

---

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 году 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. Барахнин*

---

## Аннотации докладов за 2022 г.

### Моделирование энергопотребления в социотехнических системах с интеллектуальным оборудованием

В. Б. БАРАХНИН, С. В. МАЛЬЦЕВА, К. В. ДАНИЛОВ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск; Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”,  
Москва (15.03.2022)*

Рассмотрены существующие и перспективные подходы к установлению статических и динамических тарифов на электроэнергию в социотехнических системах с интеллектуальным оборудованием. Проведено сравнение двух моделей энергопотребления, статического двухтарифного и динамического, учитывающих рациональное поведение умных устройств, способных выбирать лучшие режимы для потребления электроэнергии. Проведенное исследование показало влияние количества таких устройств на возможность достижения равномерного потребления при использовании второй модели.

### Высокоэффективный метод вычисления интеграла Стрэттона – Чу в задачах взаимодействия лазерного излучения с веществом

В. П. ЖУКОВ, М. П. ФЕДУК

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск (22.03.2022)*

Описан высокоэффективный метод вычисления интеграла Стрэттона – Чу для определения электромагнитного поля, создаваемого отражением плоскопараллельного лазерного импульса от параболического зеркала. Рассмотрен импульс с постоянной во времени амплитудой и импульс фемтосекундной длительности с зависимостью от времени в виде функции Гаусса. Описанный метод актуален для решения задач о взаимодействии сильно сфокусированных лазерных импульсов с веществом.

## **Методы и технологии декомпозиции области для моделирования интенсивных пучков заряженных частиц на квазиструктурированных сетках**

(по материалам кандидатской диссертации)

А. Н. КОЗЫРЕВ

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
Новосибирск (29.03.2022)*

Разработаны алгоритмы локальной модификации квазиструктурированных сеток, основанные на построении качественных сеточных элементов, позволяющих корректно проводить аппроксимации дифференциальной задачи с сохранением структурированности подсеток. Проведена адаптация к расчетам на таких сетках итерационного метода декомпозиции расчетной области на подобласти, сопрягаемые без пересечения, основанного на прямой (непосредственной) аппроксимации уравнения Пуанкаре – Стеклова на границе сопряжения подобластей подсеток. Разработаны новые алгоритмы расчета напряженности электрического поля вблизи криволинейных границ, расчета объемного заряда, технологии решения нелинейных уравнений Пуанкаре – Стеклова при проведении внешнего итерационного процесса по решению самосогласованной задачи. Выявлены экономичные решатели в подобластях и предложены новые комбинированные методы проведения расчетов на регулярных подсетках квазиструктурированных сеток при малом числе узлов подсеток и большом числе повторов решения в одной и той же подобласти. Разработаны архитектура, структуры данных и технологии построения программного комплекса, предназначенного для моделирования плоских или осесимметричных задач расчета интенсивных пучков заряженных частиц. Разработки реализованы в программном комплексе ЭРА-DD, при помощи которого проведены методические и практические расчеты. Создана начальная версия пакета ЭРА-3D, при помощи которого проведено моделирование сложной электронно-оптической системы.

## **Быстрые алгоритмы повышенной точности для решения прямой спектральной задачи для системы Захарова – Шабата**

С. Б. МЕДВЕДЕВ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск (05.04.2022)*

Предложены новые эффективные методы четвертого и шестого порядков точности для численного решения прямой задачи Захарова – Шабата. Разработанные разностные схемы являются консервативными, т. е. сохраняют квадратичный инвариант системы Захарова – Шабата. На основе построенных схем реализованы быстрые алгоритмы решения задачи, эффективные для вычислений с большим числом спектральных параметров. Численные эксперименты показали высокую точность и эффективность разработанных схем по сравнению с существующими аналогами. Предложен новый метод нахождения дискретных собственных значений для прямой задачи Захарова – Шабата, показывающий значительное преимущество перед другими методами при вычислении большого дискретного спектра как по скорости, так и по точности.

## Моделирование распространения трещин, нагруженных давлением вязкой жидкости

(по материалам докторской диссертации)

В. С. ЛАПИН

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск (12.04.2022)*

В диссертации предложена трехмерная модель криволинейного распространения трещины, включающая новую подмодель движения жидкости сложной реологии в узком двумерном канале и новый неявный критерий выбора направления распространения трещины при сложном нагружении. Разработан численный метод одновременного решения связанной системы нелинейных уравнений модели. Создана иерархия моделей трещин, распространяющихся под действием давления жидкости, позволяющая описывать течение смеси жидкости и проппанта, деформацию и разрушение материала в различных приближениях.

