

1. Математические науки 2. Вычислительная математика "Тема №1 "Математическое моделирование, численные методы и высокопроизводительные информационно-вычислительные технологии для решения задач переноса лучистой энергии и тепломассопереноса в сложнопостроенных многофазных средах" (№ 0315-2019-0001)

Метод модификации программ расчета физически корректных изображений 3D сцен для учета явления интерференции

Д.т.н. Дебелов В.А., к.ф.-м.н. Васильева Л.Ф.

Одна из основных тенденций исследований и разработок в области фотореалистической визуализации – обеспечение все большей степени физической корректности используемых математических моделей взаимодействия света с объектами сцены. Это выражается в более подробной спецификации материала объекта сцены, то есть его оптических характеристик, включая источники освещения, и в соответствующем усложнении информационной нагрузки трассирующего луча для учета особенностей математической модели.

Для расчета изображений с интерференцией по сравнению с существующими реализациями разработаны новые спецификации оптических материалов и соответствующая информационная нагрузка трассирующего луча, которые учитывают: когерентность лучей света, фазу колебаний световой волны, поляризацию. Предлагаемый метод модификации программ расчета изображений проверен для сцен с оптически изотропными и анизотропными объектами, см. рис. 1.

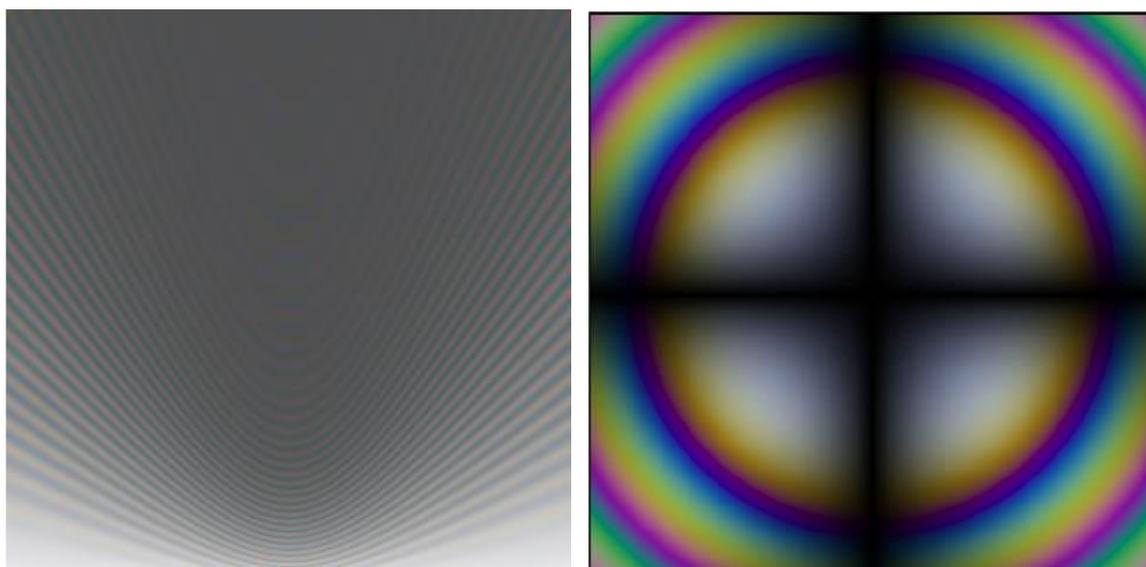


Рис.1. Интерференция в сцене с изотропным прозрачным объектом (слева). Изображение сцены с оптически одноосным кристаллом кальцита (интерференционная коноскопическая фигура)

Debelov, V.A., Vasilieva, L.F. Visualization of interference pictures of 3D scenes including optically isotropic transparent objects // Scientific Visualization. 2020. – Vol. 12, No. 3. – P. 119 – 136. DOI: 10.26583/sv.12.3.11 (Scopus Q3)

Исследование асимптотики среднего потока частиц с размножением в случайной среде с приложением для анализа мировой статистики COVID-19

Чл.- корр. РАН Михайлов Г.А., к.ф.-м.н. Лотова Г.З.

Плотность потока частиц в размножающей среде асимптотически экспоненциальна по времени t с показателем Lt . Если среда случайна, то параметр L случаен и для оценки временной асимптотики среднего (по реализациям среды) потока частиц J_t можно осреднять экспоненту по распределению L . В предположении гауссовости этого распределения таким образом получается асимптотическая «сверхэкспоненциальная» оценка $J_t \sim \exp(t EL + t^2 DL/2)$. Для численной проверки такой оценки разработано вычисление логарифмической производной среднего потока и вероятностных моментов случайного параметра L методом Монте-Карло. Дано приложение указанной новой формулы к исследованию пандемии COVID-19.

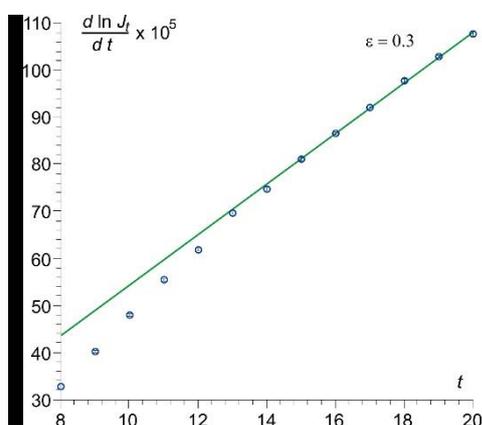


Рис. 1. Оценки $d \ln J_t / dt$ и соответствующей регрессии $at + b$ для размножения частиц в случайно неоднородном шаре.

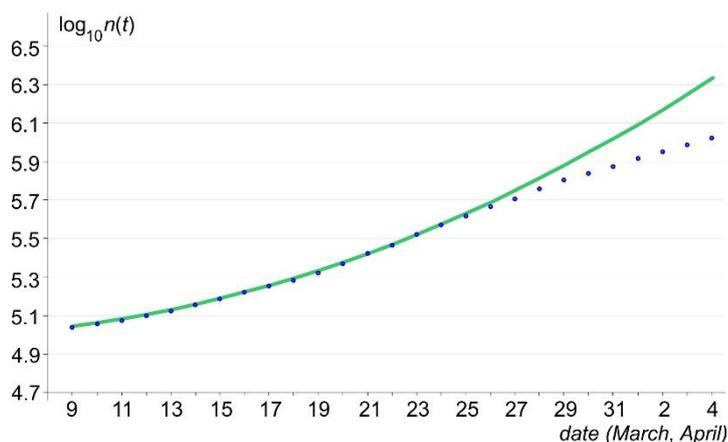


Рис. 2. Число заболевших COVID-19 в марте 2020 г. во всем мире (точки) и сверхэкспоненциальная оценка.

Публикации:

- [1] Михайлов Г. А., Лотова Г. З. Алгоритмы метода Монте-Карло для исследования временной асимптотики потока частиц с размножением в случайной среде // Доклады Российской Академии наук. Математика, информатика, процессы управления, том 490, №1, с. 47-50 (2020) DOI: 10.7868/S2686954320010051
- [2] Galiya Z. Lotova and Guennady A. Mikhailov, The study of time dependence of particle flux with multiplication in a random medium // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. Vol. 35, Iss. 1, (2020), pp.11-20, DOI: 10.1515/rnam-2020-0002
- [3] Galiya Z. Lotova and Guennady A. Mikhailov, Numerically statistical investigation of the partly super-exponential growth rate in the COVID-19 pandemic (throughout the world) // Journal of Inverse and Ill-posed Problems. <https://doi.org/10.1515/jiip-2020-0043>

Пленарный доклад:

Михайлов Г.А., Лотова Г.З. «Исследование асимптотики среднего потока частиц с размножением в случайной среде с приложением для анализа мировой статистики COVID-

19» на Международной конференции "Марчуковские научные чтения - 2020", 19-23 октября 2020 г., ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск.

