывающая распространение оптических импульсов в средах с несимметричным усилением. Приведены результаты теоретического и численного исследования свойств несимметричных импульсов, формирование которых происходит в подобных средах. Обсуждается аналогия рассмотренных уравнений с гидродинамической моделью мелкой воды. Рассмотрено развитие спектральных оптических ударных волн и указаны условия их возникновения. Результаты работы дают представление о природе несимметричных оптических импульсов, способных накапливать большую нелинейную фазу без разрушения, что является ключевым моментом при разработке оптических волоконных усилителей.

Численное исследование гемодинамики в персонально специфических моделях кровеносных сосудов

В. Г. БОРИСОВ, Ю. Н. ЗАХАРОВ

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Кемерово; Кемеровский государственный университет, Кемерово (21.03.2023)

Рассмотрено построение персонально-специфических геометрических моделей сосудов на основе данных компьютерной ангиографии пациентов. Выполнены формирование расчетных сеток и численные расчеты установившегося периодического течения с “физиологическими” исходными данными, а также постпроцессинг результатов расчетов для вычисления распределения гемодинамических параметров течения, связанных с рисковыми факторами атеросклероза. Представлены результаты визуализации и сравнительного анализа полученных данных, обсуждаются используемые программные средства.

Численное моделирование сверхзвукового пограничного слоя колебательно возбужденного диссоциирующего газа

Ю. Н. ГРИГОРЬЕВ, А. Г. ГОРОВЧУК, И. В. ЕРШОВ

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск; Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск (28.03.2023)

Рассмотрены эффекты термохимической неравновесности в сверхзвуковых течениях газов. Представлены физико-математические модели плоского сверхзвукового пограничного слоя, в которых последовательно учитываются процессы колебательного возбуждения, диссоциации – рекомбинации, а также многокомпонентный состав газовой смеси. Для каждой модели проведены сравнительные расчеты численных и локально автомодельных решений уравнений пограничного слоя для различных условий в набегающем потоке и на поверхности пластины, соответствующих различным аэродинамическим ситуациям. Показано, что для адекватного учета влияния химических реакций в расчетах устойчивости пограничного слоя необходимо использовать профили гидродинамических параметров, рассчитанные численно в полной постановке.

Задачи риск-анализа конструкций технических систем: особенности и возможности

А. М. ЛЕПИХИН

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (04.04.2023)

В докладе рассматриваются задачи риск-анализа конструкций технических систем. Риск-анализ формулируется как определение вероятностей или возможностей разрушения конструкций, обусловленных влиянием случайных факторов. Методология риск-анализа основана на концепции предельных состояний, модели отказов “нагрузка – прочность” и критериях механики разрушения. Обсуждаются особенности и возможности риск-анализа с использованием вероятностных и интервальных методов. Рассматриваются возможности риск-анализа разрушений конструкций на основе классической модели Вейбулла и одно- и двухкритериальных моделей механики разрушения. Представлена схема риск-анализа конструкций с использованием цифровых двойников.

Численное моделирование динамических процессов в конструкциях зданий и сооружений при воздействии сейсмических волн

И. МИРЗАЕВ, Э. А. КОСИМОВ, Ж. Ф. ШОМУРОДОВ, М. С. ТУРДИЕВ,
Д. С. АСКАРОВА

Ташкентский государственный транспортный университет; Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М. Т. Уразбаева АН РУз, Ташкент, Узбекистан (11.04.2023)

В докладе рассматриваются одномерные и пространственные модели конструкций зданий, мостов и подземных трубопроводов, взаимодействующих с грунтом по линейным и нелинейным моделям. Изучение волновых процессов в одномерной задаче с использованием явной конечно-разностной схемы позволяет выявить все особенности воздействия волн деформаций разных форм, в том числе с разрывами, и сейсмических волн на протяженный подземный трубопровод, обосновывает применимость неявных конеч-

