

Федеральный исследовательский центр  
информационных и вычислительных  
технологий

Кафедра математического  
моделирования НГУ

Научно-методический семинар

## ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

*Руководители: к.т.н С. А. Рылов, к.ф.-м.н. О. И. Гусев*

### Аннотации докладов за 2023 г.

#### Вычисление показателей температуры по спутниковым снимкам Landsat

М. Г. ЕРМАКОВ

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

В работе выполнен теоретический обзор ключевых понятий, связанных с исследованием температуры поверхности Земли. Рассмотрен один из эффективных методов вычисления температуры поверхности Земли — одноканальный алгоритм, разработанный Хименесом – Муньосом и Собрино (2003 г.), применяемый к спутниковым снимкам Landsat TM, ETM+ и OLI-TIRS.

#### Развитие моделей турбулентности с помощью методов машинного обучения для течений в каналах

Х. Ли

*Новосибирский государственный университет; Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск (21.02.2023)*

Модели подхода RANS для замыкания осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса имеют ряд ограничений из-за невысокой точности и неуниверсальности. Однако они до сих пор широко применяются в инженерных расчетах благодаря тому, что численные реализации этих моделей не требуют больших вычислительных мощностей. Поэтому актуальна задача по улучшению точности RANS-моделей, для ее решения могут быть использованы алгоритмы машинного обучения (ML), использующие доступные наборы данных высокой точности, которые получены путем измерений или численного моделирования вихревразрешающими методами DNS (direct numerical simulation) и LES (large eddy simulation) для канонических течений жидкости и газа.

В работе рассматривается применение различных методов машинного обучения: нейронная сеть с тензорным базисом (TBNN) для аппроксимации напряжений Рейнольдса, программирование экспрессии генов (GEP). Последний метод предназначен для получения явных алгебраических выражений для напряжений Рейнольдса. С целью обучения и калибровки моделей используются высокоточные данные LES, DNS для канонических турбулентных течений в каналах.

## Аппроксимация второй производной функции в гидродинамике сглаженных частиц (SPH)

М. С. АРЕНДАРЕНКО

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (21.02.2023)*

Уравнения Навье–Стокса для несжимаемой жидкости являются одними из важнейших в гидродинамике и широко используются в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач. В случае вязкой жидкости возникает необходимость в аппроксимации второй производной функции.

В работе рассмотрены различные схемы аппроксимации вторых производных в одно- и двухмерном случаях с использованием метода сглаженных частиц (SPH). В качестве тестовых задач взяты уравнения Бюргерса соответствующих размерностей. Численный метод реализован на языке C++. Для каждой из схем произведены расчеты и проведено сравнение с аналитическими решениями.

## Иерархия математических моделей асептического воспаления в хирургической кожной ране

Т. С. МИХАХАНОВА

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (28.02.2023)*

Представлены два варианта математической модели, описывающей динамику воспалительной фазы процесса заживления хирургической кожной раны. Первый, известный вариант модели включает описание биохимических процессов, происходящих при участии клеток иммунной системы и девяти видов цитокинов. Второй дополнительно учитывает влияние контролирующих передачу болевых импульсов нейропептидов и нейротрофинов, а также тучных клеток, лимфоцитов и фибронектона.

Показано, что предложенные математические модели описывают не только классический сценарий острого воспалительного ответа, но и известные сценарии воспаления кожной раны при наиболее распространенных нарушениях функции клеток крови и ее клеточного состава, а также переход острой воспалительной реакции в хронические формы. Соответствующие результаты были получены посредством варьирования параметров моделей и начальных условий.

## Анализ применимости синтаксических характеристик при оценке сложности текстов методами машинного обучения

И. А. СМАЛЬ

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (28.02.2023)*

В последние годы сфера обработки естественного языка очень быстро развивается. Однако, когда речь идет про оценку сложности текстов, до сих пор самыми распространенными являются формулы, разработанные еще в ХХ в.

В докладе представлены результаты анализа того, насколько точно можно предсказывать сложность текста методами градиентного бустинга и случайного леса при использовании исключительно синтаксических характеристик текста. Работа проводилась на двух корпусах текстов — корпусе учебников и корпусе художественной литературы.