Стохастический алгоритм моделирования диффузионных потоков частиц и времени их достижения экстремально малых целевых поверхностей на основе введения искусственного дрефта.

Д.ф.-м.н. Сабельфельд К.К.

Задача о вычислении потока частиц на удаленные и экстремально малые целевые поверхности хорошо известна своей сложностью, и встречается в самых разных прикладных областях, например, в фотонике, при исследовании квантовой эффективности полупроводниковых материалов, в задачах иммунологии и клеточного обмена и многих других. В данной работе предложен стохастический алгоритм для расчета потоков и времени достижения частицами малых целевых объектов, основанный на введении искусственного дрефта, направленного на эти объекты. Численные эксперименты показали высокую эффективность метода. Этим методом были решены задачи о нерадиационном захвате экситонов краевыми дислокациями в кристаллах (Рис.1а) и времена достижения рецепторов на поверхности Т-клеток антигенами и запуска процесса формирования антител (Рис. 1б). Эти исследования опубликованы [1,2] и поддержаны РНФ, проект 19-11-00019.

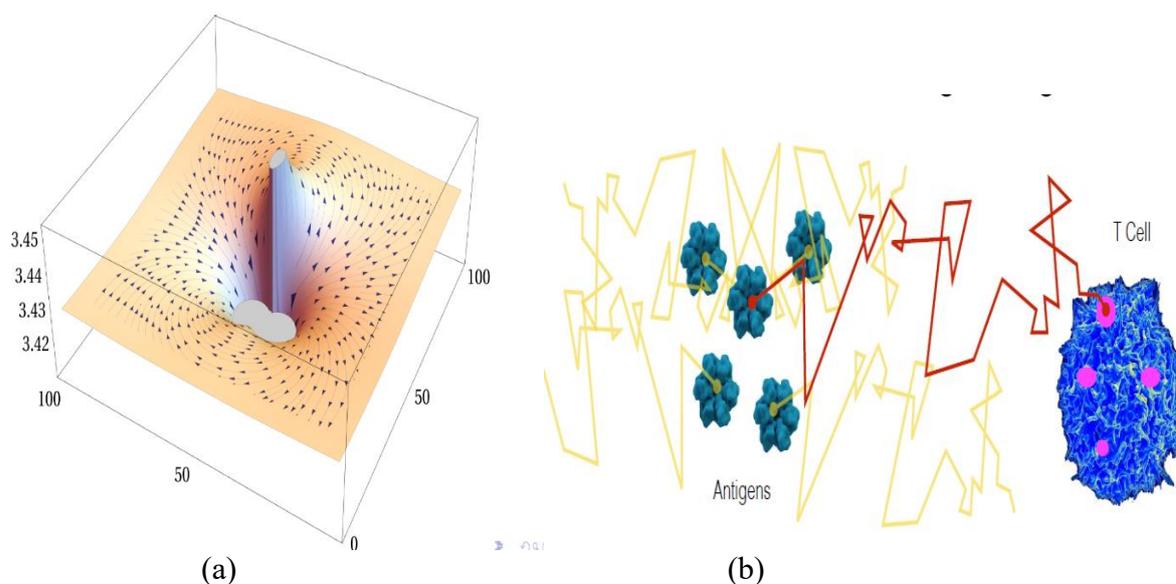


Рис.1. Иллюстрации к задаче о малых потоках: а - Захват экситонов пьезоэлектрическим полем вокруг дислокаций в кристаллах, б – диффузионная подвижность антигенов с захватом на рецепторах Т-клеток.

1. Sabelfeld K.K. Stochastic simulation algorithms for solving narrow escape diffusion problems by introducing a drift to the target, *Journal of Computational Physics*, v. **410** (2020), Article 109406.
2. Sabelfeld K.K. Mesh free stochastic algorithms for systems of diffusion-advection-reaction equations and anisotropic diffusion flux calculations, *Probabilistic Engineering Mechanics*, v.**61** (2020), Article ID 103065.

Создание и численное решение модели СДУ для теоретического исследования теплофизических параметров систем кабины экипажа самолёта.

Д.ф.-м.н. Гусев С.А. (ИВМиМГ СО РАН), д.т.н., Николаев В.Н. (НГТУ).

Количественное и качественное усложнение бортового оборудования увеличивает значимость решения задачи определения теплового состояния кабины, при этом возрастает роль оценки теплофизических параметров систем кабины экипажа, в том числе расхода воздуха в системах кондиционирования и системы вентиляции, характеристики электротермической и струйной защиты от запотевания окна кабины, а также толщина изоляции в кабине. В данной работе проведено математическое моделирование теплового состояния находящегося под давлением термически изолированного отсека (кабины экипажа) с сотовыми конструкциями. Для этого была разработана новая модель СДУ для уравнения теплопроводности и предложено решение прямой и обратной задач теплообмена. Прямая задача решалась методом Галеркина с использованием кусочно-линейного базиса, численной схемы аппроксимации второго порядка типа Розенброка для неавтономных систем, комбинированного метода блуждания по сферам и модифицированного метода Эйлера. Решение обратной задачи теплопередачи проводилось квазиньютоновским методом Бройдена - Флетчера - Гольдфарба - Шанно в сочетании с методом Ньютона. С помощью ковариационной матрицы ошибок оценки параметров и квантиля χ^2 - распределения вероятностей $1-\alpha$ построены доверительные интервалы оценок параметрической идентификации.

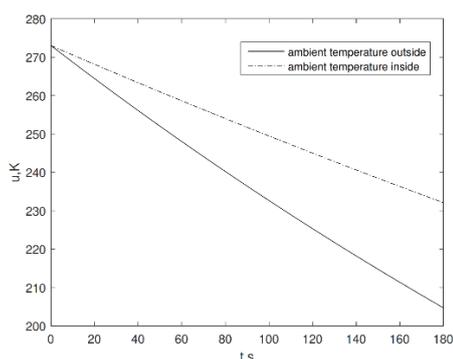


Рис.1. Изменение температур окружающей среды (сплошная линия) и внутренней температуры (пунктир)

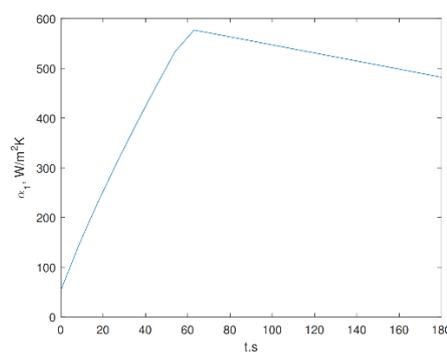


Рис.2. График изменение коэффициента теплопроводности.

