ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИВМИМГ СО РАН ЗА 2021 г.

Предобусловленные итерационные методы в подпространствах Крылова для решения больших разреженных СЛАУ

Д.ф.-м.н. Ильин В. П., Гололобов С.В., к.ф.-м.н. Гурьева Я. Л., Крылов А. М., Петухов А. В.

Предложен и исследован цикл итерационных методов в подпространствах Крылова с ускоряющими предобусловливающими матрицами для решения больших разреженных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), возникающих из аппроксимации актуальных многомерных задач математического моделирования с реальными данными на неструктурированных сетках. Алгоритмы базируются на различных вариационных, ортогональных и проекционных свойствах, включая экономичные схемы переменно-треугольных и вложенных неполных факторизаций, а также дефляционные подходы при многократном решении симметричных и несимметричных СЛАУ с последовательно определяемыми правыми частями. Исследованы вопросы повышения производительности и масштабируемого распараллеливания алгоритмов на суперкомпьютерах гетерогенной архитектуры с распределенной и иерархической общей памятью.

Результаты исследований изложены в пленарном докладе на международных конференциях

1. Parallel computational technologies (PCT) 2021, Volgograd, March 30 – April 1, 2021.
2. Марчуковские научные чтения 2020 (МНЧ-2021), Новосибирск, 4–8 октября 2021 г.

Компьютерные модели сферических линз для виртуальных оптических экспериментов

Д.т.н. Дебелов В. А., Долгов Ю. А.

Компьютерные модели сферических линз выполнены в виде набора библиотек на языке C++, которые обеспечивают задание и использование сферических линз в пользовательских приложениях. Модель линзы построена на основе теоретико-множественных пересечений

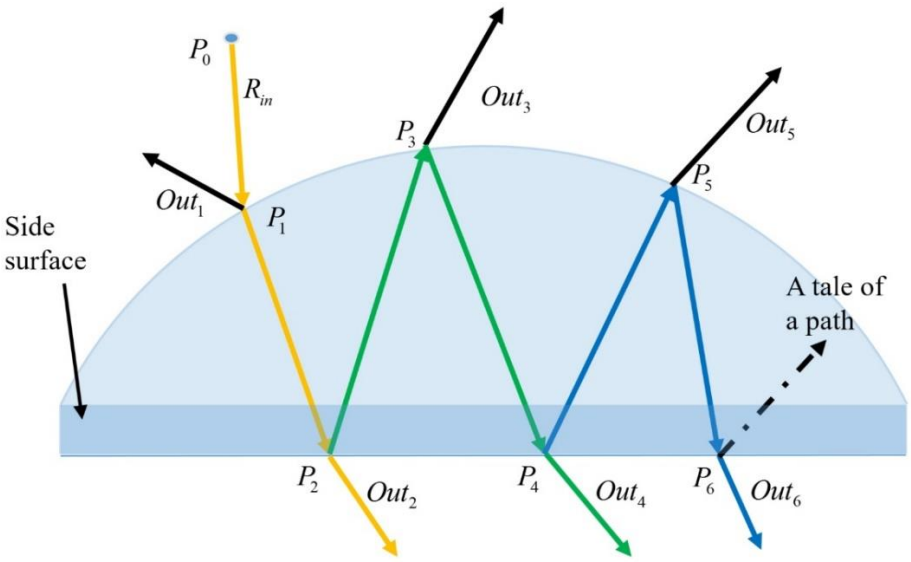

Рис. 1 – Поддерево трассировки лучей глубины 5 внутри линзы: R_{in} – падающий луч; Out_* –выходящие из линзы лучи; P_* – узлы; E_* – внутренние отраженные лучи; Side surface – сферическая или коническая монтажная часть боковой поверхности

внутреннего или внешнего пространства геометрических примитивов: сферы, цилиндра, конуса и полупространства (плоскости). Для линейно поляризованного светового луча, падающего на линзу, физически корректно вычисляются выходные линейно поляризованные световые лучи – отраженный и заданное количество прошедших лучей с учетом внутренних переотражений. Аналоги не известны, хотя существуют мощные программные продукты, такие как TracePro®, ASAP®, которые позволяют решать аналогичные задачи. Однако указанные системы громоздки, дорогостоящи, автономны и не позволяют использовать отдельные полезные функции в пользовательской программе.

Результаты исследований изложены в пленарных докладах на международных конференциях:

1. "Parallel computational technologies (PCT) 2021", Volgograd, March 30 – April 1, 2021.
2. "Марчуковские научные чтения 2020" (МНЧ-2021), Новосибирск, 4–8 октября 2021 г.

Двухпотоковая структура закона сохранения массы двухфазной несжимаемой жидкости в пористой среде

Иванов М. И., к.ф.-м.н. Кремер И. А., д.ф.-м.н. Лаевский Ю. М.

Сформулировано общее представление о двухпотоковой структуре закона сохранения масс в задачах о течении двухфазной жидкости. Основу двухпотоковой структуры составляет представление фазовых скоростей в виде суммы двух компонент – сонаправленных суммарной скорости и противоположно направленных. Примером применения предложенной конструкции является построенная нами ранее балансная разностная схема *EHU* (*Explicit Hybrid Upwinding*) для задачи о гравитационной сегрегации двухфазной несжимаемой жидкости в пористых средах, удовлетворяющая слабому принципу максимума, в которой отсутствуют нефизичные сеточные артефакты.