## Моделирование формирователя воздушно-углеводородных смесей в осесимметричной постановке

А. Р. ЯППАРОВА

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (14.03.2023)*

В мире создается много разработок концепций реакторов и катализаторов автотермического риформинга жидких углеводородных топлив для создания топливных элементов. Автотермический риформинг дизельного топлива — это каталитический процесс, протекающий при температуре 970–1170 К, в котором молекулы углеводородов реагируют с водяным паром и воздухом. Они образуют газообразный продукт, который попадает на катализатор для дальнейших преобразований.

Работа является частью проекта по разработке реактора с каталитическим модулем для переработки дизельного топлива в синтез-газ. Требуется смоделировать часть реактора, где происходит испарение топлива и смешение пародизельной смеси с воздухом. Также необходимо попробовать изменить температуру стенок, чтобы подобрать оптимальную.

## Применение DTW-алгоритма для визуализации и классификации различных динамических режимов

Д. А. ВОРОБЬЕВА

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (14.03.2023)*

Современная математическая биология повсеместно использует параметрические модели биологических систем, в частности системы обыкновенных дифференциальных уравнений, а также модели динамических систем, описанных в других формализмах, например агентные модели. Параметрами являются численные значения величин, отражающих определенные свойства моделируемой системы и влияющих на решения модели. В зависимости от значений параметров в системе могут реализовываться различные динамические режимы — стационарные, колебательные, устанавливающиеся в результате переходных процессов различного типа.

Предсказание изменения типа динамики решения в зависимости от изменения параметров модели — важная научная задача. Тем не менее не для всех формализмов данная задача имеет аналитическое решение. Рутинно используемый метод проведения серии вычислительных экспериментов, т. е. решения серии прямых задач, при различных наборах параметров с последующим экспертным анализом графиков решений является трудоемким при большом числе параметров и снижении шага параметрической сетки. В связи с этим актуально развитие методов, позволяющих получить и проанализировать информацию о множестве вычислительных экспериментов в агрегированном виде.

Исследование посвящено разработке метода визуализации и классификации различных динамических режимов модели с использованием композиции алгоритма динамического сжатия временной шкалы (DTW-алгоритма) и метода главных координат (PCoA). Такой подход позволит получить качественную визуализацию результатов множества решений математической модели и провести соответствие между значениями параметров модели и типом динамических режимов ее решений. Данный метод был апробирован на модели Лотки–Вольтерры и искусственных наборах различных динамик.

## **Сравнительный анализ эйлеровых и гибридных (эйлерово-лагранжевых) моделей многофазных течений на задаче распыла струи жидкости потоком газа**

Д. У. АНВАРОВ

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (21.03.2023)*

Распыл струи жидкости под воздействием потока газа широко распространен во многих востребованных в современных технологиях аэрогидродинамических установках. При создании таких установок чрезвычайно важно представлять детальную картину распада струи жидкости на сгустки, вторичного дробления сгустков на капли и дальнейшего переноса капель потоком газа. Единственно возможный подход получения такой детальной картины процесса распыления — его численное моделирование. Многочисленные подходы численного моделирования таких процессов требуют их научного осмысливания и классификации по различным критериям.

Необходимо провести сравнительный анализ эйлеровых и эйлерово-лагранжевых моделей многофазных течений на предмет адекватного описания ими процесса распыления жидкости газом. В частности, численная модель должна достаточно хорошо определять дисперсный состав распыляемой жидкости.

Рассмотрены различные методики расчета процесса распыления жидкости газом в пакете программ ANSYS. Исследованы область течения газа и его взаимодействие с закачиваемой в эту область жидкостью. Выбрана постановка задачи для расчета распыла жидкости. В дальнейшем будут проведены расчеты распыла жидкости и выполнен численный анализ чувствительности решения задачи к ее входным параметрам, а также сравнительный анализ используемых в программном комплексе ANSYS моделей для решения задачи расчета процесса распыления жидкости газом.

## **Система уравнений колебательного диссоциируемого многокомпонентного газа**

С. П. БАБАЯЗОВ

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (28.03.2023)*

В работе для численного решения системы уравнений математической модели многокомпонентного колебательно возбужденного диссоциирующего газа предлагается неявная конечно-разностная схема приближенной факторизации с расщеплением операторов по физическим процессам и пространственным направлениям. Она является обобщением алгоритмов численного решения уравнений Навье–Стокса и реализуется на дробных шагах трехточечными скалярными прогонками, что делает их экономичными по числу арифметических операций на узел сетки.

