

---

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. Ковенья,  
д-р физ.-мат. наук С. П. Шарый*

---

**Аннотации докладов за 2017 г.**

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

Л.В. БОНДАРЕВА

*Кемеровский государственный университет*

*(21.02.2017)*

Предлагается 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.

Приводятся 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 анализируются причины возникновения залпового выброса, приводятся оценки времени “безопасного” использования выработки как очистного сооружения.

**Механико-математическое моделирование устойчивых движений в тектоносфере Земли (по материалам докторской диссертации)**

Е.Б. ОСИПОВА

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток*

*(14.03.2017)*

Моделирование и соответствующие методы изучения тектонических процессов, построенные на основании различных концептуальных теорий, в научных исследованиях представлены достаточно широко по всем направлениям физики Земли. В модели-

руемом пространстве возможен количественный и качественный анализ механизмов, определяющих неоднородное распределение полей напряжений, условия формирования и внутреннее взаимодействие различных геологических структур в гравитационном поле в масштабах геологического времени. Современные сейсмические, спутниковые, геолого-геофизические исследования предлагают уникальные обобщения количественных и качественных данных о строении коры и верхней мантии океанических и континентальных регионов Земли. Поэтому исследование единого механизма структурообразования в едином моделируемом пространстве, построенного на основании этих данных с целью изучения и последующей реконструкции внутреннего взаимодействия различных геологических структурных форм, распределения полей напряжений и деформаций глубинных слоев Земли, является актуальной задачей.

Целью работы является разработка механико-математических моделей механизмов возникновения полей напряжений и структурных деформаций в тектоносфере Земли в поле собственной гравитации и в условиях ее плотностной неоднородности. Методы исследования: механико-математическое моделирование исследуемых объектов, анализ петроплотностных и гравиметрических данных, аналитическое и численное решение в криволинейных системах координат уравнений математической физики и соответствующих краевых задач, численно-графический эксперимент и анализ.

### **Уравнения с малым параметром. Пограничные и внутренние слои. Адаптивные разностные сетки**

В.Д. ЛИСЕЙКИН

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск  
(21.03.2017)*

Рассматривается проблема построения адаптивных сеток для численного решения задач с особенностями типа пограничных и внутренних слоев. Приводятся примеры разнообразных слоев (экспоненциальных, степенных и логарифмических) и задач, в которых эти слои возникают, а также координатных преобразований, устраняющих слои. Демонстрируются алгоритмы построения адаптивных сеток в явном виде и с помощью решения уравнений.

### **Разработка численных методов и алгоритмов расчета волновых сейсмических полей в средах с локальными осложняющими факторами (по материалам докторской диссертации)**

В.В. ЛИСИЦА

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск  
(04.04.2017)*

Рассматривается проблема численного моделирования волновых сейсмических процессов в средах с такими локальными осложняющими факторами, как: скопления мелкомасштабных неоднородностей, анизотропные и вязкоупругие включения, наличие резкоконтрастных границ со сложной геометрией. Предлагаемые в работе подходы основаны на комплексировании разных численных методов, так что ресурсоемкие и вычислительно сложные методы используются локально. В частности, для учета мелкомасштабной структуры пластов применяется локальное пространственно-временное

измельчение сеток. Расчет решения в моделях со сложной топографией свободной поверхности проводится на основе комбинирования метода конечных разностей и разрывного метода Галёркина, который используется в верхней части модели.

### **Численное моделирование нелинейных волновых эффектов в связанных волноводах (по материалам кандидатской диссертации)**

И.С. ЧЕХОВСКОЙ

*Новосибирский государственный университет*

(25.04.2017)

Многосердцевинные световоды, представляющие собой расположенные под одной общей оболочкой физически разделенные волноводы (сердцевины), используются в различных областях фотоники. Главным образом, они позволяют существенно повысить пропускную способность существующих оптических линий связи.