но-разностных схем решения задач для пространственно-расположенных конструкций. В одномерном случае модель взаимодействия трубопровода с грунтом устанавливается по экспериментальным данным их кусочно-линейной аппроксимацией, при этом учитываются этапы нагружения, разгрузки, структурного разрушения и сухого трения. Для анализа напряженно-деформированных состояний пространственно-расположенных систем трубопроводов создан автоматизированный программный комплекс для решения класса линейных задач при воздействии волн по реальным записям землетрясений. Для наземных конструкций (зданий, мостов, АЭС) предложено использование сейсмоизоляторов, работающих по принципу сухого трения, при этом расчет производится методом конечных элементов и неявной схемой Ньюмарка. Предложен уникальный алгоритм решения задач с сухим трением.

Гидродинамическое приближение для двумерной оптической турбулентности: симметрии статистических распределений

В. Н. ГРЕБЕНЕВ, С. Б. МЕДВЕДЕВ, М. П. ФЕДОРУК

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (25.04.2023)

Концепция калибровочных преобразований (развитая в геометрии полей Янга–Миллса) применяется к доказательству конформной инвариантности статистики линий нулевой завихренности в случае обратного каскада энергии в волновой оптической турбулентности, которая изучается в рамках гидродинамического приближения двумерного нелинейного уравнения Шрёдингера для весового поля скорости. При этом многоточечные функции плотности распределения вероятности (ФПРВ) удовлетворяют бесконечной цепочке уравнений Ландгрена–Монина–Новикова (статистическая форма уравнений Эйлера). Уравнения рассматриваются при внешнем воздействии в виде белого гауссова шума и крупномасштабного трения, что ведет к статистической стационарности ФПРВ. Основной результат: калибровочные преобразования являются локальными, конформно-инвариантно преобразуют n -точечную статистику линий нулевой завихренности.

Метод частичных областей в задачах дифракции электромагнитных волн в волноводных структурах с резонансными областями

(по материалам кандидатской диссертации)

Г. В. АБГАРЯН

Казанский федеральный университет, Казань (02.05.2023)

Исследован ряд дву- и трехмерных задач дифракции ТЕ-поляризованных электромагнитных волн в бесконечных и полубесконечных волноводных структурах прямоугольного и кругового сечения с резонансными областями, образованными с помощью различных неоднородностей (металлических перегородок, диафрагм и т. д.). При определенных условиях краевые задачи и задачи сопряжения для системы уравнений Максвелла сведены к краевым задачам и задачам сопряжения для уравнения Гельмгольца. Для решения краевой задачи используется метод частичных областей с дальнейшим применением метода интегрально-сумматорных тождеств, который позволяет свести исходную краевую задачу к бесконечной системе линейных алгебраических уравнений второго рода (БСЛАУ-2) с матричным оператором $I+A$, действующим в гильбертовом

пространстве бесконечных последовательностей с весом $h\rho$ (в энергетическом пространстве). Доказаны фредгольмовость матричного оператора $I+A$ в пространстве $h\rho$ и эквивалентность исходной краевой задачи для уравнения Гельмгольца и БСЛАУ-2. Для приближенного решения БСЛАУ-2 используется метод усечения (редукции). Доказана S -сходимость приближенного решения усеченной СЛАУ к точному решению БСЛАУ-2. Найдены приближенные значения собственных (резонансных) частот для резонансных областей.

Усиление цунами, обусловленное динамикой деформации дна: численное моделирование реальных событий

К. А. СЕМЕНЦОВ, М. А. НОСОВ, С. В. КОЛЕСОВ, Ю. ТАНИОКА

Университет Хоккайдо, Саппоро, Япония; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва (16.05.2023)

Традиционно в качестве входных данных для моделирования цунами используется начальное возвышение поверхности воды в очаге, рассчитанное в рамках приближения мгновенной деформации дна. Это начальное возвышение либо равно полному вертикальному смещению дна, либо уступает ему (если при расчете был учтен сглаживающий эффект водного слоя). Однако теоретический анализ показал, что если выйти за рамки приближения мгновенной деформации дна и учесть динамику формирования этой деформации, то можно получить возвышение водной поверхности, которое значительно превысит вертикальное смещение дна. Такое “резонансное” усиление наблюдается, если горизонтальная скорость распространения деформации дна сопоставима со скоростью длинных волн.