## **Численное моделирование распыла струи жидкости под воздействием потока газа на основе эйлеровых моделей многофазных течений**

Ф. Х. БЕРГАНОВА

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (28.03.2023)*

Распыление струи жидкости под воздействием воздуха имеет широкое применение во многих сферах практической деятельности, например, этот процесс используется в системах подачи топлива, а также в камерах сгорания современных авиационных

двигателей. При конструировании и доводке устройств распыления жидкости все большее значение приобретает трехмерное численное моделирование, которое тем не менее нуждается в верификации.

В нашей задаче рассматриваются случаи распада жидкой пленки: дробление цилиндрической жидкости под действием набегающего потока газа и распад жидкой пленки при столкновении двух струй.

## Методы совместного решения уравнений движения несжимаемой жидкости

А. К. РОГАЧЕВА

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (04.04.2023)*

Одним из методов решения уравнений движения несжимаемой жидкости является метод искусственной сжимаемости. Суть метода заключается во введении производной по псевдовремени от давления в уравнение неразрывности. Такой подход позволяет использовать схемы совместного решения уравнений, хорошо зарекомендовавшие себя для решения уравнений Эйлера и Навье–Стокса сжимаемого газа.

Для аппроксимации невязких потоков в полученной системе можно использовать противопотоковую схему третьего порядка с расщеплением матрицы Якоби невязкого потока на сумму матриц  $A^+$  и  $A^-$ , обладающих неотрицательными и неположительными собственными значениями. В работе показано, что решение, полученное описанным методом, зависит от  $\beta$  — коэффициента искусственной сжимаемости. Для получения хорошей точности  $\beta$  должен быть порядка  $U^2$ , где  $U$  — характерная скорость потока. Это сложно обеспечить в реальных течениях, где скорость потока может сильно меняться.

В работе предлагается альтернативный алгоритм совместного решения уравнений, не использующий подход искусственной сжимаемости, в котором нет зависимости от  $\beta$ . Для аппроксимации невязких потоков используется противопотоковая схема, заимствованная из метода SIMPLE, где предварительно вычисляется поток массы через грань ячейки. Для расчета потока массы используется интерполяция Рхи–Чоу. Однако расщепление системы на отдельные уравнения не производится. В работе проведена линеаризация схемы, в результате которой получена СЛАУ  $A\mathbf{x} = \mathbf{b}$ , где  $A$  — разреженная матрица с блоками  $4 \times 4$ . Решение полученной СЛАУ будет осуществляться без факторизации с помощью алгебраического многосеточного метода из библиотеки HYPRE.

## Схема третьего порядка точности на неравномерной сетке для решения уравнений движения несжимаемой жидкости

А. Р. КОЧАРИНА

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (04.04.2023)*

Уравнения Навье–Стокса применяются в математическом моделировании многих природных явлений и технических задач, в том числе и для моделирования работы гидродинамических устройств (турбин, насосов). При расчете течений в сложных проточных частях приходится использовать неравномерные сетки. Поэтому является актуальной задача вывода MUSCL-схемы для случая неравномерной сетки.

В работе уравнения Навье–Стокса несжимаемой жидкости решаются методом искусственной сжимаемости. Система уравнений, полученная в результате применения метода искусственной сжимаемости, аппроксимируется неявным методом конечных

объемов. Для вычисления невязких потоков через грани ячеек используется MUSCL-схема. В исходном алгоритме реализована классическая MUSCL-интерполяция третьего порядка, не учитывающая неравномерность сетки. Цель работы — реализовать MUSCL-схему, которая будет учитывать неравномерность сетки.

В работе было сделано следующее:

- на примере модельной 1D-задачи показано, что MUSCL-схема дает третий порядок точности на неравномерной сетке;
- реализованная MUSCL-схема внедрена в численный метод конечных объемов и протестирована на 2D-задаче обтекания кругового цилиндра несжимаемой жидкостью;
- исследована точность базовой и модифицированной схем в зависимости от степени неравномерности сетки.

## **Численное моделирование движения связных селей по реальным склонам**

А. В. КЛАДОВ

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (11.04.2023)*

В докладе представлены “одномерная” модель связного селя и модель для двумерного склона, а также переход от модельных водотоков к реальным.

## **Восстановление полиномов экспонент по интервальным данным**

М. А. Звягин

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (11.04.2023)*

В практике часто возникают задачи восстановления функциональных зависимостей по эмпирическим данным. Например, при исследовании грунтов с помощью методов мюонной плотнотрии важным шагом является построение зависимости интенсивности потока частиц от глубины. Эту же зависимость похожего типа часто моделируют в виде полинома от экспонент.