Публикации:

1. S.A. Gusev, V.N. Nikolaev *Numerical and Statistical Simulation Technique for the Aircraft Wing Thermal State in Icing Conditions*. - AIP Conference Proceedings, 2020 (Труды конференции ICMAR 2020, 1-7 ноября 2020г., ИТПМ СО РАН, Новосибирск, Россия), принято в печать, Web of Science, Scopus
2. S.A. Gusev, V.N. Nikolaev *Theoretical Studies Of The Cockpit Systems Thermophysical Parameters Using Stochastic Differential Equations*. - AIP Conference Proceedings, 2020 (Труды конференции ICMAR 2020, 1-7 ноября 2020г., ИТПМ СО РАН, Новосибирск, Россия), принято в печать, Web of Science, Scopus

Новое аналитическое решение уравнения Клейна-Гордона. Объяснение эффекта возникновения мгновенного вступления при землетрясениях.

д.ф.-м.н. Фатьянов А.Г., чл.-корр. РАН Собисевич А.Л.

В последнее время в периоды формирования очаговых структур крупных сейсмических событий и в момент начала землетрясения (главного толчка) современные измерительные системы фиксируют “мгновенное” возмущение, предваряющее Р-волны в точке наблюдения. Данный эффект в западной литературе объясняется возникновением гравитационных волн Эйнштейна, распространяющихся со скоростью света.

Известные уравнения сейсмогравитации сводятся к уравнению Клейна-Гордона (КГ). Получено новое аналитическое решение уравнения КГ в резонансной области. Оно состоит из двух слагаемых. Первое – это мгновенное сейсмогравитационное возмущение; второе – сейсмогравитационная волна, распространяющаяся со скоростью сейсмического процесса (со скоростью Р-волн). Из рисунка 1 (слева) видно возникновение мгновенного вступления при $t = 0$. То есть получено рациональное объяснение этого эффекта в рамках известных моделей сейсмогравитации, в параметры которых скорость света не входит.

Новая физика явления открывает возможность повышения надежности предсказания крупных сейсмических катастроф с помощью регистрации длиннопериодных сейсмогравитационных возмущений, которые возникают гораздо раньше прямой Р-волны.

Результат получен совместно ИВМиМГ СО РАН и ИФЗ РАН.

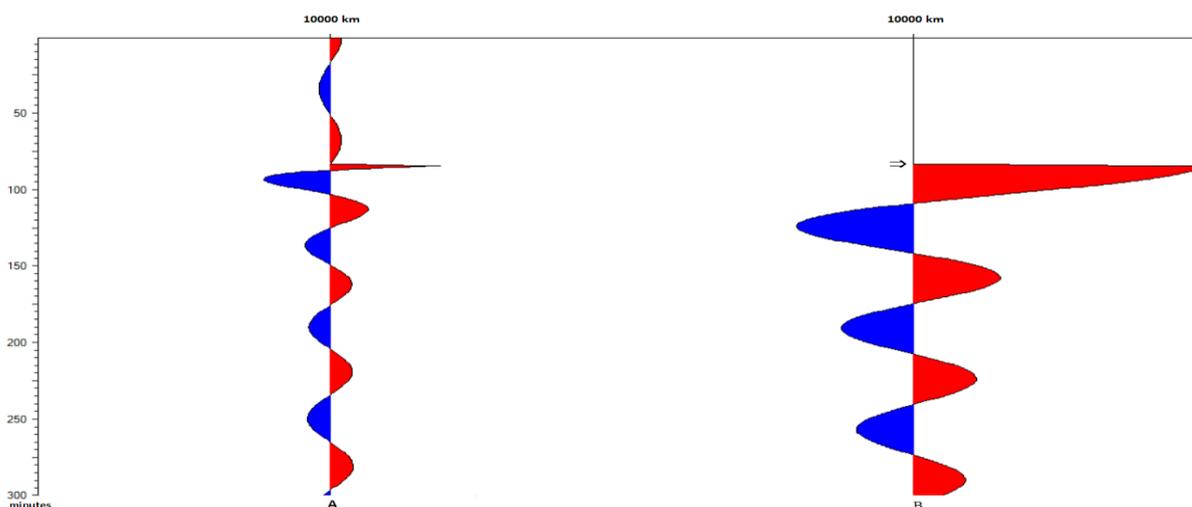


Рис. 1 Полное сейсмогравитационное поле в резонансной зоне (слева) и волновое поле для среды без гравитации (справа) на расстоянии 10000 км от главного толчка. Стрелкой обозначен момент прихода Р-волны. По вертикали время (возрастает вниз).

Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Фатьянов А.Г. Длиннопериодные сейсмогравитационные процессы в литосфере. М.: ИФЗ РАН, 2020. 228с.

Собисевич Л.Е., Фатьянов А. Г. Аналитический анализ длиннопериодных сейсмогравитационных процессов. Новые вызовы в сейсмологии. Международная конференция «Марчуковские научные чтения 2020». 19-23 октября 2020 г., Новосибирск, Россия.

Новый алгоритм обнаружения угловых структур на изображениях с использованием иерархии масок свертки

Д.ф.-м.н. Казанцев И.Г.

Разработаны новые семейства масок свертки для выделения угловых структур на цифровых изображениях. В отличие от традиционных масок Кирша, Лапласа и др., разработанные семейства содержат маски произвольного размера, что позволяет выделять углы произвольной величины на зашумленных изображениях. Получены аналитические представления масок произвольных размеров для углов в 45, 90, 135 градусов, показана возможность представления маски для выделения заданного угла как линейной комбинации масок для других углов. Конструкция семейства масок делает возможным использование результата применения маски меньшего размера при применении маски большего размера, что позволяет эффективно обрабатывать изображение последовательностью масок. Результат может применяться для поиска точек интереса в машинном зрении, обработке данных аэрокосмосъемки и кристаллографии.

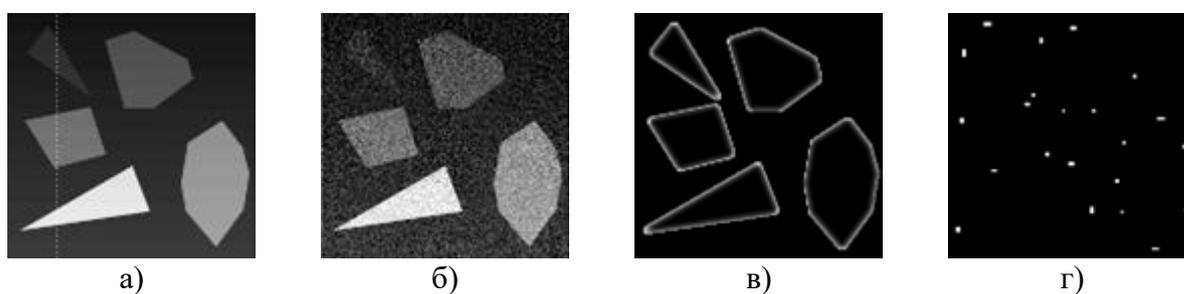


Рис.1 Выделение угловых структур различной яркости: а) тестовое 256-тоновое изображение; б) добавление к тестовому изображению равномерного случайного шума $\sigma = 25$; в) результат применения к зашумленному изображению маски для выделения угла 45 градусов размером 7×7 пикселей; г) выделение пикселей, в которых значение оператора выделения угловой структуры превысило оптимальный порог.

Kazantsev, I. G.; Mukhamedzhanova, B. O.; Iskakov, K. T., Mirgalikyzy, T. Detection of the Corner Structures in Images by Scalable Masks // JOURNAL OF APPLIED AND INDUSTRIAL MATHEMATICS, Том: 14, Выпуск: 1, Стр.: 73-84. Опубликовано: JAN 2020 DOI: 10.1134/S1990478920010081.