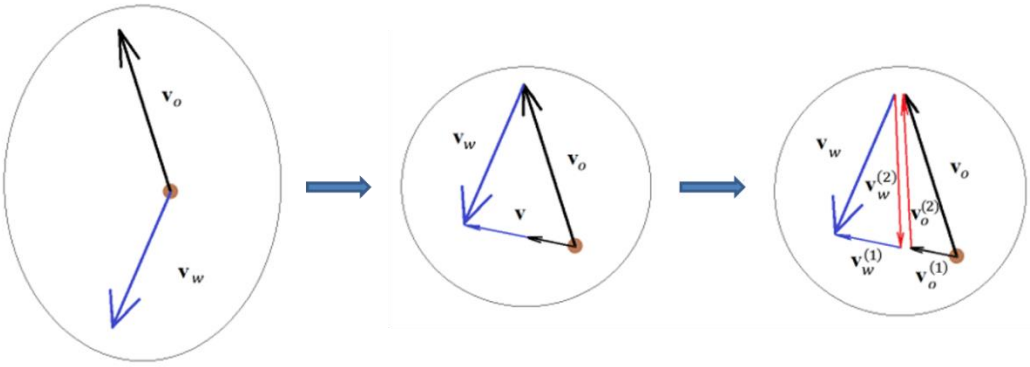

Рис. 2 – Двухпотоковая структура фазовых скоростей для системы "вода – нефть"

Результаты исследований изложены в пленарных докладах на международных конференциях:

1. "Математическое моделирование, обратные задачи и большие данные", Якутск, 18–25 июля 2021 г.
2. "Вычислительная математика и приложения", Математический центр Sirius (Сочи), 2–6 августа 2021 г.
3. 19-я Всероссийская школа молодых исследователей "Современные проблемы математического моделирования", Абрау-Дюрсо, 13–18 сентября 2021 г.
4. "Марчуковские научные чтения 2021" (МНЧ-2021), Новосибирск, 4–8 октября 2021 г.

Идентификация агентной модели и анализ сценариев распространения COVID-19 в регионах Сибирского федерального округа

Чл.- корр. РАН Кабанихин С. И., к.ф.-м.н. Криворотько О. И., к.т.н. Зятьков Н. Ю.

Разработан численный алгоритм идентификации чувствительных параметров агентно-ориентированной модели распространения COVID-19 в регионах Сибирского федерального округа по статистической информации о количестве ежедневно протестированных, выявленных, критических и летальных случаев. Алгоритм основан на уменьшении границ чувствительных параметров методами идентифицируемости и последующем решении задачи минимизации целевого функционала с помощью комбинация стохастических и градиентных методов. На рис. 3 представлены средние значения модели по сценариям распространения COVID-19 в Новосибирской обл. при различных мерах в регионе, рассчитанные 16.10.2021 на 45 дней вперед. Верификация модели с реальными данными (400 человек) на 08.11.2021: 416 человек – синяя линия, 349 человек – красная линия, 356 человека – зеленая линия.

Рис. 3 – Сценарии распространения ежедневно выявляемых случаев COVID-19 в Новосибирской обл. с 17.10.2021 по 30.11.2021: синяя линия –нерабочие дни с 30.10 по 07.11 (число людей, присутствующих на работе и учебе, уменьшилось на 40 %, затем заболеваемость увеличилась в 2 раза вследствие привезенных случаев); красная линия –локдаун на 2 недели до 14.11 (полностью закрыть школы, 50 % общественных мест и 50 % сотрудников переведены на удаленную работу); зеленая линия – базовый сценарий развития на 16.10.2021; синие точки – реальные данные по 16.10.2021, используемые в моделировании; черные точки – реальные данные с 17.10.2021 по 08.11.2021 по сведениям www.стопкоронавирус.рф)

Новые корреляционно рандомизированные алгоритмы статистического моделирования переноса излучения в стохастической среде

Чл.-корр. РАН Михайлов Г. А., к.ф.-м.н. Медведев И. Н.

Для решения задач радиационного баланса, оптического зондирования и томографии бывает необходимо учесть многократное рассеяние излучения в стохастически неоднородной среде. Для реальных радиационных моделей с этой целью используется численно-статистический "метод максимального сечения" (ММС) на основе выравнивания поля оптической плотности путем добавления искусственного "дельта-рассеивателя". Однако трудоемкость соответствующей несмещенной оценки осредненного решения задачи неограниченно возрастает при уменьшении корреляционного масштаба (корреляционного радиуса r) среды. В связи с этим авторами построена дающая асимптотически, при $r \to 0$, несмещенные оценки требуемых функционалов рандомизация ММС – КР алгоритм (КРА), в котором значение физического коэффициента ослабления случайно выбирается в конце свободного

пробега l кванта при условии l > r, а иначе сохраняется из начальной точки пробега. Трудоемкость КРА алгоритма ограничена при $r \to 0$. Он позволяет строить асимптотически несмещенные оценки и для бесконечно протяженных сред. Разработана методика для определения такого значения r_m, что при $r < r_m$ КРА дает удовлетворительные результаты. Решалась также задача о прохождении гамма-излучения (начальная энергия 1 мэВ) с комптоновским рассеянием через слой воды толщины 200 см, "разбавленный" ансамблем пустых шаров радиуса r_b, центры которых образуют случайный пуассоновский поток интенсивности s, подбираемой так, что средняя плотность среды равна 0.9.

Таблица 1 – Значения корреляционного радиуса r, несмещенной оценки вероятностей прохождения P и КР-оценки P_s в зависимости от r_b

r_b	5	2	1	0.1	
r	3.67	1.47	0.74	0.074	∞
P	9.6	8.1			7.3
P_s	9.5	8.0	7.7	7.4	

Табл. 1 убедительно подтверждает стохастический предельный переход, который аналитически доказать не представляется возможным в данном случае. Отметим, что выигрыш в трудоемкости КРА сравнительно с несмещенной оценкой в данном случае определяется величиной $(1500\times(r_b)^{-1})^3$, равной 1.5×10^6 при $r_b = 0.1$.

Результаты исследований изложены в пленарном докладе на международной конференции "Марчуковские научные чтения 2021", Новосибирск, 4–8 октября 2021 г.

Стохастическая модель и компьютерное моделирование агрегации нанокристаллов сульфида кадмия при испарении матрицы Ленгмюра – Блоджетт

Д.ф.-м.н. Сабельфельд К., Киреев С., Свит К.