В работе описан алгоритм построения зависимостей вида полиномов из экспонент по данным с интервальной неопределенностью, описываемый алгоритм реализован, продемонстрированы результаты численных экспериментов, обнаружен эффект отсутствия роста согласованности данных и кривой при росте количества экспонент.

В дальнейшем планируется построение алгоритмов оценки множества параметров модели, согласующихся с данными (информационного множества).

## **Применение методов машинного обучения для обработки данных газового сенсора**

Ю. А. Иванова

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (25.04.2023)*

Современные сенсорные системы, позволяющие определять концентрации газов и химический состав газовых смесей, применяются для сопровождения технологических процессов в различных областях промышленности, для мониторинга атмосферного воздуха в городах и на предприятиях для контроля параметров пищевой и сельскохозяйственной продукции и в других направлениях.

Известно, что молекулы многих индустриальных газов и соединений имеют уникальные спектральные характеристики в ближнем и среднем инфракрасном диапазоне. Имея источник излучения необходимой длины волны и данные о спектрах поглощения, можно оценивать концентрации исследуемых соединений. Кроме того, современные сенсорные системы способны производить огромные объемы данных, к которым обеспечен легкий доступ для сбора, обработки и анализа. Методы машинного обучения могут помочь в интерпретации данных оптических и электрохимических газовых сенсоров в поиске важной информации для дальнейших исследований в области обработки данных газового сенсора.

Исследование посвящено разработке метода интерпретации выходных данных оптоакустического газового сенсора с помощью машинного обучения. Целью работы является увеличение точности определения концентрации метана в воздухе. Экспериментальная схема газового сенсора включает источник оптического сигнала, возбуждающий звуковые колебания в газовой ячейке, и микрофон, осуществляющий измерение звукового сигнала. Измеренный звуковой сигнал и оптический сигнал на выходе из ячейки являлись входными данными для нейронной сети. С помощью специализированной библиотеки PyTorch для машинного обучения на языке программирования Python рассмотрено несколько моделей и архитектур нейронных сетей (таких как нейронные сети прямого распространения и сверточные нейронные сети), применяемых для обработки данных газового сенсора и определения концентрации газа. В результате удалось определить низкие концентрации метана в воздухе 3 и 9.7 ppm с погрешностью не более 15 % (0.45 и 1.455 ppm соответственно), а концентрацию 954 ppm — не более 3.5 % (33.4 ppm).

## Численное моделирование распространения лазерного излучения в многосердцевинных оптических световодах

Г. А. ПАТРИН

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (25.04.2023)*

Исследование неконсервативной динамики лазерного излучения в многосердцевинных световодах — актуальная задача современной науки. Однако оптическое волокно является системой, закрытой для наружного наблюдения, что осложняет исследования. Решением этой проблемы может стать применение подходов математического моделирования.

Целью работы является прогноз оптимальных параметров и характеристик неконсервативной динамики лазерного излучения в многосердцевинном оптическом волокне методами математического моделирования для формирования практических рекомендаций по проведению натурных экспериментов, что поможет развитию исследований в этой области.

В докладе представлены следующие результаты:

- разработанный эффективный численный алгоритм для модели активного многосердцевинного волокна;
- результаты проведенных численных экспериментов по подтверждению точности разработанного метода;
- сравнение результатов расчетов распространения лазерного излучения в пассивном волокне с экспериментальными данными.

## **Математическое моделирование оптического полупроводникового усилителя для резервуарных вычислений**

Д. А. Ивойлов

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (25.04.2023)*

Рекуррентные нейронные сети (РНС) являются перспективной технологией для моделирования динамических систем, поскольку они позволяют обрабатывать серии событий во времени. Однако обучение таких моделей — нетривиальная задача из-за их сложной структуры. Для уменьшения вычислительной сложности РНС на этапе обучения была предложена их разновидность — нейронная эхо-сеть, позволяющая эффективно предсказывать последовательность значений временного ряда. Сеть характеризуется одним скрытым слоем, который называется резервуаром, со случайными связями между нейронами. Обучению в таких моделях подлежит только выходной слой, поэтому они обладают низкой вычислительной сложностью, но требуют предварительной настройки и оптимизации параметров сети для каждой конкретной задачи.