1. Математические науки 3. Математическое моделирование Тема №4 "Развитие методов математического моделирования для задач физики атмосферы, гидросферы и окружающей среды с учетом природных и техногенных воздействий" (№ 0315-2019-0004)

Оценка влияния неопределенности климатических данных для ледниковых циклов на анализ эволюции многолетнемерзлых грунтов.

К.ф.-м.н., Малахова В.В.

Для анализа эволюции многолетнемерзлых пород (ММП) и зоны стабильности гидратов метана арктического шельфа и оценки их современного состояния необходимо построение палеогеографических сценариев развития климатических условий в регионе. Между имеющимися реконструкциями температуры для ледниковых циклов плейстоцена имеются значительные количественные различия. Получены оценки чувствительности результатов численного моделирования термического состояния многолетнемерзлых грунтов к неопределенности палеоклиматических реконструкций температуры воздуха и уровня

океана с использованием модели теплофизических процессов в грунте с учетом фазовых переходов. Неопределенность, связанная с выбором данных климатических палеореконокструкций, в терминах современной глубины нижней границы многолетнемерзлых грунтов на шельфе, может достигать нескольких десятков метров, рис.1. Несмотря на заметные различия между используемыми наборами данных, коэффициент неопределенности отклика мощности многолетнемерзлого слоя и зоны стабильности метангидратов составил менее 0.3 за исключением изолированных интервалов времени и/или наиболее глубоких областей шельфа.

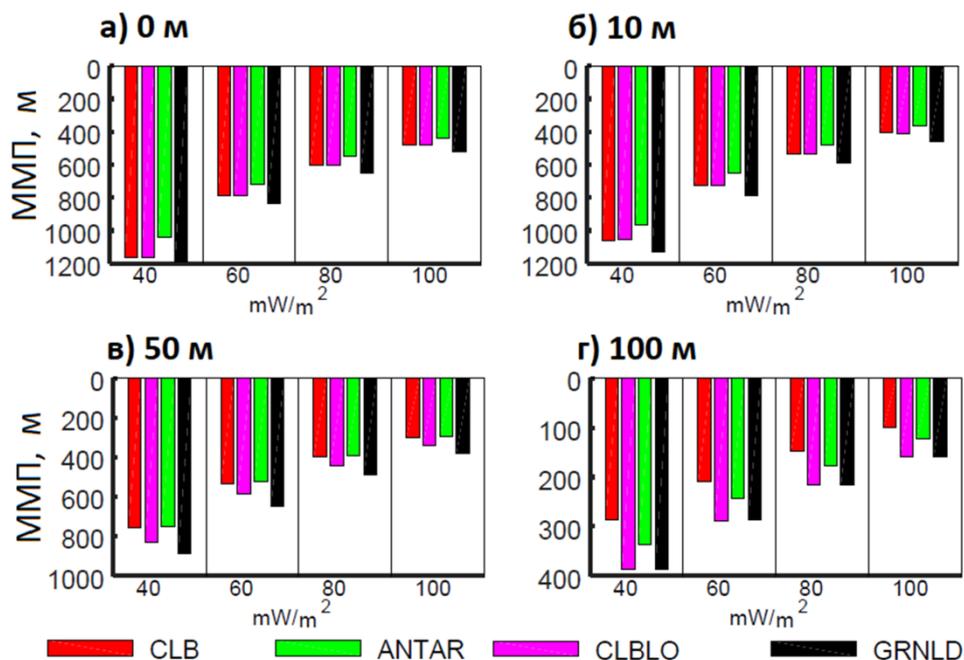


Рис.1 Оценки современной мощности мерзлоты шельфа (с соответствующей глубиной воды (а) 0 м, (б) 10 м, (в) 50 м и (г) 100 м), полученные при используемых палеогеографических сценариях для различных значений интенсивности геотермального теплового потока 40-100 мВт/м².

Malakhova V.V., Eliseev A.V. Uncertainty in temperature and sea level datasets for the Pleistocene glacial cycles: Implications for thermal state of the subsea sediments // Global and Planetary Change. 2020, 192: 103249. [Опубликовано](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103249) September 2020 <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103249> (WoS (IF 4.1, Q1))

Алгоритм идентификации коэффициентов в нестационарных моделях продукции-деструкции на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений

К.ф.-м.н., Пененко А.В.

Модели продукции-деструкции применяются в широком спектре приложений, в том числе при моделировании нелинейных биологических и химических процессов. В прикладных задачах такие модели могут содержать неизвестные параметры, требующие уточнения по имеющимся данным измерений. Предлагаемый алгоритм [1] является обобщением алгоритма на основе операторов чувствительности и ансамблей решений сопряженных уравнений, разработанного для идентификации источников в моделях адвекции-диффузии-реакции [2] и примененного для идентификации источников загрязнения атмосферы. При этом обратная задача представляется в виде семейства квазилинейных операторных

уравнений, которые можно затем решать и анализировать любыми подходящими средствами, например, методами сингулярного разложения. Вследствие ансамблевого характера алгоритма его выполнение можно естественно распараллелить. На рис. 1 показано применение алгоритма к модельной задаче идентификации коэффициентов модели Лоренц'63 по точечным измерениям элементов функции состояния. Кроме того, оператор чувствительности позволяет разложить функционал невязки обратной задачи для анализа его локальных минимумов (рис. 1б).

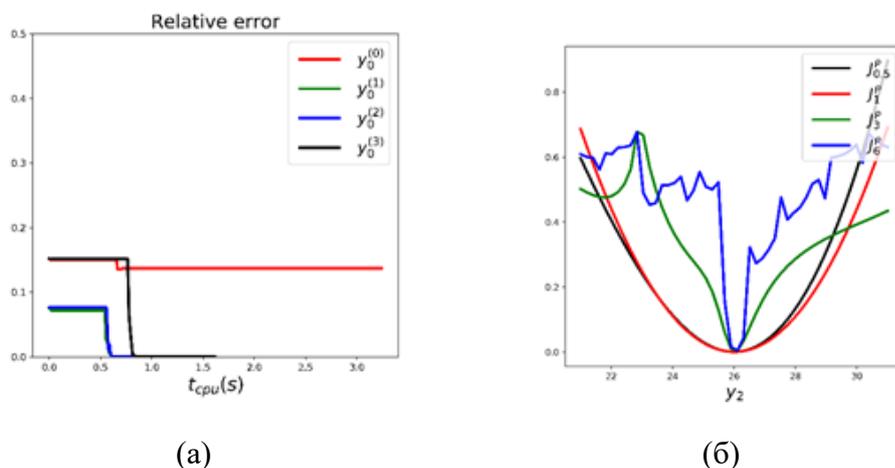


Рис.1. Идентификация коэффициентов модели Лоренц'63 по точечным измерениям элементов функции состояния. Убывание относительной ошибки итераций в зависимости от начального приближения для некоторого набора данных измерений (а); и вид функционала невязки для одного из искомых параметров в зависимости от величины ансамбля решений сопряженных уравнений (количества учитываемой информации) (б).

Публикации:

1. Penenko, A. V.; Mukatova, Z. S. & Salimova, A. B. Numerical study of the coefficient identification algorithm based on ensembles of adjoint problem solutions for a production-destruction model // *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, published online ahead of print 2020 doi: 10.1515/ijnsns-2019-0088
2. Penenko, A. Convergence analysis of the adjoint ensemble method in inverse source problems for advection-diffusion-reaction models with image-type measurements // *Inverse Problems & Imaging*, 2020, 14, 757-782 doi: 10.3934/ipi.2020035

I. Математические науки 3. Математическое моделирование Тема №5 "Методы создания, исследования и идентификации математических моделей с помощью суперкомпьютеров" (№ 0315-2019-0005)

Цифровой керн: моделирование акустической эмиссии в образцах керна

д.ф.-м.н. Решетова Г.В.