Рассмотрены результаты численного моделирования ряда реальных событий, в которых имело место указанное усиление (катастрофическое землетрясение Тохоку 11.02.2011, землетрясение на Курильских островах 15.11.2006 и др.). Особое внимание уделено анализу диаграмм направленности излучения энергии цунами.

Все численные расчеты выполнены с помощью комбинированной 3D-/2D-модели волн цунами СРТМ, построенной в рамках потенциальной теории сжимаемой жидкости. В трехмерном блоке модели используются криволинейные неортогональные сигма-координаты, нормированные на глубину. В качестве входных данных в модель СРТМ на каждом временном шаге подается информация о движении дна во время подводного землетрясения.

Низкочастотная вариабельность функциональных показателей как отражение синхронизации процессов транспорта кислорода у человека

В. Г. ГРИШИН

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (30.05.2023)

Исследованы процессы формирования низкочастотной вариабельности функциональных показателей системы транспорта кислорода (СТК) у человека в покое и при физических нагрузках. В ходе работы установлено, что:

- Вариабельность ключевых показателей внешнего дыхания и сердечного ритма характеризуется медленными колебаниями в диапазоне 0.003–0.04 Гц (VLF-диапазон).

- Существует частотная синхронизация низкочастотных колебаний показателей легочного газообмена и длительности RR-интервала ЭКГ.
- Физическая нагрузка приводит к достоверному смещению частотных характеристик показателей системы транспорта кислорода в высокочастотную область, оставаясь при этом в пределах границ VLF-диапазона.
- Характер изменения частотных характеристик показателей СТК при переходе от состояния покоя к физической нагрузке отражает связь изучаемых волновых процессов с уровнем метаболизма.

Результаты исследования и анализ литературных источников позволили выдвинуть предположение (гипотезу) о том, что медленноволновые колебания большинства известных процессов в организме человека, теоретически определяемые как “метаболический диапазон”, с высокой вероятностью обусловлены осцилляторной динамикой энергизации митохондриальных сетей, которые могут взаимодействовать через межклеточные нанотрубочки посредством электрических сигналов.

Гибридная схема второго порядка точности на специальных сетках, равномерно сходящаяся по малому параметру

В. И. ПААСОНЕН, В. Д. ЛИСЕЙКИН

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Новосибирск (10.10.2023)*

Краевым задачам с малым параметром при старшей производной присущи решения со слоями. Для успешного решения таких задач равномерные сетки использовать нецелесообразно, а важным позитивным качеством специальных адаптивных сеток и разностных схем на них являлась бы равномерная по малому параметру сходимости при безграничном росте числа узлов сетки. В то же время весьма желательно достижение порядка точности хотя бы выше первого. Однако эти качества обычно не совмещаются в одном методе: схемы выше первого порядка точности не сходятся равномерно ни на каких сетках, а схемы, равномерно сходящиеся на специальных сетках, имеют обычно только первый порядок точности.

Доклад посвящен построению гибридной схемы на основе двух однородных схем, одна из которых применяется внутри слоя, а другая вне слоя. Обе схемы являются модификациями классической противопоточной схемы, имеют диагональное преобладание и поэтому характеризуются свойством обратной монотонности, что на специальных сетках, устраняющих слои, обеспечивает равномерную по малому параметру сходимости. При этом одна из используемых схем имеет второй порядок вне слоя, но первый — внутри него, а другая — ровно наоборот. Эта особенность исходных схем и эксплуатируется при формировании гибридной схемы второго порядка точности.