Разработана стохастическая модель формирования и роста нанокристаллов, реализованная для моделирования агрегации нанокристаллов судьфида при испарении матрицы Ленгмюра – Блоджетт. Результаты моделирования поддержаны экспериментальными исследованиями группы физиков из ИФП им. Ржанова. Построенная модель учитывает мобильность как индивидуальных нанокристаллов, так и кластеров. Были проанализированы

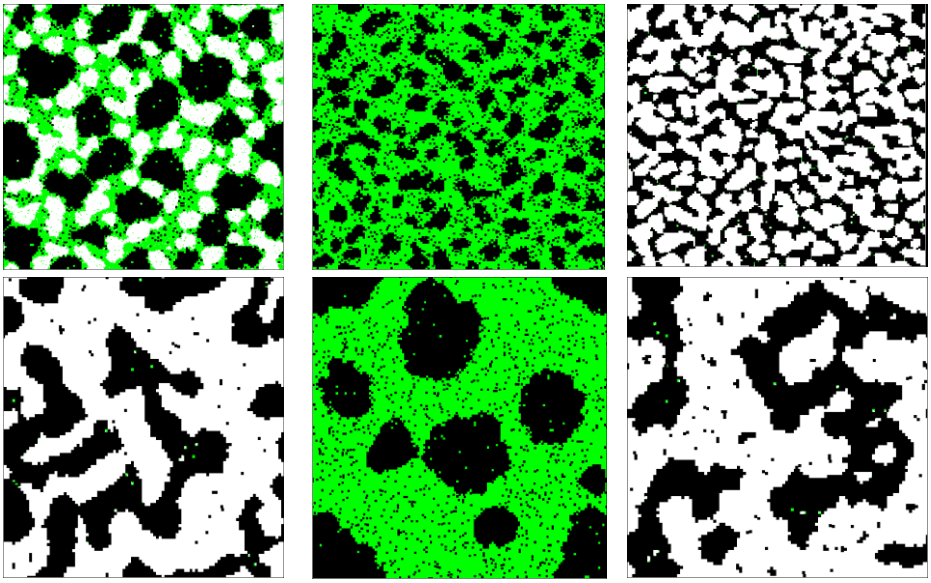

Рис. 4 – Результаты моделирования – паттерны для различных условий: черный цвет – кристаллы CdS; зеленый – растворитель; белый – свободная поверхность

большие серии всевозможных паттернов, которые моделируются данным алгоритмом, и влияние растворителя на эти распределения. В модели введены вероятности отрыва нанокристалла от кластера, зависящие от температуры и связывающей энергии между нанокристаллами. Метод моделирования основан на минимизации энергии системы, для которой выписан гамильтониан, алгоритм минимизации построен в виде модификации метода Метрополиса.

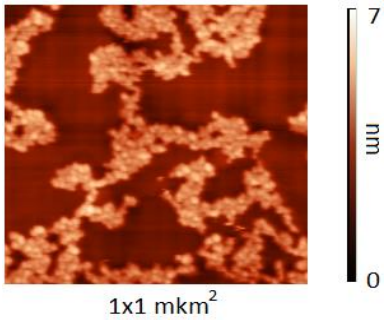

Рис. 5 – Микрофотография: эксперимент (ИФП СО РАН)

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 19-11-00019).

Применение метода максимального сечения в задаче фильтрации для непрерывных систем с марковскими переключениями

К.ф.-м.н. Аверина Т. А.

При решении задачи фильтрации требуется оценивать процессы, т. е. находить текущие оценки изменяющегося во времени сигнала, искаженного помехой, и в силу этого недоступного непосредственному измерению. Предложены новые алгоритмы решения задачи оптимальной фильтрации для динамических систем со случайной структурой с непрерывным временем.

По результатам измерений $Y(t)$, модель которых является системой диффузионного типа, оценивается состояние динамической системы $(X(t), L(t))$ по критерию минимума среднеквадратического отклонения ошибки оценивания в текущий момент времени. Математическая модель системы включает нелинейные стохастические дифференциальные уравнения (СДУ) с винеровской составляющей, правая часть которых определяет структуру динамической системы, или режим функционирования. Правая часть может изменяться в случайные моменты времени. Число структур системы предполагается конечным, а процесс

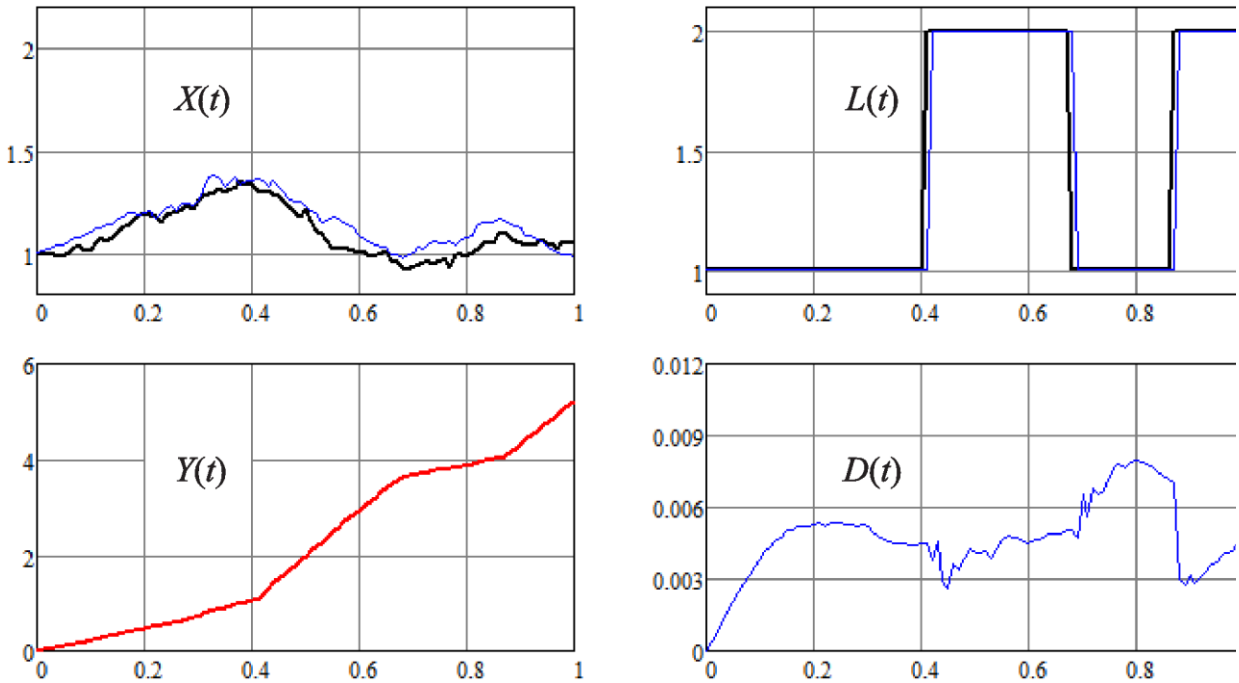

Рис. 6 – Выборочные траектории случайных процессов $X(t)$, $L(t)$ и их оценки; $D(t)$ – дисперсия оценки $X(t)$; $Y(t)$ – измерения

смены структуры марковским или условно марковским. Вектор состояния такой системы состоит из двух компонент: вектора с вещественными координатами $X(t)$ и целочисленного номера структуры $L(t)$. Закон изменения номера структуры определяется распределением случайного промежутка времени между переключениями с заданной интенсивностью, зависящей от состояния системы.