В настоящее время в нефтегазовой отрасли начинает активно применяться метод Акустической Эмиссии (АЭ) для изучения свойств кернавого материала. Это связано, в первую очередь, с появлением современных установок для лабораторных исследований, снабженных многоканальными системами регистрации. К сожалению, на российском рынке пока нет доступного отечественного оборудования аналогичного типа. Данная

работа была выполнена совместно с АО «Геологика» (Новосибирск), занимающейся созданием подобных установок. Цель исследования заключается в оценке параметров, которые должны быть заложены при создании отечественной измерительной системы сбора данных акустической эмиссии и разработке прототипа программного обеспечения для моделирования процесса АЭ на реальных образцах керна стандартного размера.

Был реализован метод зеркального обращения времени, который обеспечил разработку нового подхода для локализации и определения момента «включения» источников акустической эмиссии на основе вычисления «накопленной» упругой энергии. Важной особенностью предложенной методики является её устойчивость по отношению к шумам и высокая разрешающая способность, обеспечивающая возможность определения оптимальной геометрии приёмников при проектировании.

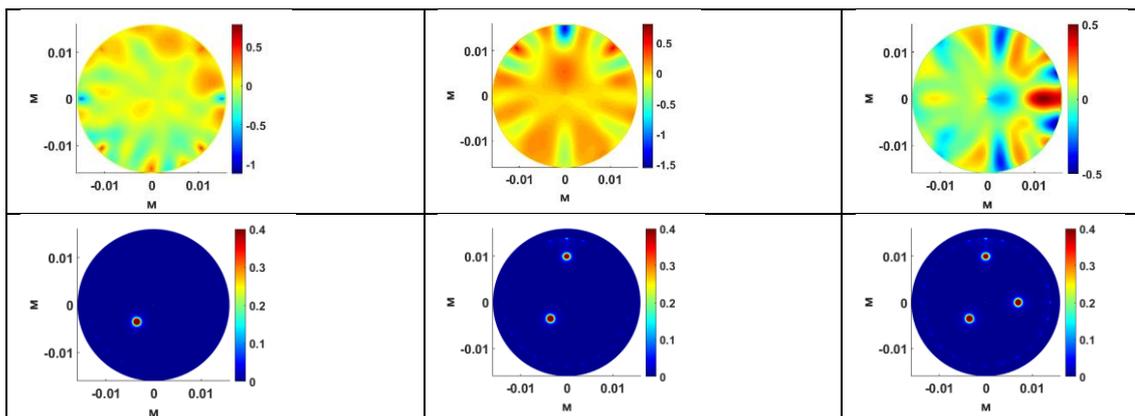


Рис. Результаты моделирования. Сравнение снимков волнового поля (вверху) и предложенного метода суммарной энергии (внизу) для локализации трех источников АЭ.

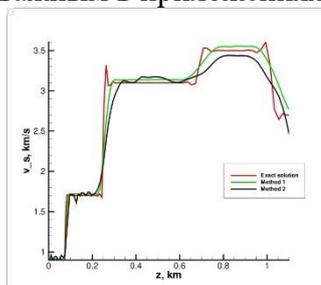
Публикации:

1. Решетова Г. В., Анчугов А. В. Цифровой керн: моделирование акустической эмиссии в целях локализации её источников методом обращения волнового поля в обратном времени // Геология и геофизика, 2020, (WoS), DOI:10.15372/GiG2020148.
2. Решетова Г.В. Оценка разрешающей способности метода обращения времени при восстановлении событий акустической эмиссии в образцах керна // Интерэкспо ГЕО-Сибирь - "Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология": Материалы XVI международной научной конференции (г. Новосибирск, 20-24 апреля 2020 г.), Стр. 579-589. (РИНЦ) DOI: 10.18303/B978-5-4262-0102-6-2020-063
3. Г.В. Решетова, А.В. Анчугов, В.А. Поздняков. Реконструкция событий акустической эмиссии в образцах керна с помощью метода зеркального обращения времени // Доклад и труды на 9-й международной геолого-геофизической конференции «Санкт-Петербург 2020. Геонауки: трансформируем знания в ресурсы», (16-19 ноября 2020 г) (Scopus).
4. 2 место в XXV Международном Конкурсе Научных Работ РосНаука (31 октября 2020 года) по направлению «Научные статьи по наукам о Земле и космологии». Статья Решетова Г.В., Анчугов А.В. Цифровой керн: моделирование акустической эмиссии в целях локализации её источников методом обращения волнового поля в обратном времени // Геология и геофизика, 2020.

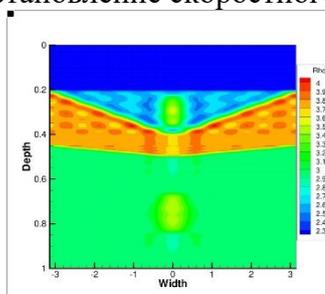
Новые многомерные аналоги уравнений Гельфанда-Левитана-Крейна в геофизике и томографии: теория и комплексы программ

Член-корреспондент РАН С.И. Кабанихин, д.ф.-м.н. М.А. Шишленин, к.ф.-м.н. Н.С. Новиков

Получены новые многомерные аналоги уравнений Гельфанда-Левитана-Крейна в цилиндрической системе координат и реализованы новые алгоритмы решения многомерных задач определения коэффициентов для уравнений акустики и сеймики по площадным системам наблюдений, основанный на решении систем интегральных уравнений (подход Гельфанда – Левитана – Крейна). Разработаны вариации метода в прямоугольных и цилиндрических координатах, предназначенные для решения задач, возникающих в геофизике и акустической томографии соответственно. Особенности метода является отход от оптимизационной схемы решения задач идентификации параметров и возможность применения алгоритма без использования априорной информации, что является очень важным в приложениях.



Пример – восстановление скоростного разреза среды



Пример – определение включений в среду с различным строением слоёв (двумерный срез).

Публикации:

Izzatullah, M., Peter, D., Kabanikhin, S., Shishlenin, M. Bayes Meets Tikhonov: Understanding Uncertainty Within Gaussian Framework for Seismic Inversion (2021) Studies in Systems, Decision and Control, 320, pp. 121-145.

S.I. Kabanikhin, M.A. Shishlenin, N.S. Novikov Gelfand-Levitan-Krein method in one-dimensional elasticity inverse problem. Journal of Physics Conference Series “Inverse Problems”. 2020 (to appear).

M.A. Shishlenin, M. Izzatullah, N.S. Novikov. Comparative Study of Acoustic Parameter Reconstruction by using Optimal Control Method and Inverse Scattering Approach. Journal of Physics Conference Series “Inverse Problems”. 2020 (to appear).

Распределение годовых максимумов высот цунами в Мировом океане по типам источников.

