

ТЕЗИСЫ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

Computational challenges in mathematical finance

R. Makarov

Department of Mathematics, Wilfrid Laurier University

Email: rmakarov@wlu.ca

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001

In this series of mini-lectures, we discuss four main areas of quantitative finance related to asset price modelling, derivative valuation, portfolio optimization, and risk management. First, we consider several classes of stochastic models for asset prices that are based on diffusion and Levy processes. We examine issues related to modelling stochastic volatility and jumps, multiscale dynamics, and coupled systems. The second theme relates to valuation of derivatives such as options using Monte Carlo and other computational techniques. We look into computational challenges related to pricing multi-asset products and path-dependent derivatives. Third, we review the mean-variance portfolio optimization theory and how to find an optimal allocation strategy by solving the Hamilton-Jacobi-Bellman equation. Finally, we study several credit risk models, as well as systemic risk models of a banking network.

Явно-неявные схемы для нестационарных задач

П. Н. Вабищевич¹

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН

Email: vabishchevich@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10002

При приближенном решении нестационарных задач широко используются явно-неявные схемы. Они базируются на том, что часть оператора(ов) задачи аппроксимируется на верхнем слое по времени, а часть – на нижних слоях по времени. Это позволяет облегчить нахождение приближенного решения. Различные классы явно-неявных схем анализируются на основе общих результатов устойчивости (корректности) двух- и трехслойных операторно-разностных схем А. А. Самарского.

Рассматриваются явно-неявные схемы для эволюционного уравнения первого порядка. Помимо классического варианта с расщеплением основного оператора задачи исследуется случай расщепления оператора при производной по времени. Важный класс явно-неявных схем связан с треугольным расщеплением оператора, когда одна часть оператора сопряжена другой. В классическом варианте симметричная матрица разлагается на сумму нижней треугольной матрицы и верхней треугольной. Такие аддитивные представления используются при решении систем эволюционных уравнений. Второй пример связан с построением аддитивных (векторных) схем при многокомпонентном расщеплении.

Построены новые варианты схем попеременно-треугольного метода. Повышение точности достигается переходом к трехслойным схемам. Обсуждаются безусловно устойчивые явно-неявные итерационные схемы, когда решение на новом слое находится с использованием нескольких итераций явно-неявного типа.

Обратные задачи термического зондирования атмосферы: методы и приложения

В. В. Васин^{1,2}, Г. Г. Скорик^{1,2}

¹Уральский федеральный университет

²Институт математики и механики УрО РАН

Email: vasin@imm.uran.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10003

Обратная задача термического зондирования атмосферы заключается в определении содержания парниковых газов по инфракрасным спектрам, измеренным приборами спутникового и наземного базирования. Искомое решение находится из решения переопределенной системы нелинейных уравнений. Предлагается следующий подход к построению итерационного метода для решения нелинейной проблемы [1]. Сначала исходная нелинейная система сводится к задаче минимизации квадрата нормы невязки, которая регуляризуется методом Тихонова. При некоторых условиях полученные приближенные решения аппроксимируют нормальные квазирешения основной задачи. Затем

целевая функция регуляризованной задачи заменяется тремя членами разложения Тейлора в итерационной точке и к задаче минимизации с новой целевой функцией применяется грох-метод. В окончательном виде получаем двухпараметрический итерационный процесс ньютоновского типа. Формулируется теорема сходимости итерационного метода, устанавливается свойство фейеровости итераций и оценка погрешности процесса, обсуждаются результаты численных расчетов по восстановлению HDO, C₂O и CH₄ для серии реальных спектральных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-11-00024).

Список литературы

1. Skorik G. G., Vasin V. V. Regularized Newton type method for retrieval of heavy water in atmosphere by IR-spectra of the solar light transmission // Eurasian J. Math. Comput. Appl. 2019. Vol. 7, iss. 2.