Доклад посвящен математическому моделированию нелинейных волновых эффектов в многосердцевинных световодах. Показана возможность альтернативного применения многосердцевинных световодов — в качестве основы устройства для сжатия и сложения оптических импульсов. Проведено сравнение эффективности различных световодов с сердцевинами, расположенными по окружности, а также в узлах треугольной и квадратной решеток.

Представлены модификация метода расщепления по физическим процессам с использованием аппроксимации Паде матричной экспоненты, а также обобщение компактной итерационной схемы, позволяющие находить решение системы связанных нелинейных уравнений Шрёдингера, описывающих динамику оптического поля в многосердцевинных световодах.

### **Численное моделирование многомодовых волоконно-оптических линий связи (по материалам кандидатской диссертации)**

О.С. СИДЕЛЬНИКОВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

(30.05.2017)

Волоконно-оптические линии связи являются самыми эффективными решениями для передачи больших объемов данных на дальние расстояния. Разработка систем связи, основанных на многомодовых волокнах, рассматривается в качестве перспективного пути для увеличения пропускной способности за счет одновременной передачи сигналов по разным модам волокна.

Работа посвящена математическому моделированию нелинейного распространения оптических сигналов в многомодовых линиях связи. Исследуется влияние нелинейных эффектов на качество передаваемой информации в зависимости от типа связи и количества распространяющихся мод. Предложена схема обработки оптических сигналов и компенсации нелинейных искажений в приемнике системы связи, основанная на динамических нейронных сетях.

Представлена компактная схема повышенного порядка для решения нелинейного уравнения Манакова с первой производной по времени, описывающего распространение сигналов в многомодовых волокнах, движущихся с различной групповой скоростью.

## **Математическое моделирование колебательных процессов в структурно неоднородных средах (по материалам кандидатской диссертации)**

Е.П. Ченцов

*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск  
(19.09.2017)*

Исследование волновых процессов в структурно неоднородных средах типа горной породы представляет большой практический интерес на протяжении последних десятилетий. Для описания горных массивов широко используется разработанный М.А. Садовским подход, согласно которому такая среда есть множество вложенных друг в друга блоков, разделенных податливыми прослойками. Деформируемость среды в таком подходе описывается в основном через деформируемость прослоек, а не блоков.

Доклад посвящен математическому моделированию колебательных процессов в горной массе блочного типа. Построены как дискретные модели (моноатомные линейные цепочки масс, соединенных пружинами), так и непрерывные модели с учетом массы прослоек. Смоделированы прослойки следующих типов: упругие, вязкоупругие, пористые, флюидонасыщенные, а также флюидонасыщенные пористые прослойки с учетом эффекта схлопывания пор. Для численной реализации моделей предложен вычислительный алгоритм, основанный на двуциклическом расщеплении по пространственным переменным.

Разработан комплекс параллельных программ, позволяющий моделировать распространение волн в двумерной блочной среде с учетом всех представленных типов прослоек. Проведенные расчеты указывают на наличие зависимости изотропных свойств среды от толщины прослоек и отношения акустических импедансов среды блоков и прослоек. В случае флюидонасыщенных прослоек показано влияние эффекта схлопывания пор на движение жидкости в межблочном пространстве.

## **Интервальные методы регуляризации плохообусловленных систем линейных уравнений**

С.П. ШАРЫЙ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск  
(26.09.2017)*

Рассматривается решение плохообусловленных систем линейных алгебраических уравнений, которые могут быть заданы неточно.

Для улучшения устойчивости процесса решения предлагается погрузить исходную неточную систему уравнений в интервальную систему той же структуры и затем рассматривать ее допусковое множество решений, наиболее устойчивое из множеств решений для интервальных систем уравнений. В результате “интервализованная” матрица системы приобретает близкие и лучше обусловленные матрицы, для которых решение соответствующих систем линейных уравнений более устойчиво.