Разработанные алгоритмы типа фильтров частиц для оценивания текущего состояния систем со случайной структурой построены на основе метода статистического моделирования с использованием численных методов решения СДУ и экономичной модификации метода максимального сечения.

Морские волны тепла Сибирского шельфа и прилегающих акваторий

Д.ф.-м.н. Голубева Е. Н., Крайнева М. В., д.ф.-м.н. Платов Г. А., Якшина Д. Ф., Тарханова М. А.

Проведено исследование климатической изменчивости Северного Ледовитого океана и его окраинных морей с помощью трехмерной физико-математической модели, описывающей законы взаимодействия атмосферы, океана и морского льда, в численной реализации, разработанной в ИВМиМГ СО РАН. Результаты моделирования, подкрепленные анализом данных наблюдений, показали нарастающую интенсивность повышения летней температуры в сибирских арктических морях и прилегающих глубоководных акваториях во втором десятилетии 21 века. Формирование максимальных значений температуры, превышающих 90-процентный порог всех среднемесячных значений за период с 1981 по 2010 гг., позволяет рассматривать это климатическое явление как одно из самых опасных, а именно как морские волны тепла. Серия численных экспериментов на основе модели продемонстрировала, что возникновение морских волн тепла в сибирских арктических морях и прилегающей акватории тесно связано с освобождением региона ото льда, которое в равной степени вызвано тепловым и динамическим состоянием атмосферы и обусловлено происходившими в течение последних двух десятилетий сокращением ледового покрова и повышением температуры атлантических вод, поступающих в Северный Ледовитый океан.

а *б*

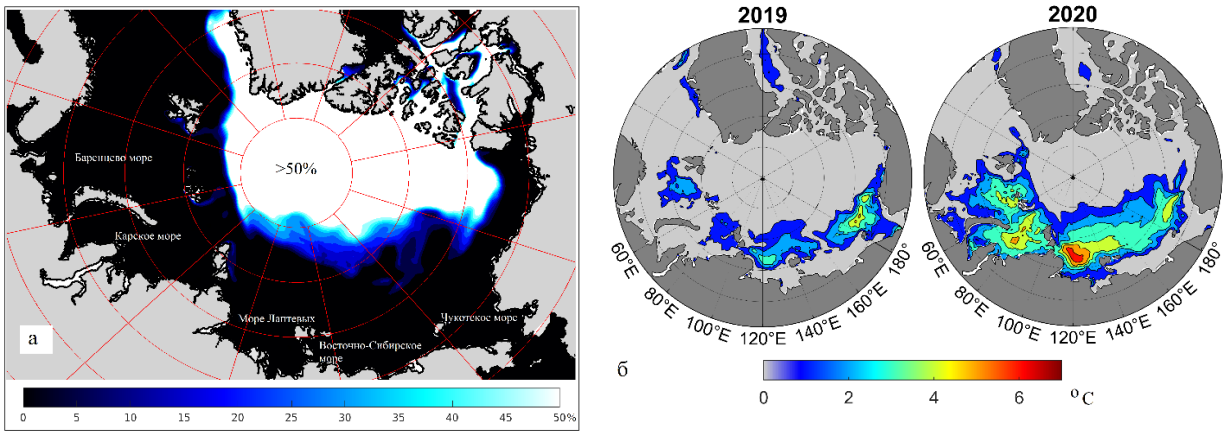

Рис. 7 – Результаты численного моделирования: средняя концентрация морского льда (в %) для сентября 2018–2020 гг. (*а*); морские волны тепла – аномалии среднемесячной поверхностной температуры (сентябрь), превышающие 90-процентный порог всех среднемесячных значений за период с 1981 по 2010 г. (*б*)

Обнаружение угловых структур в 3d-массивах с использованием масштабируемых масок

Д.ф.-м.н. Казанцев И. Г.

Проведены теоретические исследования масок (образцы для сравнений, или эталоны), моделирующих угловые структуры, для их обнаружения на трехмерных изображениях при использовании в традиционном методе скользящих окон. Этот метод основывается на согласованной фильтрации и многократных вычислениях свертки маски с текущей окрестностью отдельного элемента массива. Одним из актуальных приложений является проблема распознавания лиц, где метод имеет конкретное применение при поиске доминантных (опорных) точек.

Ранее нами были сконструированы масштабируемые маски для выделения угловых конструкций на двумерных изображениях, в настоящее время показано обобщение угловых масок на трехмерный случай. Свойство масштабируемости, состоящее в иерархии подматриц, дающей возможность построения матриц большего размера простым повторением самоподобных элементов, удалось распространить на трехмерный случай. Это отличает новые маски от использовавшихся традиционных, для которых элементы маски зависят от размера матрицы.

Излагается общий подход к конструированию масок для различных телесных углов, способствующий разработке иерархических вычислений трехмерных данных с целью ускорения. Выполнен сравнительный анализ коэффициентов усиления шума традиционных угловых детекторов (Кирш, Робинсон) и новых масок.

Исследования по геоэкологии техногенных шумов в интересах безопасности инфраструктуры города

Д.т.н. Хайретдинов М. С., д.т.н. Ковалевский В. В., Копылова О. А.