В работе предложена оптическая реализация модели нейронной эхо-сети. Мы построили численную модель, используя оптический полупроводниковый усилитель в качестве резервуара. Модель представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих изменение оптического поля в полупроводниковом усилителе. В качестве начального поля рассмотрена последовательность гауссовых импульсов, с помощью которой кодируются входные данные. Затем решается задача Коши на равномерной сетке, и полученное решение используется для алгоритмов машинного обучения и предсказания временных рядов. На заключительном этапе исследована эффективность построенной модели в задачах прогнозирования временных рядов Маккея–Гласса (Mackey–Glass).

## **Дисперсионные свойства метода “гидродинамика сглаженных частиц” на задаче о распространении звуковых волн в невязкой газопылевой среде**

П. К. Ковылина

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (02.05.2023)*

Моделирование динамики газопылевых сред имеет множество научных и инженерных приложений. В работе рассматривается метод “гидродинамика сглаженных частиц” (SPH) для решения одномерных уравнений двухфазной двухскоростной сплошной среды. Уравнения движения газа и пыли имеют релаксационные слагаемые, связанные с межфазным взаимодействием. Обозначим за  $t_{stop}$  время релаксации скорости пылевой частицы к скорости газа. Для частиц малого размера  $t_{stop} \rightarrow 0$ . Известно, что при этом условии использование методов расчета межфазного взаимодействия, представленных в работах, исследовавших SPH, дает эффект избыточной диссипации волн.

В настоящей работе построены и проанализированы дисперсионные соотношения для упомянутых методов. Для обоих методов дисперсионные соотношения при  $t_{stop} \rightarrow 0$  содержат слагаемые, обратно пропорциональные этой величине. Именно они обеспечивают численную диссипацию волн, тогда как в исходных уравнениях при  $t_{stop} \rightarrow 0$  эта диссипация отсутствует. Таким образом, удалось объяснить наблюдаемые при практических расчетах эффекты диссипации.

## Математическое моделирование антигипертензивной терапии азилсартаном медоксомил

А. Д. БОРОДУЛИНА

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (02.05.2023)*

Артериальная гипертензия — патология, характеризующаяся повышенным систолическим и/или диастолическим давлением. Контроль заболевания может происходить посредством различных классов антигипертензивных препаратов. В данном исследовании производится моделирование ответа сердечно-сосудистой и почечной систем человека на действие антагониста рецепторов ангиотензина II азилсартана медоксомил с учетом двойных комбинаций этого препарата с тиазидным диуретиком гидрохлортиазидом,  $\beta$ -адреноблокатором бисопрололом и блокатором кальциевых каналов амлодипином. С этой целью на базе программного комплекса BioUML рассматривается ранее разработанная агентная математическая модель регуляции артериального давления со встроенными функциями влияния гидрохлортиазида, бисопролола и амлодипина. В качестве функции влияния азилсартана в эту модель была добавлена дозозависимая константа, которая в соответствии с фармакологическим действием препарата снижает скорость связывания ангиотензина II с рецепторами AT1. Идентификация данной константы осуществлялась на основе известных клинических испытаний азилсартана. Тестирование модели проводилось на популяции виртуальных пациентов (равновесных параметризаций модели в рамках заданных физиологических ограничений) с несложненной артериальной гипертензией и равномерно распределенными значениями систолического/диастолического давления и частоты сердечных сокращений, после чего рассматривался методологический вопрос адаптации модели к клиническим показателям реального пациента.

## Численное моделирование волн, вызванных береговым оползнем

Л. ЧЖАО

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (02.05.2023)*

Оползни являются одними из самых опасных и распространенных стихийных бедствий, создающих реальную угрозу для населенных пунктов и инженерных сооружений.

Цель дипломной работы заключалась в проведении численного моделирования возникновения поверхностных волн в водохранилище при сходе в него берегового надводного оползня.

Построена модель движения оползня по береговому склону, его входа в водохранилище и движения по дну водохранилища. Модель представляет собой два обыкновенных дифференциальных уравнения, которые зависят от многих внешних параметров. Рассмотрены случаи, когда эти параметры разные для суши и для водоема. Например, коэффициент трения имеет большее значение в случае, когда оползень движется по береговому склону, и меньшее значение, когда он движется в воде. Исследовано влияние коэффициента трения на скорость движения оползня и место его остановки. На основе сравнения с натурными наблюдениями в Бурейском водохранилище сделан выбор таких значений параметров, при задании которых место остановки оползня, полученное в расчетах, близко к тому месту, которое было в реальном событии.