В качестве псевдорешения исходной системы берется точка из допускового множества решений либо точка, обеспечивающая наибольшую совместность относительно допускового множества решений. Предлагается несколько вычислительных процедур для нахождения таких псевдорешений систем линейных уравнений.

## **Математическое численное моделирование температурных закрученных потоков воздуха в условиях действия сил тяжести и Кориолиса (по материалам кандидатской диссертации)**

Д.Д. БАРАННИКОВА

*Тюменский государственный университет*

(03.10.2017)

Представлены результаты численного моделирования четырех физических процессов, часто наблюдаемых в природе и лабораторных экспериментах: сложные трехмерные нестационарные течения воздуха на начальной фазе формирования восходящего закрученного потока, вызванного локальным прогревом солнечной энергией поверхности Земли (тропические циклоны); свободные воздушные тепловые вихри при локальном нагреве подстилающей поверхности одним источником; свободные концентрированные огненные вихри при локальном нагреве подстилающей поверхности несколькими источниками; закрученное течение воздуха вокруг нагревающейся вертикальной цилиндрической области (природные огненные торнадо).

Моделирование всех четырех указанных физических процессов проводилось в рамках единой математической модели — полной системы уравнений Навье — Стокса, учитывающей диссипативные свойства вязкости и теплопроводности движущейся сплошной среды, а также действие сил тяжести и Кориолиса. Предложенная в работе модель газа при численном исследовании сложных закрученных течений, возникающих при локальном нагреве, дает значения основных газодинамических характеристик, совпадающие с данными натурных наблюдений и лабораторных экспериментов.

## **Теоретико-информационный анализ и прогноз развития компьютеров (на примере компьютеров фирмы Интел)**

Б.Я. РЯВКО, А.А. РАКИТСКИЙ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

(17.10.2017)

Показано, как предложенное ранее понятие вычислительной способности компьютеров позволяет понять их эволюцию, а также предсказать изменения их характеристик в ближайшие годы. В качестве примера рассматриваются компьютеры фирмы Интел.

## **Математическое моделирование дегенеративных заболеваний**

О.Ф. ВОРОПАЕВА

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

(24.10.2017)

Течение и прогноз различных общепатологических процессов в сердце, головном мозге и других жизненно важных органах зависят от характера повреждения клеток, а также от формы клеточной смерти. В докладе представлен подход к математи-

ческому моделированию этих процессов. Наиболее подробно обсуждаются исследования биомаркеров дегенеративных заболеваний, в качестве которых используются белки и микроРНК, участвующие в управлении пролиферацией и гибелью клеток.

## **Ламинаризация и подавление турбулентности процессами термохимической релаксации**

Ю.Н. ГРИГОРЬЕВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

*(14.11.2017)*

Представлены результаты исследования влияния релаксационных процессов в термически неравновесных молекулярных газах на устойчивость и диссипативные свойства течений. В качестве математической модели течений с релаксацией при умеренном уровне возбуждения используются полные уравнения Навье — Стокса вязкого теплопроводного газа с учетом объемной вязкости. Случай сильно неравновесного колебательно-возбужденного газа описывается полной системой уравнений двухтемпературной аэрогазодинамики, где релаксация колебательных мод моделируется уравнением Ландау — Теллера для колебательной температуры.

Рассмотрены: линейная устойчивость плоскопараллельных течений невязкого нетеплопроводного колебательно-возбужденного газа; линейная устойчивость вязких двумерных возмущений в сверхзвуковом плоском течении Куэтта совершенного и колебательно-возбужденного газов; асимптотическая теория кривой нейтральной устойчивости сверхзвукового плоского течения Куэтта совершенного и колебательно-возбужденного газов; энергетический анализ нелинейной устойчивости сжимаемого течения Куэтта термически неравновесного двухатомного газа; нелинейное развитие неустойчивости Кельвина — Гельмгольца в вязком теплопроводном колебательно-возбужденном газе.