В связи с резким нарастанием на современном этапе уровня шумового загрязнения городской инфраструктуры из-за интенсивно развивающейся автомобилизации, масштабов строительных работ и других природно-техногенных факторов актуальной является проблема оценивания и предупреждения экологических рисков от шумов для здоровья человека и окружающей социальной инфраструктуры. Уровень опасности резко возрастает в

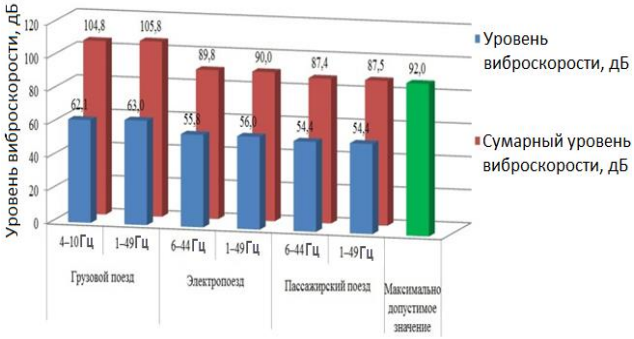

Рис. 8 – Нормированный (синий) и суммарный (красный) уровни виброскорости в диапазонах частот от различных источников: грузовой поезд, электропоезд, пассажирский поезд (дб). Критический (максимально допустимый) уровень (зеленый) для частот 4–80 Гц

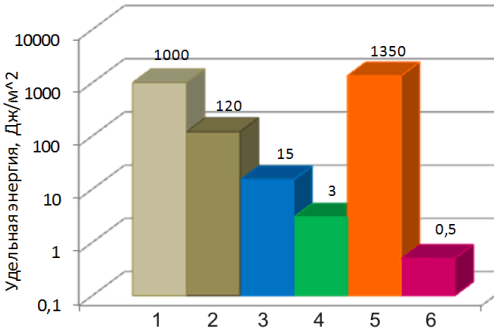

Рис. 9 – Критические значения удельной энергии (УЭ) от взрывов: 1 – жилое здание при однократном взрыве; 2 – жилое здание при многократных взрывах; 3 – оконное стекло толщиной 2–3 мм; 4 – человек. Значения УЭ от взрыва с тнт 125 кг: 5 –на удалении от взрыва 0.5 км; 6 – на удалении 10 км

области инфранизких частот, соответствующих основным процессам жизнедеятельности организма человека, собственным частотам колебаний сооружений. Авторами разработан многофакторный методический подход для решения задач обнаружения критических уровней шумов, определяемых вибрациями в земле и акустическими колебаниями в атмосфере, оценивания их степени угрозы для человека, а также распознавания и определения местоположения источников шумов. Получены практически важные теоретические и экспериментальные результаты в решении перечисленных задач в отношении различных типов тяжелого транспорта, полигонных и карьерных взрывов. Разработаны практические рекомендации по безопасности с учетом пространственно-частотно-временных факторов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (коды грантов 18-47-540006р_а, 20-07-00861а).

Результаты исследований изложены в двух пленарных докладах на международной конференции

The 21th Multidisplanary scientific geoconference SGEM-2021, Albena (Bulgaria), Aug. 14–22, 2021.

Новая смешанная вариационная задача и система Стокса с сингулярной правой частью

Д.ф.-м.н. Урев М. В.

С помощью расширенной схемы абстрактной смешанной вариационной задачи рассмотрена смешанная вариационная постановка двумерной задачи Стокса в ограниченной области с сингулярной правой частью, в частности дельта-функцией. Сформулированы условия, при выполнении которых доказана теорема о разрешимости и устойчивости решения такой обобщенной задачи

Выбор оптимальной конфигурации системы наблюдения для точной характеристики источника цунами.

К.ф.-м.н. Воронина Т. А.

Ключевым вопросом оценки возможных характеристик проявления волны цунами на побережье являются начальные условия задачи, т. е. исходная форма смещения воды в области очага цунами. Инверсия мареограмм (волновых форм цунами) – широко распространенный в настоящее время подход для реконструкции источника цунами. В данной работе задача восстановления первоначальной формы источника цунами по измеренным колебаниям уровня на серии удаленных приемников ставится как обратная задача математической физики и является некорректной. Регуляризация оператора в этом случае осуществляется путем сужения оператора на подпространство, являющееся линейной оболочкой первых правых сингулярных векторов. Меняя величину размерности этого подпространства на основе анализа свойств оператора прямой задачи, определяемых системой наблюдения и батиметрией, можно контролировать погрешность решения.

Такой подход позволяет ставить вопрос об оптимальном планировании системы донных датчиков в районе прогнозной цунамигенной активности для достоверного восстановления параметров источника цунами от ожидаемых подводных землетрясений. Показано, что использование оптимальной системы наблюдения не только повышает точность восстановления источника цунами, но и обеспечивает вычисление высот волны без дополни-

тельных расчетов в любых заранее фиксированных точках акватории, что важно для успешного прогнозирования высот цунами на побережье. Для поиска наиболее информативной части системы наблюдения в настоящей работе предложена методика, основанная на оценке переноса энергии волной цунами. Наиболее информативные данные регистрируются на направлениях наиболее интенсивного распространения энергии цунами. Вывод полезен при разработке новых систем предупреждения о цунами.