Для расчета генерируемых оползнем поверхностных волн использованы одномерная модель мелкой воды и известная схема предиктор-корректор на подвижной сетке. На данном этапе выполнения работы вместо криволинейного дна водохранилища рас-

сматривается горизонтальное дно. Кроме того, используется более простой механизм генерации волн: воздействие оползня на воду заменено воздействием на нее вертикальной подвижной непроницаемой стенки, которая сдвигает воду с той же скоростью, которая была рассчитана для оползня. В настоящее время проводятся эксперименты по определению высоты волн, генерируемых такой подвижной стенкой.

## Применение метода частиц для расчета переноса проппанта в трещине гидроразрыва

С. Ду

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (16.05.2023)*

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) — один из методов интенсификации работы нефтяных и газовых скважин и увеличения приемистости нагнетательных скважин. Проппант — гранулообразный материал, который служит для закрепления трещин, создаваемых в ходе ГРП. Использование проппанта при ГРП может повысить эффективность извлечения нефтяных скважин. Поэтому вычисление распределения концентрации проппанта является важной задачей. Наша работа заключается в применении метода частиц в ячейках для расчета распределения концентрации проппанта.

В работе построена модель переноса проппанта и представлена схема решения модели методом частиц в ячейках. Перенос частиц рассчитывался с помощью методов Эйлера и Рунге–Кутты для исследования погрешности расчетов в разных трубопроводах. Концентрация вычислялась с помощью метода частиц в ячейках. Представлена оценка погрешности, возникающей при передаче концентрации между ячейками и частицами. Проведено исследование зависимости точности метода частиц в ячейках от количества частиц в каждой ячейке и от количества ячеек, на которые разбивается моделируемая область.

## Расчет раскрытия плоской трещины на основе аналитического вычисления интегралов

С. Ван

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (16.05.2023)*

Актуальность темы доклада заключается в том, что сингулярный интеграл Адамара расходится как в общем смысле, так и в смысле главного значения. К примеру, в задаче о плоской трещине есть особые точки и формула интеграла главного значения в смысле Адамара должна использоваться для расчета.

Цель работы состоит в том, чтобы реализовать аналитические формулы для вычисления главного значения интеграла в смысле Адамара при расчете раскрытия плоской трещины произвольной формы.

В ходе работы получена интегральная формула главного значения в смысле Адамара. Ставится задача о плоской трещине и определяется область расчета интеграла Адамара, которую необходимо использовать. Также в работе приводятся результаты численных экспериментов.

## Экономичный алгоритм генерации специальных адаптивных сеток по характерным профилям решений в задачах со слоями

С. Е. СТРЕЛКОВА

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (16.05.2023)*

Для краевых задач с малым параметром при старших производных, решения которых имеют зоны высоких градиентов, именуемые слоями, использование равномерных сеток весьма затратно из-за тотальных ограничений на шаг, потому к ним целесообразно применять адаптивные сетки, сгущающиеся в зоне быстрого изменения решения. Однако нередко из-за недостатка априорной информации о поведении решения предсказать тип слоя, его ширину и масштаб и построить эффективную адаптивную сетку весьма затруднительно. Обычно с целью подбора наиболее эффективной сетки задачу приходится пересчитывать много раз на различных сетках, что является весьма трудоемким процессом, особенно на многомерных задачах.

В работе рассмотрен алгоритм выбора координатных преобразований, генерирующих сетки, основанный на естественных критериях оценки сеток и позволяющий значительно сократить затраты вычислительных ресурсов.

Суть алгоритма состоит в “примерке” ряда сеток к решению путем интерполяции надежного типичного решения (точного или полученного численно с хорошей точностью) на различные явно задаваемые сетки, соответствующие тому или иному набору параметров координатного преобразования. По поведению модуля приращения решения на шаге сетки с применением нескольких формализованных критериев, а также на основе экспертной субъективной оценки исследуется близость шагового приращения в слое к равномерному и делается вывод об эффективности координатного преобразования с конкретным набором параметров.

Описанным методом проведено исследование нескольких типов координатных преобразований для характерных решений уравнения Шрёдингера и профилей скорости в задаче о течении вязкой несжимаемой жидкости в каверне.