Д.ф.-м.н. В.К. Гусяков

Все существующие службы предупреждения о цунами ориентированы исключительно на прогноз цунами сейсмического происхождения, составляющих порядка 75% от всех случаев цунами, зарегистрированных в Мировом океане за исторический период наблюдений (более 4000 лет). Между тем, анализ содержания глобального каталога наблюдений цунами за инструментальный период (последние 120 лет) показывает, что среди годовых максимумов высот волн около 36% (т.е. более одной трети) составляют цунами несейсмического происхождения (вулканогенные, обвальные и

метеорологические). В частности, обвальные цунами ответственны за 90% максимальных (более 50 м) наблюдавшихся высот. В некоторых районах, таких как, например, восточное побережье США, Желтое море, Адриатическое море, западное побережье Австралии, метеорологические цунами, наблюдаются намного чаще чем сейсмогенные и являются основным источником ущерба. Полученный результат анализа инструментального каталога показывает, что для обеспечения безопасности населения и снижения ущерба возможности служб оперативного прогноза цунами должны быть расширены путем создания средств и методов прогноза цунами несейсмического происхождения.

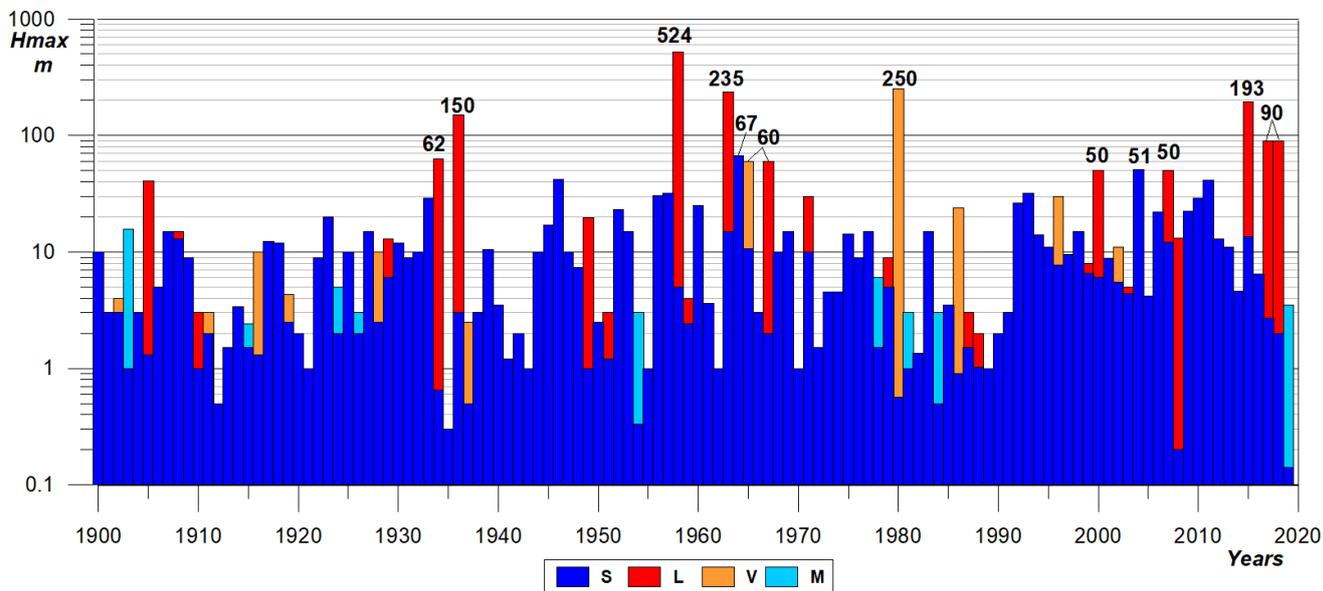


Рис.1. Распределение годовых максимумов высот цунами, наблюдавшихся в Мировом океане за инструментальный период (с 1900 по 2019 гг.). Цветом показан тип источника цунами: S - сейсмогенные, L - обвальные, V - вулканогенные, M - метеорологические. Для высот превышающих 50 м показаны их точные значения в метрах.

Публикации:

Gusiakov V.K. Global occurrence of large tsunamis and tsunami-like waves within the last 120 years (1900–2019). *Pure Appl. Geophys.* 2020, 177, 1261–1266 . <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02437-9>

I. Математические науки. 3. Математическое моделирование "Тема №6 "Развитие теории и разработка математических моделей и методов системного анализа, оптимизации и мониторинга сложных систем"" (№ 0315-2019-0006)

Новые методы анализа и оптимизации беспроводных самоорганизующихся сетей
К.ф.-.м.н. Шахов В.В., к.т.н. Соколова О.Д., Рудометов С. В., Ткачев К. В.

Для решения ряда задач анализа и оптимизации беспроводных самоорганизующихся сетей предложены новые методы, основанные на теории телетрафика, исследовании операций, теории графов, имитационном моделировании. Разработанные математические и программные средства, в отличие от ранее предложенных подходов, позволяют оптимизировать функционал сетевых узлов и протоколов при наличии интерференции, нестационарной топологии сети, и конфликтующих целевых функций. Также обоснованы серьезные недостатки нескольких существующих математических моделей, используемых для анализа данных сетей, предложены способы устранения указанных недостатков.

Комплекс полученных методов позволяет повысить эффективность систем мониторинга промышленных и природных процессов, сетей VANET, технологий Интернета вещей. На рис. 1 показано несколько сценариев загрязнения городского воздуха, для которых проводится анализ эффективности системы мониторинга.

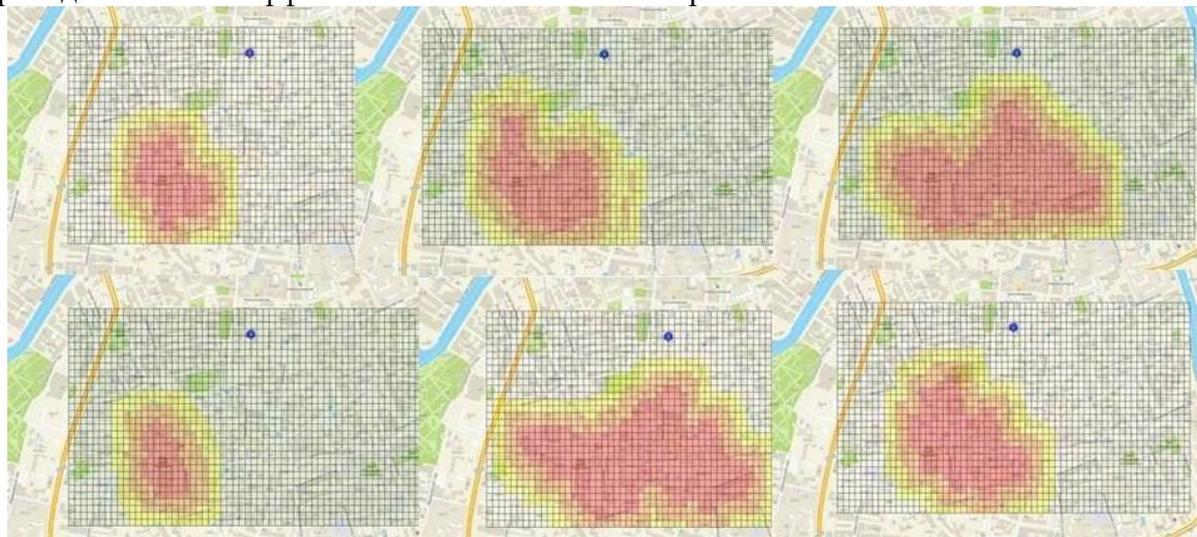


Рис.1 Анализ эффективности мобильных систем мониторинга городского воздуха.