а *б*

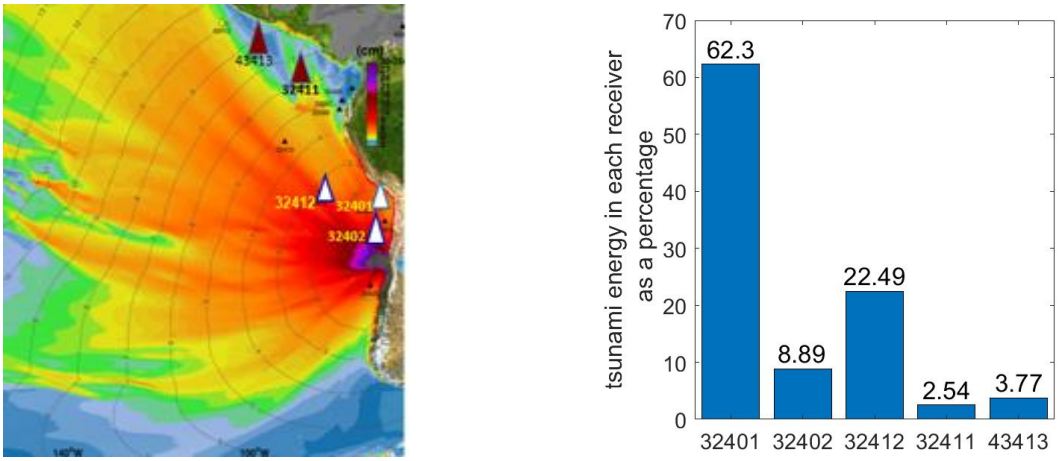

Рис. 10 –Диаграмма распространения энергии волны цунами с учетом топографии морского дна при цунамигенном землетрясении в Чили 16 сентября 2015 г. (*а*); треугольными маркерами показана система наблюдения из буев DART, данные которых использовались в инверсии: 32401, 32402, 32412, 32411, 43413; наиболее информативная часть системы наблюдения показана белыми маркерами; распределение энергии волны цунами в процентах между буями DART (*б*); на оси абсцисс –номера буев

Высокопроизводительная вычислительная модель плазменных течений в открытых ловушках в режиме диамагнитного удержания

Д.ф.-м.н. Вшивков В. А., д.ф.-м.н. Дудникова Г. И., к.ф.-м.н. Боронина М. А., к.ф.-м.н. Генрих Е. А.

Создана численная модель удержания и нагрева плазмы в осесимметричной открытой магнитной ловушке для установок УТС. Гибридная модель с использованием метода частиц-в-ячейках основана на кинетическом приближении для ионных компонент фоновой

а *б* *в*

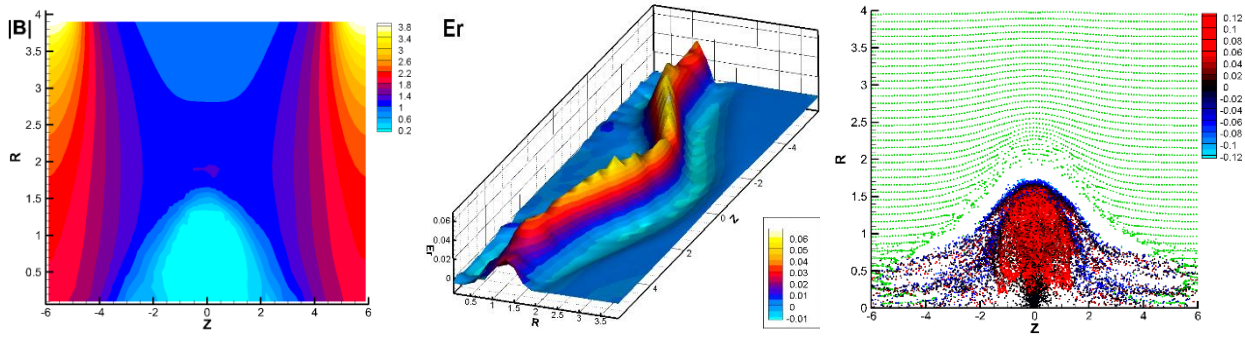

Рис. 11 – Значения модуля магнитного поля: формирование магнитной каверны (*а*); образование барьера электрического поля (*б*); распределение ионов в области решения (*в*); зеленым цветом обозначены частицы фона, остальные цвета – частицы инжектируемой и удерживаемой плазмы в зависимости от азимутальной скорости

плазмы и инжектируемого пучка и МГД приближении для электронной компоненты. Создан комплекс программ для проведения численного моделирования диамагнитного режима ловушки, эксперименты по исследованию которого планируются на установке КОТ ИЯФ СО РАН. Проведены вычислительные эксперименты по исследованию эволюции структуры магнитного поля и плазмы, получены временные и пространственные характеристики фоновой и удерживаемой плазмы в зависимости от энергии, тока и ионного состава инжектируемого пучка и других параметров.

Реализация высокоэффективной специализированной поддержки операций над плотными матрицами в системе LuNA

Д.т.н. Малышкин В. Э., Беляев Н. А., Перепёлкин В. А.

В системах автоматического конструирования параллельных программ, таких как LuNA, достижение высокой эффективности конструируемых программ возможно в частных предметных областях за счет наличия в системе специализированной поддержки для этой предметной области в виде частных системных алгоритмов. В 2021 г. в системе LuNA были разработаны и реализованы специализированные алгоритмы, обеспечивающие высокую эффективность конструируемых программ в области операций над плотными матрицами. Класс поддерживаемых приложений включает, но не ограничивается, разложениями LU, $LL^\top$, $LDL^\top$. Достигнуто качество конструирования программ, не уступающее качеству подпрограмм распространенной библиотеки ScaLAPACK. Результаты подтверждают возможность обеспечения высокой эффективности конструируемых параллельных программ в системе LuNA (рис. 12), по крайней мере для некоторых практически значимых классов приложений. Результат существенно расширяет область практического применения системы LuNA.

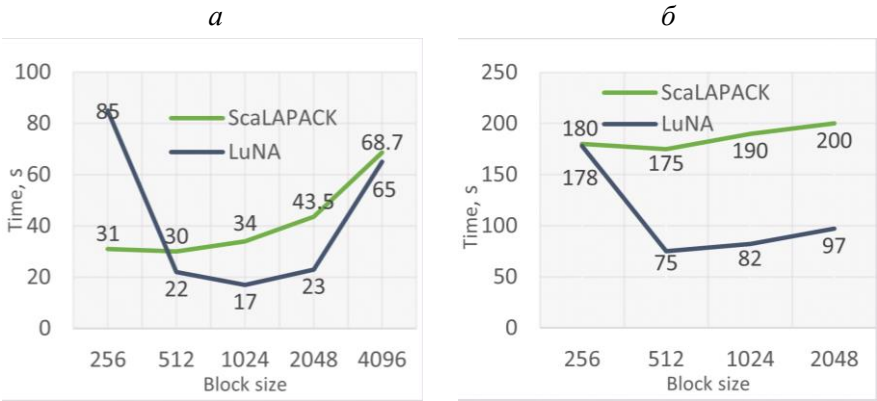

Рис. 12 – Время выполнения разложения Холецкого для квадратных матриц размера 32768 (*а*) и 65536 (*б*) элементов

Анализ и структурная оптимизации линейных беспроводных сенсорных сетей с ненадежными элементами

К.ф.-м.н. Мигов Д. А., д.т.н. Родионов А. С., к.ф.-м.н. Шахов В. В.