Кинетические уравнения Больцмана, Власова и Лиувилля

В. В. Веденяпин¹, С. З. Аджиев², В. В. Казанцева¹, И. В. Мелихов², М. А. Негматов³, Н. Н. Фимин¹, В. М. Четчин¹

¹Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

³ФГУП Центральный научно-исследовательский институт машиностроения

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10004

Мы рассмотрим важнейшие кинетические уравнения: уравнение Больцмана, которое описывает короткодействие и его важнейшее приложение – теорему о возрастании энтропии. Теорема впервые была рассмотрена Больцманом в [1]. Эту теорему, обосновывающую сходимость решений уравнений типа Больцмана к максвелловскому распределению, Больцман связал с законом возрастания энтропии [2]. Мы рассматриваем обобщения уравнений химической кинетики, включающие в себя классическую и квантовую химическую кинетику [3]. Рассматриваем уравнение Власова, которое описывает дальное действие с ее важнейшими приложениями для описания плазмы и крупномасштабных явлений во Вселенной и уравнение Лиувилля или неразрывности с приложениями к статистической механике [3-9] и в методе Гамильтона – Якоби [6-7]. Уравнение Власова-Максвелла-Эйнштейна, которое описывает эволюцию Вселенной и должно описывать темную энергию и темную материю.

Список литературы

1. Л. Больцман, “Дальнейшие исследования теплового равновесия между молекулами газа”, Избранные труды, Наука, М., 1984, 125–189.
2. Л. Больцман, “О связи между вторым началом механической теории теплоты и теорией вероятностей в теоремах о тепловом равновесии”, Избранные труды, Наука, М., 1984, 190–235.
3. В. В. Веденяпин, С. З. Аджиев, “Энтропия по Больцману и Пуанкаре”, УМН, 69:6(420) (2014), 45–80.
4. Пуанкаре А., Замечания о кинетической теории газов. Избранные труды. Т. 3. Наука, М., 1974.
5. Козлов В.В., Трещев Д.В., Слабая сходимость решений уравнения Лиувилля для нелинейных гамильтоновых систем., ТМФ. 2003. 134:3. С.388–400.
6. Козлов В.В. Общая теория вихрей. М.-Ижевск, 2013.
7. Веденяпин В.В., Негматов М.А., Фимин Н.Н. Уравнения типа Власова и Лиувилля, их микроскопические, энергетические и гидродинамические следствия. Изв. РАН. Сер.: Математика. 2017. Т. 81, вып. 3. С. 45–82.
8. Веденяпин В. В. Временные средние и экстремали по Больцману // Докл. РАН, 422:2 (2008), 161–163
9. Аджиев С. З., Веденяпин В. В. Временные средние и экстремали Больцмана для марковских цепей, дискретного уравнения Лиувилля и круговой модели Каца // Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 51:11 (2011), 2063–2074.

Интерполяция сплайнами четвертой степени

Ю. С. Волков

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: volkov@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10005

Рассматривается задача интерполяции сплайнами четвертой степени по схеме Марсдена. Показано, что при вычислении интерполяционного сплайна через коэффициенты разложения его второй производной по L₁-нормализованным В-сплайнам второй степени приходим к системе линейных уравнений относительно выбранных параметров с пятидиагональной матрицей, имеющей диагональной

преобладание по столбцам. Наличие диагонального преобладания позволяет предложить устойчивый и эффективный метод построения сплайна и установить сходимость процесса интерполяции сплайнов по Марсдену для любой функции класса C^1 на произвольной последовательности сеток без каких-либо ограничений. В схеме Марсдена считается, что задана сетка узлов сплайна, а точки интерполяции выбираются строго посередине. Установленные результаты переносятся на случай интерполяции сплайнами четвертой степени по схеме Субботина (сетки данных и узлов сплайна меняются местами).

Работа выполнена в рамках государственного задания ИМ СО РАН (проект 0314-2016-0013) и при частичной финансовой поддержке РФФИ и ННИО (проект 19-51-12008).

Оценка опасности цунами в Черном море на основе результатов численного моделирования

В. К. Гусяков¹, Л. Б. Чубаров², С. А. Бейзель²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт вычислительных технологий СО РАН*

Email: gvk@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10006

В докладе рассматривается проблема оценки цунамиопасности российской части побережья Черного моря на основе результатов большой серии сценарных расчетов возбуждения и распространения цунами от системы модельных источников, построенной на основе изучения современной инструментальной сейсмичности черноморского региона, его структурных сейсмотектонических особенностей и данных об исторических цунамигенных землетрясениях. Расчеты распространения цунами выполнялись с использованием программного комплекса MassGlobalCalc (Чубаров и др., 2011), реализующего алгоритмы модифицированного варианта конечно-разностной схемы Мак-Кормака, аппроксимирующей систему уравнений мелкой воды. В результате были получены диаграммы свечения (распределения максимальных амплитуд в каждой точке расчетной области), а также максимальный подъем уровня моря во всех береговых точках. Анализ показывает, что для каждого участка побережья, наибольшую угрозу создают очаги, расположенные в непосредственной близости от него, высоты волн при этом могут достигать 3.0-4.0 м. Однако в силу гидродинамических особенностей распространения цунами в ограниченном замкнутом бассейне с выровненным дном, каким является акватория Черного моря, практически для всех участков сопоставимую угрозу представляют очаги, расположенные на противоположном побережье. Высоты волн от таких удаленных очагов могут достигать 1.5-2.0 м, что в условиях плотной застройки и высокой рекреационной нагрузки, характерной для большинства участков российского черноморского побережья представляет значительную опасность.