На основе реализованных в виде программного комплекса моделей, входящих в иерархию, решен ряд задач о распространении трещин. В частности, установлен эффект пережатия трещины при искривлении ее траектории, определены факторы, приводящие к его образованию, и его влияние на процесс распространения трещины гидроразрыва пласта. Выявлены факторы, определяющие стойкость гидроизоляции скважин к повышению давления в пласте, разработана методика уточнения параметров трещиновато-пористой среды по данным о потерях бурового раствора.

## О фазовых портретах динамических систем в моделях генных сетей

(по материалам кандидатской диссертации)

Н. Е. КИРИЛЛОВА

*Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск (26.04.2022)*

Получены условия существования циклов для частично симметричных и структурно несимметричных динамических систем малой размерности. Эти условия распространены на более широкие классы динамических систем, моделирующих кольцевые генные сети. Построены инвариантные области, гомеоморфные торам, в фазовых портретах динамических систем кинетического типа, моделирующих функционирование кольцевых генных сетей. Для частично симметричной 18D модели доказана неединственность существования циклов в фазовом портрете системы. Получены условия существования инвариантной двумерной поверхности для несимметричного аналога динамической системы Еловица – Лейблера. Показана устойчивость стационарных точек трехмерных динамических систем, описывающих функционирование некольцевых генных сетей. Установлены условия единственности и неустойчивости стационарной точки у четырех- и шестимерной моделей некольцевой генной сети, регулирующей функционирование циркадного осциллятора, а также условия существования циклов в их фазовых портретах.

## **Алгоритмы статистического моделирования решений стохастических дифференциальных уравнений и систем со случайной структурой**

(по материалам докторской диссертации)

Т. А. АВЕРИНА

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,  
Новосибирск (24.05.2022)*

Рассматриваются вопросы построения эффективных алгоритмов статистического моделирования систем со случайной структурой, заданной стохастическими дифференциальными уравнениями (СДУ). Для численного решения СДУ построены асимптотически несмещенные численные методы, которые не допускают большой потери точности вычислений в задачах, связанных с оценкой дисперсии решения СДУ. Для моделирования неоднородных пуассоновских ансамблей построены алгоритмы с меньшей трудоемкостью за счет уменьшения обращений к датчику случайных чисел. Разработанные алгоритмы используются для статистического моделирования систем со случайной структурой. Исследованы вопросы сходимости и условной оптимизации построенных алгоритмов. Верификация разработанных методов и сравнение их с известными алгоритмами проведены на решении прикладных и тестовых задач.

## **Численное моделирование взаимодействия длинных поверхностных волн с полупогруженными сооружениями в прибрежных зонах**

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

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск (11.10.2022)*

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 наката волн на берег для более точного воспроизведения характеристик взаимодействия. В докладе две задачи — взаимодействие волны с полупогруженным телом и накат волн на береговой склон — рассматриваются отдельно.

Разработаны численные алгоритмы для одномерных моделей мелкой воды первого и второго длинноволнового приближения, выполнены верификация алгоритмов и валидация моделей при помощи сравнения с аналитическими решениями, экспериментальными данными и результатами расчетов по модели потенциальных течений идеальной жидкости. Исследована зависимость характеристик взаимодействия длинных волн с полупогруженным телом (амплитуды отраженной и прошедшей волн, заплеск на тело, горизонтальная и вертикальная составляющие волновой силы) от таких параметров задачи, как амплитуда и длина набегающей волны, заглубление и длина тела, форма и положение донного препятствия. Некоторые результаты теоретических исследований были использованы для оценки силового воздействия гипотетических экстремальных волн цунами на высокотехнологичные объекты, размещенные в акватории одной из бухт восточного побережья Камчатки.

## **Численное решение двумерного уравнения Гинзбурга – Ландау с повышенным порядком точности**

В. И. ПААСОНЕН, М. П. ФЕДОРУК

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск (18.10.2022)*

Работа представляет собой продолжение цикла исследований авторов, посвященных высокоточным компактным схемам для уравнений нелинейной волоконной оптики. На основе классической компактной схемы Микеладзе формулируется двухслойная безытерационная схема четвертого порядка точности типа предиктор-корректор для двумерного уравнения Гинзбурга – Ландау. Исследована устойчивость и проведено сравнение схем на ряде модельных задач. Среди них задачи Дирихле и задачи с периодическими краевыми условиями для различных начальных данных, а также задача распространения плоской волны. По расчетам на последовательности сгущающихся сеток получены апостериорные оценки ошибки и реального порядка точности схем в равномерной и квадратичной нормах.