Публикации:

1. Shakhov V., Sokolova O., Koo I. A Criterion for IDS Deployment on IoT Edge Nodes // Springer Lecture Notes in Computer Science, vol. 12249, pp. 546-556, 2020. (Q2SJR)
2. K. Lin, H. Chen, X. Ai, V. Shakhov, L. Ni, J. Yu, Y. Li. EUMD: Efficient slot utilization based missing tag detection with unknown tags // Journal of Network and Computer Applications, vol. 160, art. 102640, 2020. (Q1WoS)
3. Соколова О.Д., Шахов В.В. Вопросы обеспечения безопасности интернета транспортных средств. Обзор исследований // Информационные процессы, Том 20, № 3, 2020, стр. 231–253 (RSCI/Q4 WoS)
4. О. Ю. Тарханова, В. В. Шахов. К вопросу оценки эффективности беспроводных сенсорных сетей // Проблемы информатики, № 1 (46), стр 35–65. (ВАК)
5. Шахов В. В., Соколова О. Д. Анализ сетей с нестационарной топологией. Обзор исследований // Проблемы информатики, № 4 (49) (в печати). (ВАК)
6. Rudometov, S., Sokolova, O., Materukhin, A. Optimization of Mobile Sink Movement in the Gathering Spatio-Temporal Data Process from Air Pollution Sensors // International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020, 2020, с. 648-652 (Scopus)

1. Математические науки 4. Высоко-производительные вычисления Тема №7 "Технологии, алгоритмы и система автоматического конструирования параллельных программ численного моделирования на пета- и экса-флопсных супер-ЭВМ" (№ 0315-2019-0007)

Модернизированы и реализованы новые алгоритмы генерации распределённых программ численного моделирования на мультикомпьютерах для системы LuNA
Д.т.н. В.Э. Малышкин, В.А. Перепёлкин

Система LuNA обеспечивает автоматическое конструирование распределённых программ численного моделирования на мультикомпьютерах. Конструирование программы осуществляется в два этапа: вывод алгоритма решения поставленной задачи в аксиоматической теории, частично описывающей предметную область, и генерация

распределённой программы по выведенному алгоритму. Автоматическое конструирование программ в других предметных областях сводится к замене частичной аксиоматической теории описывающей предметную область. В 2020 году были модернизированы алгоритмы генерации программ, что позволило уменьшить в 3-5 раз время выполнения сгенерированных программ. Ускорение достигнуто за счёт сокращения накладных расходов на работу исполнительской системы. Модернизированные алгоритмы сохраняют возможность автоматического обеспечения динамических свойств конструируемых программ, таких как динамическая балансировка нагрузки на вычислительные узлы мультикомпьютера. Достигнутое качество конструирования параллельных программ позволяет начать работы по реализации технологии активных знаний.

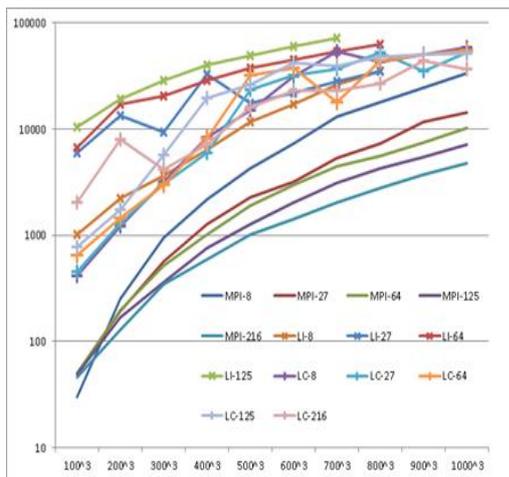


Рис.1. Сравнительные временные характеристики исполнения автоматически сгенерированных и написанных вручную программ, реализующих решение модельного уравнения теплопроводности в единичном кубе.

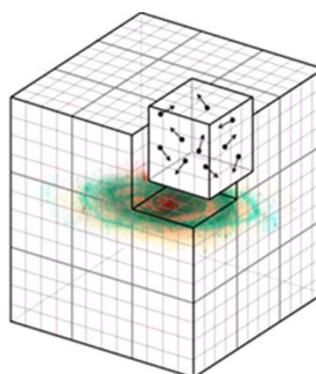


Рис.2. Схема описания задачи в виде частичной аксиоматической теории в терминах фрагментов данных и вычислений в системе LuNA

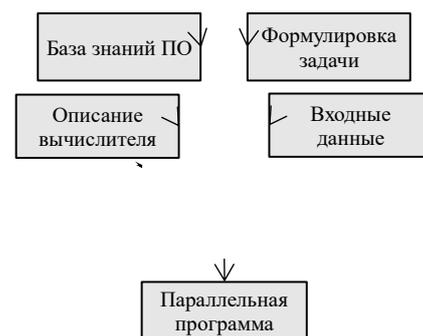


Рис.3. Схема конструирования параллельной программы системой LuNA

Публикации:

1. Victor Malyskin, Darkhan Akhmed-Zaki and Vladislav Perepelkin. Parallel Programs Execution Optimization Using Behavior Control in LuNA system // Journal of Supercomputing (принято в печать в 2020 г.)

I. Математические науки 4. Высоко-производительные вычисления Тема №8 "Математическое моделирование комплексных многомерных процессов естествознания на супер-ЭВМ" (№ 0315-2019-0008)

Явные противопотоковые схемы в нестационарных задачах фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости

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

Для задач фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости на классе разрывных решений предложен и обоснован явный противопотоковый численный метод, в котором отсутствуют нефизичные осцилляции на фронте разрыва. С точки зрения приложений речь идет о трехмерных задачах вытеснения нефти водой. Решены задачи для однопористой и

трещиновато-пористой модели среды, построена противопотоковая схема не только внутри каждой среды, но и при обмене двухфазной жидкостью между поровыми блоками и трещинами. Разработан явный вариант гибридной противопотоковой схемы (EHU) и решена задача о гравитационной сегрегации двухфазной жидкости. На решении ряда задач показаны преимущества EHU - схемы перед широко используемым в последние годы ИУ (Implicit Hybrid Upwinding) подходом. Для всех построенных схем установлен принцип максимума с указанием условия Куранта-Фридрихса-Леви, зависящего от суммарной скорости потока, которая вместе с давлением вычисляется смешанным методом конечных элементов. Во всех рассмотренных задачах решена проблема неоднозначности давления для условий непротекания на границах пористой среды.

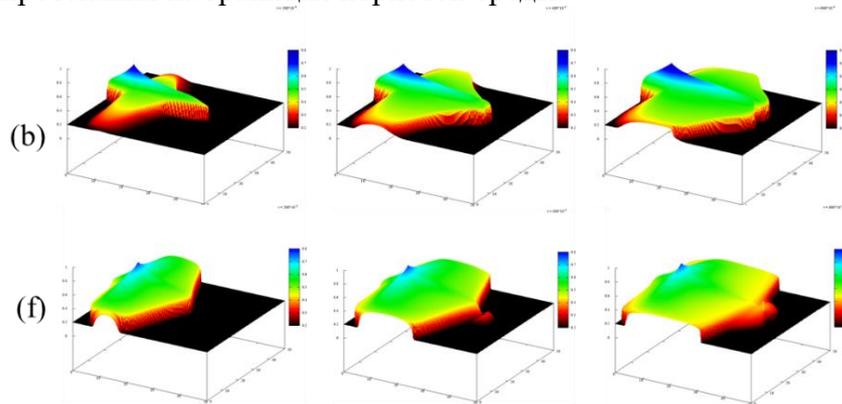


Рис. 1. Водонасыщенности поровых блоков (b) и трещин (f) в моменты времени $2 \cdot 10^6$ с, $4 \cdot 10^6$ с и $6 \cdot 10^6$ с при анизотропной проницаемости