Изложение построено на простом модельном примере: обыкновенные дифференциальные уравнения второго порядка с малым параметром при второй производной, однако нет никаких препятствий для использования построенной гибридной схемы при решении реальных задач, в том числе многомерных. Например, для численного решения уравнений Навье–Стокса или уравнений пограничного слоя.

Особенности решения физических задач конечно-разностными методами в цилиндрической системе координат

В. П. ЖУКОВ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Новосибирск (17.10.2023)*

При решении различных физических задач в цилиндрических и сферических координатах конечно-разностными методами часто возникают проблемы получения решения вблизи оси. В докладе рассматриваются причины и возможные пути преодоления этих проблем.

Условия разрешимости несимметричных разностных схем с высокоточной аппроксимацией потоков на границах раздела сред

В. И. ПААСОНЕН

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Новосибирск (31.10.2023)*

Излагается теоретическое обоснование разрешимости разностных задач с внутренними граничными условиями баланса потоков, построенными с помощью односторонних многоточечных разностных аналогов первых производных произвольного порядка точности. Преимущество данной технологии заключается в универсальности: такие граничные условия не зависят от вида решаемых дифференциальных уравнений, реализуются одинаково при любых порядках точности и не приводят к затруднениям при расщеплении многомерных задач на одномерные. Многоточечные условия баланса потоков приводятся к эквивалентным трехточечным разностным соотношениям, которые вписываются в привычную трехдиагональную структуру матриц. Сформулированы достаточные условия разрешимости и устойчивости реализации алгоритмов методом прогонки для граничных условий произвольного порядка точности. Доказательство основано на установлении условий диагонального преобладания в преобразованных строках матрицы, соответствующих внешним и внутренним граничным условиям.

Моделирование и оптимизация алгоритмов работы установки по переработке органических отходов

А. В. ПИСАРЕВ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Новосибирск (07.11.2023)*

Для оптимального протекания технологических процессов переработки органических отходов требуется автоматическое регулирование параметров установки — это управление процессами подачи сырья, сушки, горения, рекуперации тепла, подачи холодного воздуха и удаления дымовых газов. Разработана оригинальная автоматизированная система управления технологическими процессами переработки биомассы. Расчетными методами определены математические модели узлов, агрегатов и трактов установки переработки отходов. К ним относятся модели газоздушного тракта установки, камеры сжигания и сушилки. На их основе выполнены синтез и моделирование автоматических контуров регулирования. Новые модели, регуляторы и результаты экспериментов позволили разработать адаптивные алгоритмы управления установкой.

Разработанные алгоритмы идентификации и управления процессами утилизации отходов позволяют с помощью математических методов теории нечетких множеств корректировать режимы тепломассопереноса с целью повышения точности реализации термохимических реакций и достижения максимальной производительности оборудования по сырью. Также в процессе работы был разработан экспериментальный пошаговый метод настройки ПИД-регуляторов.

Численные модели тросовых виброизоляторов для расчета систем амортизации технических объектов

С. В. Доронин, Е. М. Рейзмунт

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Красноярск (14.11.2023)*

Пассивные системы амортизации, включающие тросовые виброизоляторы в качестве демфирующих устройств, широко применяются в технических объектах и транспортно-технологических системах. Рассматриваются варианты построения численных моделей тросовых виброизоляторов, обсуждаются их достоинства и недостатки. Представляется опыт использования численных моделей при решении прикладных задач расчета систем амортизации.

Математическое моделирование трехмерных электромагнитных полей в объектах с анизотропными характеристиками

(по материалам кандидатской диссертации)

Д. В. Добролюбова

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН,
Новосибирск (21.11.2023)*