## **Экономичные разностные алгоритмы для расчета пространственных гиперзвуковых течений многокомпонентного газа с термохимической неравновесностью**

В. М. КОВЕНЯ, Ю. Н. ГРИГОРЬЕВ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск (01.11.2022)*

Применительно к двумерной модели многокомпонентного диссоциирующего газа предложены алгоритмы, основанные на методе приближенной факторизации или предиктор-корректор со специальным расщеплением операторов по физическим процессам и пространственным направлениям. Реализация алгоритмов на дробных шагах сводится к трехточечным скалярным прогонам, что делает их экономичными по числу арифметических операций на узел сетки. Используемая идеология расщепления предполагает возможность распараллеливания вычислений при решении многомерных задач, так как решение исходной многомерной задачи сведено на каждом дробном шаге к независимому решению более простых задач.

## **Математическое моделирование физико-химических процессов в живом организме: асептическое воспаление**

О. Ф. ВОРОПАЕВА

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск (08.11.2022 и 15.11.2022)*

Обсуждаются базовые подходы к описанию молекулярно-клеточных механизмов воспаления, представлены примеры разработанных моделей пространственно-временного развития местной воспалительной реакции на хирургическое вмешательство и результаты вычислительных экспериментов. В рамках принятых моделей исследованы типичные сценарии развития воспаления, даны оценки эффективности противовоспалительных терапевтических стратегий, рассмотрен вопрос о раннем прогнозе тяжести и длительности воспалительной реакции.

## **Обобщение критерия Рэлея невязкой неустойчивости для колебательно-возбужденного диссоциирующего газа**

Ю. Н. ГРИГОРЬЕВ, И. В. ЕРШОВ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск (22.11.2022)*

Для плоского течения колебательно-возбужденного диссоциирующего двухатомного газа получены необходимые условия существования растущих (нейтральных) невязких возмущений, аналогичные критерию Рэлея “обобщенной” точки перегиба. Рассмотрены модель колебательно-возбужденного однокомпонентного газа как начальная стадия термической диссоциации, а также распространенная модель с одной реакцией диссоциации — рекомбинации. Проведены сравнительные численные расчеты, показавшие, что в условиях развитой диссоциации использование критерия “обобщенной” точки перегиба не учитывает специфику процесса. Волновые числа и фазовые скорости I и II невязких мод, рассчитанные на его основе, могут существенно отличаться от результатов, полученных с использованием нового необходимого условия.

## **Физическая модель квазистатической деформации аморфных металлических сплавов (АМС). Моделирование периодического механического воздействия на нанопленку АМС методом молекулярной динамики**

Е. Е. СЛЯДНИКОВ, С. Ю. КОРОСТЕЛЁВ, И. Ю. ТУРЧАНОВСКИЙ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (29.11.2022)*

Излагаются результаты анализа экспериментальных и теоретических данных о квазистатической деформации аморфных металлических сплавов АМС, а также моделирования периодического механического воздействия на нанопленку АМС методом молекулярной динамики. Сформулированы физическая концепция, физический механизм, физическая модель и кинетические уравнения квазистатической деформации АМС. Представлены результаты расчетов периодического механического воздействия на нанопленку АМС методом молекулярной динамики в виде:

- изменения во времени деформации, напряжения и температуры перед и в момент фазового перехода в аморфное состояние — кристалл.
- изменения температуры, а также полной, потенциальной и кинетической энергии в образце, содержащем порядка 300 000 и 1 300 000 атомов.

## **Об одном сценарии перехода к турбулентности при течении полимерной жидкости в цилиндрическом канале**

Б. В. СЕМИСАЛОВ

*Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН; Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (13.12.2022)*

На основе реологической мезоскопической модели Покровского – Виноградова получены уравнения, описывающие нестационарные и стационарные течения несжимаемой вязкоупругой полимерной жидкости типа Пуазейля в цилиндрическом канале. Найдены точные решения уравнений для стационарного случая, и получены ограничения на значения реологических параметров, обеспечивающие их существование. Проведено

численное моделирование установления нестационарных течений и рассчитаны ограничения на значения параметров, обеспечивающие установление. Показано, что в ряде случаев эти ограничения совпадают с условиями существования стационарных решений. Полученные результаты позволяют конструктивно описать разрушение ламинарного течения типа Пуазейля, которое предшествует развитию турбулентности. Ключевую роль при этом с точки зрения механики играют размер и ориентация макромолекул полимерной жидкости, с точки зрения математики — особые точки найденных решений. Предложенный сценарий разрушения ламинарных течений сопоставлен с данным натурных испытаний по ламинарно-турбулентным переходам из работы [Choueiri et al., Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 118, No. 45. 2021].

*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>