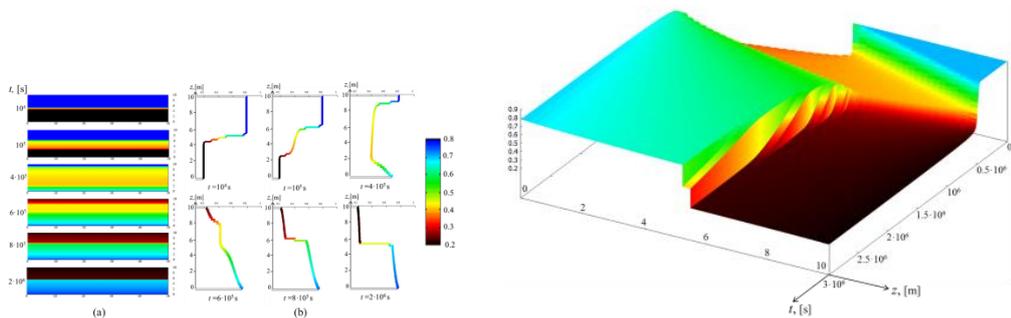


Рис. 2. Водонасыщенность при гравитационной сегрегации легкой нефти при начальных данных; сверху вода, снизу нефть

По результатам данных исследований подготовлены две статьи, принятые для публикации в 2021 году:

[1]. M.I. Ivanov, I.A. Kremer, Yu.M. Laevsky. Computational model of fluid filtration in fractured porous media // Numerical Analysis and Applications, v.14 (2021), Is.2.

[2]. M.I. Ivanov, I.A. Kremer, Yu.M. Laevsky. Numerical model of gravity segregation of two-phase fluid in porous media based on hybrid upwinding // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, v.36 (2021), Is.1.

Новая схема четвертого порядка точности на основе интегрального тождества Марчука для решения прямой задачи рассеяния Захарова-Шабата

К.ф.-м.н. Н.И. Горбенко, д.ф.-м.н. В.П. Ильин, инженер А.М. Крылов

Для построенной схемы было проведено численное моделирование задачи рассеяния на примере двух характерных краевых задач с известными решениями. Расчеты подтвердили высокую точность предложенного алгоритма, необходимую в ряде практических

приложений для оптического и акустического зондирования сред в прикладной оптике и геофизике.

Н.И. Горбенко, В.П. Ильин, А.М. Крылов, Л.Л. Фрумин. О численном решении прямой задачи рассеяния Захарова–Шабата //СИБИРСКИЙ ЖУРНАЛ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ. 2020. Т. 23, №-2, стр. 117–125. DOI: 10.15372/SJNM20200201

И. Математические науки 4. Высоко-производительные вычисления Тема №9 "Разработка суперкомпьютерных технологий и методов решения сложных физических задач на высокопроизводительных вычислительных системах" (№ 0315-2019-0009)

Новая вычислительная модель белых карликов и взрыва сверхновых типа Ia
Д.ф.-м.н. Куликов И.М., к.ф.-м.н. Черных И.Г.

Построена вычислительная модель эволюции белых карликов и взрыва сверхновых типа Ia на модели гравитационной гидродинамики со звездным уравнением состояния. Для восстановления внутренней энергии белого карлика мы используем уравнения для энтропии, что позволяет избежать сложного итерационного процесса для вычисления температуры. Кроме этого, такая запись уравнений позволяет разработать эффективную программную реализацию с использованием векторных инструкций AVX-512. Для детального описания горения углерода в белом карлике используется технология вложенных сеток, когда гидродинамика взрыва моделируется на регулярной сетке, а подсеточные процессы горения углерода в качестве отдельной гидродинамической задачи на вложенных сетках. Вычислительные эксперименты, проведенные на суперкомпьютере НКС-1П, оснащенный процессорами Intel Xeon Phi KNL, показали, что в зависимости от ядерного горения углерода варьируется энергия взрыва, что приводит к различию в кривых блеска. Что в свою очередь говорит о ненадежности использования сверхновых типа Ia в виде «стандартных свечей» для измерения расстояний во Вселенной.

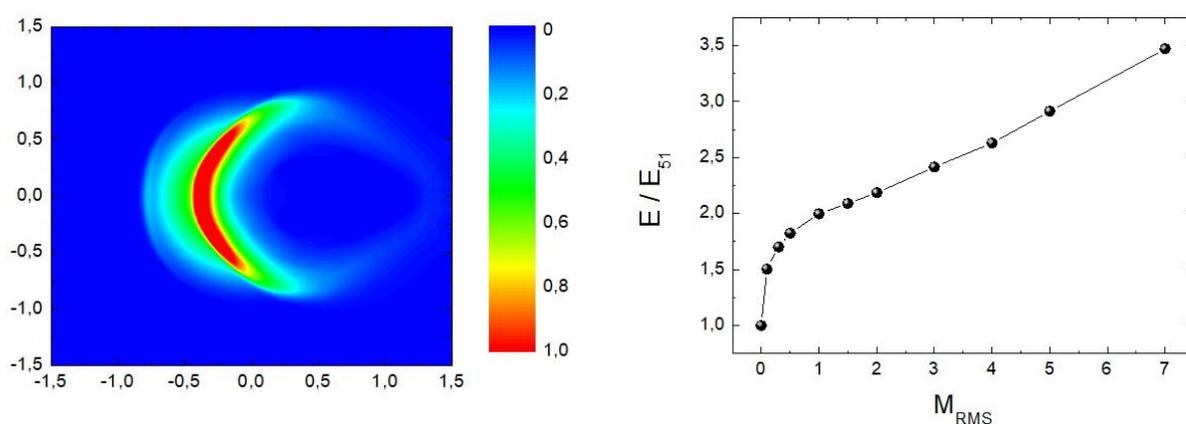


Рисунок 1. Относительная плотность газа белого карлика во время взрыва сверхновой типа Ia (слева) и относительная зависимость энергии взрыва в зависимости от турбулентного горения углерода (справа)

Публикации:

Kulikov I.M., Chernykh I.G., Sapetina A.F., Lomakin S.V., Tutukov A.V. A New Rusanov-Type Solver with a Local Linear Solution Reconstruction for Numerical Modeling of White Dwarf Mergers by Means Massive Parallel Supercomputers // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2020. – Vol. 41, I. 8. – P. 1485-1491. (Q2)

Kulikov I., Chernykh I., Tutukov A. A new hydrodynamic code with explicit vectorization instructions optimizations, dedicated to the numerical simulation of astrophysical gas flow. I. Numerical method, tests and model problems // The Astrophysical Journal Supplement Series. – 2019. – V. 243. – Article Number 4. (Q1)

Kulikov I., Chernykh I., Karavaev D., Berendeev E., Protasov V. HydroBox3D: Parallel & Distributed Hydrodynamical Code for Numerical Simulation of Supernova Ia // Lecture Notes in Computer Science. – 2019. – V. 11657. – P. 187-198. (Q2)

Kulikov I.M., Chernykh I.G., Glinskiy B.M., Protasov V.A. An Efficient Optimization of Hill Method for the Second Generation of Intel Xeon Phi Processor // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2018. – Vol. 39, I. 4. – P. 543-551. (Q2)

Kulikov I.M., Chernykh I.G., Tutukov A.V. A New Parallel Intel Xeon Phi Hydrodynamics Code for Massively Parallel Supercomputers // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2018. – V. 39, I. 9. – P. 1207-1216. (Q2)