В работе рассматриваются две проблемы, возникающие в рамках численного моделирования гармонического электрического поля в средах естественного и искусственного происхождения: моделирование в средах с тонкими сильнопроводящими объектами и в гетерогенных средах, информация о внутренней структуре которых представлена в виде данных КТ-сканирования. Асимптотический подход к представлению тонкого сильнопроводящего объекта расширен на класс задач моделирования гармонического электрического поля в естественных переменных. Предложена вычислительная схема на базе модифицированного векторного метода конечных элементов, позволяющая учитывать тонкие объекты как токонесущие поверхности и, таким образом, не вводить в них сеточную дискретизацию по толщине, что сокращает вычислительные затраты. Для гетерогенных сред, представленных в виде набора данных КТ, предложен алгоритм построения конечно-элементной сеточной модели, корректно описывающей внутреннюю структуру такой среды. Алгоритм может применяться в качестве единой платформы для многомасштабного моделирования различных физических процессов в нативных и искусственных объектах, информация о внутренней структуре которых представлена в виде последовательности цифровых изображений сечений данного объекта.

Точные решения одной кинетической модели неупругих процессов

Ю. Н. ГРИГОРЬЕВ, С. В. МЕЛЕШКО

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Новосибирск (28.11.2023)*

Построены точные решения системы двух неоднородных кинетических уравнений Больцмана. Функции источников в них моделируют интегралы двойных и тройных неупругих столкновений. Построено расширение группы Ли, допускаемой системой однородных уравнений, которая рассматривается как группа эквивалентности для неоднородных уравнений. Найдены условия, при которых преобразование из расширенной группы обращает в нуль источники в преобразованных уравнениях. Выделен класс источников, линейных по функции распределения, для которых в явном виде получены обобщенные решения Бобылева – Крука – Ву, допускающие физическую интерпретацию.

Численное моделирование взаимодействия длинных поверхностных волн с полупогруженными сооружениями в прибрежных зонах. II. Результаты и переход к плановой постановке

О. И. ГУСЕВ, В. С. СКИБА, Г. С. ХАКИМЗЯНОВ, Л. Б. ЧУБАРОВ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
Новосибирск (05.12.2023)*

В рамках иерархии моделей мелкой воды исследуется задача о взаимодействии длинных поверхностных волн с полупогруженными телами, расположенными в прибрежных зонах. Актуальность постановки связана с необходимостью учета возможного волнового воздействия на высокотехнологичные заякоренные в прибрежных зонах полупогруженные объекты при их проектировании, строительстве и эксплуатации. Близость береговой линии обуславливает необходимость моделирования одновременного наката волн на берег для более точного воспроизведения характеристик взаимодействия. Разработаны численные алгоритмы на неравномерных подвижных сетках для одномерных моделей мелкой воды первого и второго длинноволнового приближения. Рассмотрена задача о воздействии уединенных и длинных одиночных волн с полупогруженным телом, расположенным над плоским склоном, исследована важность учета наката волн на берег. Численный алгоритм для бездисперсионной модели мелкой воды обобщен на плановый (двумерный) случай. Сравнение с результатами расчетов на основе модели безвихревых трехмерных течений показало удовлетворительную точность такого моделирования при малых амплитудах набегающей волны. Установлено, что игнорирование дифракции уединенной волны на теле при использовании одномерной модели приводит к завышенным оценкам таких характеристик взаимодействия, как максимальные значения заплеска набегающей волны на грани тела и силовых нагрузок на него.

Автомодельные решения иерархии полуэмпирических моделей свободных турбулентных течений

А. В. Шмидт

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск (12.12.2023)

Рассматриваются вопросы, связанные с построением автомодельных решений иерархии полуэмпирических моделей свободной турбулентности. Краевые задачи для редуцированных систем обыкновенных дифференциальных уравнений решались с применением модифицированного метода стрельбы. При рассмотрении безымпульсных турбулентных следов для построения приближенных решений соответствующих краевых задач и выделения значения показателя автомодельности предлагается подход, основанный на склеивании асимптотического разложения решения вблизи границы турбулентного следа со степенным разложением решения на оси следа. Проведено сопоставление полученных автомодельных решений с доступными экспериментальными данными и результатами численных расчетов по нередуцированным моделям.

Место и время проведения заседаний: по вторникам, в 16:00,
конференц-зал Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий

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>