Error estimates for Lagrange – Galerkin approximation of American options valuation

R. Z. Dautov¹, A. V. Lapin^{1,2}

¹*Kazan Federal University*

²*Tianjin University of Finance and Economics*

Email: rafail.dautov@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10007

The degenerate parabolic variational inequality arising in connection with the pricing of American options is investigated. The Lagrange-Galerkin finite element approximation is constructed using a combination of characteristic method for approximating the material derivative and the finite element method for approximating the diffusion part of the equation. The accuracy of the constructed discrete scheme is established by comparing it with the known implicit time-stepping (backward Euler) finite element scheme. An error estimate in the energy norm of the differential operator of the problem is obtained. A series of numerical calculations shows that the proven smoothness of the solution of a variational inequality, as well as the obtained accuracy estimates for solving a discrete problem, cannot be improved.

This work was supported by the Russian Foundation of Basic Researches (No. 19-01-00431).

Заметки о методе Монте-Карло*С. М. Ермаков**Санкт-Петербургский государственный университет**Email: Sergej.Ermakov@gmail.com*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10008

В докладе будут сообщены новые сведения относительно следующих стохастических алгоритмов:
О рандомизации квазислучайных последовательностей и неравенства Коксмы-Хлавки в задачах численного интегрирования;

Об использовании многомерного нормального распределения в задачах случайного поиска экстремума;

О применении схемы Неймана – Улама при решении стохастических дифференциальных уравнений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00267).

Об одной противопотоковой схеме решения уравнения Баклея – Леверетта*М. И. Иванов¹, И. А. Кремер^{1,2}, Ю. М. Лаевский^{1,2}*¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*²*Новосибирский государственный университет**Email: ivanov@sscc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10009

В работе предложен вычислительный алгоритм реализации трехмерной модели Баклея – Леверетта [1] фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости на основе комбинации смешанного метода конечных элементов [2] и противопотоковой аппроксимации уравнения для насыщенности методом конечных объемов. Численные эксперименты продемонстрировали ожидаемое отсутствие осцилляций на фронте разрыва водонасыщенности, имеющего место в модели Баклея – Леверетта [3]. Особое внимание в работе уделено решению вырожденной задачи Неймана [4], возникающей при условиях непроницаемости коллектора на внешних границах и заданиях дебитов нагнетательных и добывающих скважин.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-11-00048.

Список литературы

1. S.E. Buckley, M.C. Leverett, Mechanism of fluid displacement in sands // Trans. AIME, 146 (1942), 187-196.
2. F. Brezzi and M. Fortin, Mixed and Hybrid Finite Element Methods, Springer-Verlag, New York, 1991.
3. Yu. M. Laevsky and T. A. Kandryukova, On approximation of discontinuous solutions to the Buckley-Leverett equation // Numerical Analysis and Applications, 5:3 (2012), 222-230.
4. P. Bochev and R. B. Lehoucq, On the finite element solution of the pure Neumann problem // SIAM Review, 47:1 (2005), 50-66.

Интегрированном вычислительном окружении для нефтегазовой отрасли*В. П. Ильин**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**Новосибирский государственный университет**Email: ilin@sscc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10010

Рассматривается концепция, общая структура и принципы реализации интегрированного вычислительного окружения (ИВО) для высокопроизводительного решения на суперЭвм широкого класса задач математического моделирования в нефтегазовой отрасли, включая проблемы комплексной георазведки, безопасного бурения, технологий добычи углеводородов, нефтегазового транспорта, переработки сырьевых продуктов, экологии и экономики. Разрабатываемое программное обеспечение ориентировано на поддержку всех основных стадий крупномасштабного вычислительного эксперимента: геометрическое и функциональное моделирование, построение качественных сеток, аппроксимации высокой точности, параллельное решение алгебраических задач, методы оптимизации для обратных задач,

постобработка и визуализация результатов, принятие решений по итогам расчетов. Основными источниками и составными частями ИВО являются супервычисления, средства работы с большими данными и искусственный интеллект. Проектируемая инструментальная среда удовлетворяет таким технологическим требованиям, как гибкое расширение состава применяемых моделей и алгоритмов, адаптация к эволюции компьютерных архитектур, эффективное переиспользование внешних программных продуктов и согласованное участие различных групп разработчиков, что должно обеспечить длительный жизненный цикл проекта, а также кардинальное повышение производительности труда разработчиков и пользователей в процессе решения актуальных отраслевых проблем.