Во всех выполненных исследованиях рассматривались уровни возбуждения, которые можно получить в двухатомных газах в течениях в соплах, недорасширенных струях или умеренной лазерной накачкой. Результаты исследований устойчивости сдвиговых течений термически неравновесного молекулярного газа позволяют сделать вывод о заметном демпфирующем влиянии релаксации возбужденных внутренних мод молекул на линейную и нелинейную динамику возмущений.

## **Математические модели для микроканальных усилителей**

В.Я. ИВАНОВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

*(28.11.2017)*

Представлены математические модели для усилителей слабых сигналов на основе микроканальных пластин. Подобные усилители широко применяются в астрофизике, медицинской диагностике, приборах ночного видения, а также в качестве детекторов в ускорителях заряженных частиц. В основу проектирования таких усилителей в трехмерном приближении положены методы Монте-Карло. Представлены примеры численного моделирования конкретных усилителей, способных работать в сильных магнитных полях до 4 Тесла. Дано сравнение с результатами экспериментальных измерений.

## **Моделирование взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с веществом**

В.П. ЖУКОВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

*(12.12.2017)*

Дан краткий обзор задач, связанных с моделированием взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с веществом (в основном со стеклами), которые могут быть решены и решение которых представляет как научный, так и практической интерес. Воздействие фемтоимпульсов на вещество широко применяется при микрообработке материалов, в медицине. Используемые при этом физические явления порою не имеют объяснения. В натурном эксперименте диагностика затруднена, поскольку изучаемые процессы имеют очень малые пространственные (менее 1 мкм) и временные (менее 100 фс) масштабы. Это делает математическое моделирование незаменимым инструментом для изучения этих процессов.

## **Математическая модель равномерного старения**

Ю.Н. МОРОКОВ

*Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск*

*(19.12.2017)*

Старение биологического организма в “мусорной” теории старения (garb-aging) связано с накоплением в организме неправильно функционирующих и трудно удаляемых биологических элементов. Можно записать нормальную систему ОДУ, включающую десятки и даже сотни уравнений, для феноменологического описания эволюции такого мусора в организме. С ростом числа уравнений катастрофически возрастает число вводимых эмпирических параметров. Ввиду недостатка эмпирических данных при моделировании часто используют достаточно грубые оценки для значений подобных параметров. В таких случаях эффективным становится использование существенно более простых моделей, которые тем не менее сохраняют основные качественные особенности поведения рассматриваемых биологических систем. Предлагаемая модель равномерного старения, имеющая аналитическое решение, представляет пример такой простой модели.

## **Численное оценивание областей безопасности в математических моделях технических систем с возмущающими воздействиями (по материалам докторской диссертации)**

А.Н. РОГАЛЕВ

*Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск*

*(26.12.2017)*

Описаны результаты разработки и применения методов оценивания границ зон опасных состояний и пороговых значений параметров моделей технических систем (ТС), отражающих взаимное влияние протекающих в ТС процессов различной физической природы. Устанавливается соответствие между пороговыми значениями параметров и границами зон предельных состояний. Многие модели ТС, рассматриваемые в работе,

представляют системы обыкновенных дифференциальных уравнений с возмущающими воздействиями.

Для определения возможности достижения заданных критических (предельных) состояний в наиболее опасных, критических точках рассматриваемых объектов в работе построены методы, использующие символьные формулы решений и геометрические свойства множеств решений математических моделей, что позволяет определить оценку меры уязвимости ТС по отношению к возможным возмущающим воздействиям.

Созданные методы применялись для решения таких задач, как: анализ динамики областей безопасности систем как множеств областей решений с заданными свойствами с учетом их геометрических характеристик; численное оценивание областей достижимости управляемых систем, в том числе при ограниченных ошибках измерений; вычисление и исследование максимальных отклонений решений математических моделей на конечном интервале времени при заданной области начальных состояний и величине возмущений; проверка технической устойчивости на конечном интервале времени; анализ точности численного моделирования силовых конструкций технических объектов.

*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>