Разработан ряд алгоритмов для расчета и оценивания надежности линейных беспроводных сенсорных сетей, а также структурной оптимизации таких сетей для повышения надежности. На основе ранее разработанного декомпозиционного подхода предложен рекурсивный алгоритм расчета надежности ЛБСС (имеющих множество поперечных двухвершинных сечений, рис. 1), что позволяет выполнять расчет надежности ЛБСС из сотен и тысяч узлов за приемлемое время. Для оценки надежности таких сетей также был разработаны

параллельные алгоритмы для графических ускорителей. Аналитически доказан оптимальный по критерию средней вероятности связности пары узлов выбор расположения ребер, существенно отличающихся по надежности от остальных, в длинных цепях, моделирующих линейные сети с ненадежными связями. Для оптимальной по критерию надежности расстановки стоков ЛБСС разработан ряд генетических алгоритмов. Для ускорения поиска оптимальных решений используется подход с кумулятивным уточнением границ надежности сети и оценкой надежности по тренду. Также разработаны параллельные алгоритмы расстановки стоков. Разработаны модели для оценки надежности ребер в случайных графах, моделирующих топологию беспроводных сетей с помехоустойчивыми каналами.

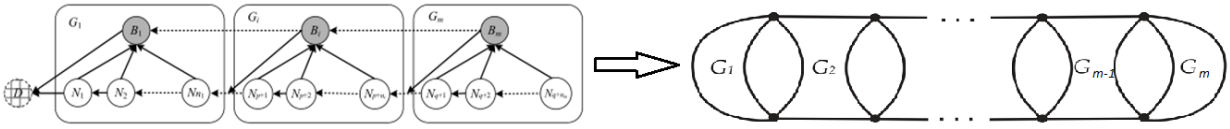

Рис. 13 – ЛБСС и схематический граф ее структуры с продольными сечениями

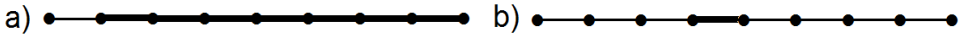

Рис. 14 – Оптимальное по вероятности установления произвольного парного соединения размещение одного слабого или "сильного" ребра

Публикации

1. Ильин, В. П. Итерационные предобусловленные методы в подпространствах Крылова: тенденции XXI века // ЖВМиМФ. 2021. Т. 61, № 11. С. 1786–1813. DOI: 10.31857/S0044466921110090.

2. Gurieva, Y. L., Il’in, V. P. Conjugate direction methods for multiple solution of SLAEs // J. of Math. Sci. 2021. Vol. 255, No. 3. P. 231–241. DOI: 10.1007/s10958-021-05365-8.

3. Gololobov, S. V., Il'in V. P., Krylov, A. M., Petukhov, A. V. Nested alternating – triangular incomplete factorization methods // J. of Phys.: Conf. Ser. Vol. 1715, International Conference "Marchuk Scientific Readings 2020" (MSR-2020), dedicated to the 95th anniversary of the birthday of RAS Academician Guri I. Marchuk, Novosibirsk, Oct. 19–23, 2020. Art. Num. 012003. DOI: 10.1088/1742-6596/1715/1/012003.

4. Il’in, V. P. On moment methods in Krylov subspaces // Dokl. Math. 2020. Vol. 495. P. 38–43. DOI: 10.1134/S1064562420060241.

5. Debelov, V. A., Dolgov, N. Yu. Spherical lenses for virtual optic experiments // Sci. Visual. 2021. Vol. 13, No. 4. P. 111–126. DOI: 10.26583/sv.13.4.09.

6. Свидетельство № 2021614574. Программа для ЭВМ "Программный комплекс SphL" : св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ / Дебелов В. А., Долгов Н. Ю. Дата регистрации: 26.03.2021.

7. Ivanov, M. I., Kremer, I. A., Laevsky, Yu. M. Numerical model of gravity segregation of two-phase fluid in porous media based on hybrid upwinding // RJNAMM. 2021. Vol. 36, iss. 1. P. 17–32. DOI: 10.1515/rnam-2021-0002.

8. Ivanov, M. I., Kremer, I. A., Laevsky Yu. M. Mesh filtration problems with a two-flow structure of phase velocities // J. of Phys.: Conf. Ser. Vol. 1715, International Conference "Marchuk Scientific Readings 2020" (MSR-2020), dedicated to the 95th anniversary of the birthday of

RAS Academician Guri I. Marchuk, Novosibirsk, Oct. 19–23, 2020. Art. Num. 012006. Doi: DOI: 10.1088/1742-6596/2099/1/012006.

9. Криворотько, О. И., Кабанихин, С. И., Зятьков, Н. Ю., Приходько, А. Ю., Прохошин Н. М., Шишленин М. А. Математическое моделирование и прогнозирование COVID-19 в Москве и Новосибирской области // СибЖВМ. 2020. Т. 23, № 4. С. 395–414. DOI: 10.15372/SJNM20200404. (Q3).

10. Кабанихин, С. И., Криворотько, О. И. Математическое моделирование эпидемии Уханьского коронавируса COVID-2019 и обратные задачи // ЖВМиМФ. 2020. Т. 60, № 11. С. 1950–1961. DOI: 10.31857/S004446692011006X. (Q2).

11. Криворотько, О. И., Кабанихин, С. И., Сосновская, М. И., Андорная, Д. В. Анализ чувствительности и идентифицируемости математических моделей распространения эпидемии COVID-19 // Вавиловский журн. генетики и селекции. 2021. Т. 25(1). С. 82–91. DOI: 10.18699/VJ21.010. (Q4).

12. Krivorotko, O., Sosnovskaia, M., Vashchenko, I., Kerr, C., Lesnic, D. Agent-based modeling of COVID-19 outbreaks for New York state and UK: parameter identification algorithm // Infectious Disease Modelling. 2022. Vol. 7. P. 30–44. DOI: 10.1016/j.idm.2021.11.004. (Q1).