## Варианты метода коллокации и наименьших квадратов на адаптивных сетках

Л. С. Брындин

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (17.10.2023)*

В докладе сообщается о новых вариантах метода коллокации и наименьших квадратов (МКНК) численного решения эллиптических краевых задач.

Реализованы два подхода к построению приближенного решения. В первом случае неизвестными изначально являются значения решения и его производных в вершинах ячеек, что позволяет достичь их автоматической склейки на границах между соседними ячейками. Во втором подходе неизвестными выступают коэффициенты полиномиального разложения решения в каждой ячейке. Для обеспечения его непрерывности в данном случае дополнительно записываются условия согласования. В обоих вариантах МКНК адаптивные сетки из тре- и четырехугольных ячеек строились с помощью пакета Gmsh, а переопределенные СЛАУ решались с помощью прямого ортогонального метода с распараллеливанием на GPU, реализованного в библиотеке SuiteSparse.

Продемонстрированы преимущества развиваемых подходов по сравнению с предыдущими реализациями МКНК и изогеометрическим методом коллокации. Метод применяется для расчета изгиба круглых изотропных пластин с отверстиями в рамках теорий Кирхгофа – Лява и Рейсснера – Миндлина.

## **Разработка информационно-вычислительной системы оценки потоков парниковых газов с поверхности Земли по спутниковым данным**

В. Д. КОТЛЕР

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

Современное человечество живет в эпоху небывалого развития научно-технического прогресса, сопровождающегося активным воздействием на природную среду. Деятельность человека, в частности вырубка деревьев, вредные выбросы промышленных предприятий, вызывает увеличение концентрации парниковых газов, что приводит к неизбежному нагреванию атмосферы и климатическому сдвигу в сторону глобального потепления. Без оценки и анализа потоков парниковых газов невозможно проводить поиск эффективного решения данной проблемы мирового масштаба.

Для решения подобных задач часто используются системы усвоения данных. Для организации процесса обработки данных измерений и результатов вычислений по математической модели требуется разработка информационно-вычислительной системы. В докладе представлены архитектура и структура информационно-вычислительной системы, позволяющей проводить оценку потоков парниковых газов с поверхности Земли.

## **Концептуальное проектирование информационной системы хранения, обработки и анализа данных по экосфере и техносфере**

Н. А. ШАШОК

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

Научно-информационные системы хранения, обработки и анализа информации являются эффективным инструментом, значительно упрощающим работу экспертов и пользователей с большими объемами разнородных данных. Разработка соответствующего инструмента хранения, обработки и анализа данных — эффективное решение для оптимального управления потоками информации в социально-природно-техногенной системе в связи с появлением и развитием новых информационных и вычислительных технологий, а также радикально возросшим объемом информации, обусловленным в том числе развитием систем мониторинга.

В докладе представлено концептуальное проектирование комплексной информационной системы, в рамках которой объектами определены экосфера и техносфера с потенциальной возможностью дальнейшего расширения предметной области.

## **Математические модели расчета трехмерного напряженно-деформированного состояния композитных элементов конструкций на основе метода асимптотического расщепления**

А. Г. Горынин

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (07.11.2023)*

Рассмотрены различные варианты применения метода асимптотического расщепления (AP) к расчету напряженно-деформированного состояния композитных элементов конструкций, таких как композитные многослойные пластины, тонкостенные стержни открытого и замкнутого профилей и осесимметричные слоистые оболочки.

Решение задачи в методе AP ищется в виде асимптотического ряда по малому параметру без введения каких-либо гипотез о распределении напряжений или перемещений в конструкции. Однако, в отличие от формальных асимптотических разложений, в аппроксимации присутствуют дифференциальные операторы от функций средних перемещений в конструкции, что позволяет расщепить решение исходной трехмерной задачи на последовательное решение задач меньших размерностей.

Проведена оценка эффективности полученных на основе метода AP математических моделей и выполнено их сравнение с трехмерным конечно-элементным моделированием.

## **Численное моделирование взаимодействия жидкости с полупогруженными конструкциями в рамках модели потенциальных течений**

В. С. Скиба

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (14.11.2023)*

При проектировании больших частично погруженных в воду сооружений, размещаемых в цунамиопасных прибрежных водах, необходимо учитывать возможное воздействие на них поверхностных волн типа цунами.