13. Svit, K., Kireev, S., Sabelfeld, K. A stochastic model, simulation, and application to aggregation of cadmium sulfide nanocrystals upon evaporation of the Langmuir – Blodgett matrix // Monte Carlo Meth. and Appl. 2021. Vol. 27, No. 4. P. 289–299. DOI: 10.1515/mcma-2021-2100.

14. Averina, T. A., Rybakov, K. A. Maximum cross section method in the filtering problem for continuous systems with Markovian switching // RJNAMM. 2021. Vol. 36, No 3. P. 127–137. DOI: https://doi.org/10.1515/rnam-2021-0011.

15. Medvedev, I. N., Mikhailov G. A. New correlative randomized algorithms for statistical modeling of radiation transfer in stochastic medium // RJNAMM. 2021. Vol. 34, No. 1. P. 43–55. DOI 10.1515/rnam-2021-0018.

16. Михайлов, Г. А., Медведев И. Н. Новый корреляционно рандомизированный алгоритм оценки влияния стохастичности среды на перенос частиц // ДАН. Матем., информ., проц. управл. 2021. Т. 498, № 1. С. 55–58. DOI: 10.1134/S1064562421030133.

17. Golubeva, E., Kraineva, M., Platov, G., Iakshina, D., Tarkhanova M. Marine heatwaves in Siberian Arctic Seas and adjacent region // Remote Sens. 2021. Vol. 13, iss. 21. P. 4436. DOI: 10.3390/rs13214436. (WoS, Scopus Q1)

18. Golubeva, E., Platov, G., Kraineva, M. Numerical modeling of the consequences of "marine heatwaves" in the North Pacific for the Arctic Ocean // EGU General Assembly 2021, Apr. 19–30, 2021. EGU21-6921. DOI: 10.5194/egusphere-egu21-6921.

19. Kraineva, M., Golubeva, E. Formation of heat anomalies in the Laptev Sea (2000–2020 years), Processes in GeoMedia. 2021. Vol. V. Springer Geology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85851-3_19.

20. Kazantsev, I. G., Mukhametzhanova, B. O., Iskakov, K. T. Detection of the corner structures in 3D arrays using scalable masks // Сиб. Электрон. Матем. Изв. 2021. № 1. С. 61–71. DOI 10.33048/semi.2021.18.006 (Q2 Scopus).

21. Kopylova, O., Dobrorodny, V., Khairetdinov, M. Optimization of frequency parameters choice in the polarization analysis of transport noise // Proc. of 17th Intern. Asian School-Semin.

"Optimization Problems of Complex Systems 2021" (OPCS 2021), Moscow – Novosibirsk – Almaty (Kazakhstan), Sep. 13–17, 2021. P. 44–48. Publication in IEEE Xplore. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588728.

22. Kopylova, O. A., Khairetdinov, M. S. Geoecological risks of technogenic noise at low frequencies. // Information Innovative Technologies: Materials of the Intern. sci.-pract. conf. Prague (Czech Rep.), Apr. 26–30, 2021 / Ed. S. U. Uvaysov, I. A. Ivanov. M.: Assoc. of graduates and employees of AFEA named after prof. Zhukovsky, 2021. P. 132–138. ISSN 2542-1824. [Electron. resource]. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46447634.

23. Урев, М. В. Новая смешанная вариационная задача и система Стокса с сингулярной правой частью // ЖВМиМФ. 2021. Т. 61, № 12. С. 227–234. DOI: 10.31857 /S0044466921120152. (Q2 Web of Science, Scopus).

24. Voronina, T. A., Voronin, V. V. A Study of implementation features of the r-solution method for tsunami source recovery in the case of the Illapel tsunami 2015 // Pure and Applied Geophysics. 2021. Vol. 178. P. 4853–4863. https://doi.org/10.1007/s00024-021-02843-7.

25. Boronina, M. A., Chernykh, I. G., Dudnikova, G. I., Genrikh, E. A., Vshivkov, V. A. Mathematical modelling of beam dynamics in diamagnetic confinement regime of open trap // J. of Phys.: Conf. Ser. 2028, 012020, 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/2028/1/012020.

26. Belyaev, N., Perepelkin, V. High-efficiency specialized support for dense linear algebra arithmetic in LuNA system // Malyshkin V. (eds.) Parallel Computing Technologies (PaCT 2021). Lect. Notes in Comput. Sci. 2021. Vol. 12942. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86359-3_11.

27. Д. А. Мигов, К. А. Волжанкина, А. С. Родионов. Алгоритмы структурной оптимизации сетей различного назначения с использованием кумулятивных оценок границ надежности // Автометрия. 2021. С. 19–29.

[Migov, D. A., Volzhankina, K. A., Rodionov, A. S. Genetic algorithms for drain placement in wireless sensor networks optimal by the reliability criterion // Optoelectron. Instrum. and Data Proc. 2021. Vol. 57, No 3. P. 240–249. DOI: 10.3103/S8756699021030110.] (WoS, Scopus Q3).

28. Migov, D. A., Snytnikova, T. V., Rodionov, A. S., Kanevsky V. I. Network reliability calculation with use of GPUs // PaCT 2021. LNCS 12942. 2021. P. 210–219. DOI:10.1007/978-3-030-86359-3_16. P. 210–219. (WoS, Scopus Q2)

29. Shakhov, V. V., Migov D. An effective method for ensuring the reliability of a critical infrastructure monitoring network // LNCS. 2021. Vol. 12956. P. 526–535. DOI: 10.1007/978-3-030-87010-2_39 (WoS, Scopus Q3).

30. Tarasov, A., Migov, D. Parallel genetic algorithm for sink nodes placement to maximize network reliability // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 126–129. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588716. (Scopus).

31. Rodionov, A. Optimal structures of random graphs // Proc. of the IEEE 17th Intern. Asian school-seminar "Optimization Problems of complex systems", Novosibirsk, Sept. 13–17, 2021. P. 96–99. DOI: 10.1109/OPCS53376.2021.9588692.

32. Shakhov, V., Yurgenson, A. Towards edge computing based monitoring for smart ports // Comput. Sci. and Its Appl. (ICCSA 2021). P. 262–271. DOI:10.1007/978-3-030-87016-4_20.