Доклад посвящен решению задачи взаимодействия длинных волн с полупогруженным телом в рамках нелинейных моделей потенциальных течений. Сравниваются численные алгоритмы и результаты численного моделирования для 2D- и 3D-случаев. В результате сравнения показана важность учета дифракции длинных волн.

## **Математическое моделирование инфаркта миокарда**

Ч. А. ЦГОЕВ

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (21.11.2023)*

Работа посвящена актуальной проблеме изучения механизмов гибели клеток при инфаркте миокарда вследствие ишемии. Задача состоит в создании адекватной математической модели гибели клеток миокарда под влиянием факторов воспаления и изучении вариантов снижения некротического повреждения. Адекватность результатов оценивается сопоставлением с экспериментальными данными.

## Исследование технологии производства технического углерода

Д. ТАРРАФ

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск (28.11.2023)*

Технический углерод является востребованным продуктом, производимым в реакторах, где сырье распыляется форсунками в поток газа-теплоносителя, смешивается и подвергается пиролизу. В связи с необходимостью получения новых марок и качеств технического углерода, а также недостаточностью достигнутого технологического уровня возникает необходимость моделирования и оптимизации этой задачи.

Численные методы, такие как “многофазные модели”, могут быть использованы для определения дисперсного состава распыляемого сырья и степени его испарения. Это, в свою очередь, позволяет оптимизировать производственный процесс путем подбора параметров, связанных с подаваемыми газом и сырьем, а также проектирования оптимальной геометрии реактора.

Представлены различные модели, описывающие процесс распыления сырья в поток газа-теплоносителя. Описан процесс испарения-конденсации, представляющий собой массообмен между сырьем и продуктами его испарения. Описан способ сокращения времени вычислений, основанный на использовании адаптивных сеток и вырезании геометрии.

## Разработка веб-ориентированной платформы облачных вычислений в задачах гидродинамики

Д. В. ГОРОДИЛОВ

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

Развитие вычислительной гидродинамики связано с проведением сложных экспериментов, в исследованиях которых важны автоматизация в управлении расчетными задачами и удаленная визуализация данных. Однако существуют серьезные препятствия в разработке всех необходимых технологий в управлении запуска моделирования, начиная с введения параметров и заканчивая последующей постобработкой.

Настоящая работа посвящена разработке веб-ориентированной платформы для автоматизации проведения гидродинамических расчетов широким кругом исследователей через интерактивную веб-среду.

## Развитие интервальных арифметик и их приложения к решению задач интервального анализа

Д. А. СКОРИК

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Новосибирск (12.12.2023)*

Классические интервалы в интервальном анализе, хотя и универсальны в применении к решению различного рода задач, имеют ряд недостатков, таких как скучные алгебраические свойства, оценка множества значений функции на интервале с первом порядке точности и т. д. В докладе рассмотрен новый вид интервалов — функциональные. Их преимущество состоит в том, что за счет дополнительной информации о задаче можно разработать более экономичные доказательные вычислительные алгоритмы с высоким порядком сходимости оценки значений функций. Этот тезис иллюстрируется

на примере задачи поиска минимума функции на интервале, где используется метод, основанный на геометрических свойствах квадратичных функциональных интервалов.

## **IntvalPy — библиотека интервальных вычислений и ее приложения**

А. С. АНДРОСОВ

*Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Новосибирск (12.12.2023)*

Исследование представляет собой разработку и совершенствование библиотеки на языке Python, целью которой является реализация численных методов интервального анализа для решения широкого спектра стандартных математических задач.

Библиотека включает передовые методы для определения существования решений как квадратных, так и переопределенных интервальных систем линейных алгебраических уравнений, вычисление интервалов, в которых лежат искомые параметры, а также методы визуализации множеств решений интервальных уравнений и систем уравнений.

Рассмотрена модификация безусловного оптимизационного алгоритма, применяемого для нахождения максимального значения распознающего функционала. С использованием метода штрафных функций поиск “наилучших” параметров может быть выполнен в указанной области, что полезно во многих прикладных задачах, где существуют ограничения на параметры модели. Например, неотрицательность времени или условия на коэффициенты в модели авторегрессии.

В качестве практического применения библиотеки рассматривается важная задача с дробно-линейной модельной функцией.

*Место и время проведения заседаний:* по вторникам, в 11:00, конференц-зал Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий

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

*Секретарь семинара:* Василий Савельевич Скиба

*e-mail:* vassiliyskiba@gmail.com

*Интерактивная заявка доклада:*

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