Численное статистическое моделирование в задачах оптики атмосферы и океана

Б. А. Каргин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: bkargin@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10011

В докладе представлен обзор математических постановок нескольких наиболее актуальных задач оптики атмосферы и океана и современных алгоритмов численного статистического моделирования таких задач. Основной акцент сделан на решение стохастических задач теории переноса оптического излучения, в которых основные параметры уравнения переноса, характеризующие рассеивающие и поглощающие свойства среды, являются случайными функциями пространства и/или времени. К числу наиболее важных прикладных задач, рассматриваемых в докладе, относятся задачи расчета радиационного баланса облачной аэрозольной атмосферы, задачи лазерного зондирования облачности лидарами наземного и аэрокосмического базирования, а также задачи аэрокосмического лазерного зондирования верхнего слоя океана.

Работа выполнена в рамках проекта гос. задания № 0315-2019-0002.

Применение алгоритмов расщепления в методе конечных объемов для численного решения уравнений Навье – Стокса

В. М. Ковеня, П. В. Бабинцев

Институт вычислительных технологий СО РАН

Email: kovenya@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10012

Для численного решения уравнений Навье – Стокса предложен класс неявных конечно-объемных алгоритмов типа предиктор-корректор, основанных на расщеплении уравнений. В отличие от классических неявных схем расщепления по направлениям, этот подход позволяет построить более экономичные алгоритмы по числу операций на отдельную ячейку, сведя их реализацию к скалярным прогонок или схемам бегущего счета, а по скорости сходимости к стационарному решению он приближается к ним. Получаемые схемы консервативны, что позволяет использовать их при решении как стационарных, так и нестационарных задач, и обладают вторым или более высоким порядком аппроксимации. Исследованы свойства предложенных алгоритмов, получены оценки по их точности и скорости сходимости при решении стационарных задач методом установления. Проведено тестирование алгоритма и найдены численные решения двумерных и пространственных задач аэродинамики, иллюстрирующие свойства рассмотренных алгоритмов, что позволяет сделать заключение об их эффективности.

Компьютерная системная биология и биоинформатика: задачи и методы*Н. А. Колчанов**Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН**kol@bionet.nsc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10013

Появление новых высокопроизводительных экспериментальных технологий в молекулярной биологии привело к информационному взрыву и накоплению гигантского объема экспериментальных данных, для анализа которых широко используются методы биоинформатики, системной компьютерной биологии, искусственного интеллекта и машинного обучения. В докладе рассмотрено применение этих подходов к решению таких задач, как: (а) интеграция, анализ и интерпретация геномных, транскриптомных, протеомных, метаболомных данных; (б) идентификация сайтов связывания транскрипционных факторов в регуляторных районах генов, оценка влияния мутаций в этих регуляторных районах на экспрессию генов; (в) реконструкция генных сетей, выявление молекулярно-генетических механизмов формирования патологий, поиск генов, вносящих максимальный вклад в формирование целевых фенотипических (клинических) признаков, контролируемых генными сетями и на этой основе – предсказание наиболее перспективных мишеней для терапии заболеваний; (г) реконструкция и изучение молекулярно-генетических механизмов регуляции морфогенеза растений, (д) анализ особенностей молекулярной эволюции генных сетей и молекулярно-генетических систем и (е) компьютерный дизайн экспериментов по созданию штаммов – суперпродуцентов биотехнологически значимых продуктов.

Точные по порядку апостериорные оценки погрешности для приближенных решений эллиптических уравнений порядка $2n$ с n равным или большим единицы*В. Г. Корнеев**Санкт-Петербургский государственный университет**Email: Vad.korneev2011@yandex.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10014

Рассматривается новый способ получения апостериорных оценок погрешности приближенных решений методом конечных элементов эллиптического уравнения порядка $2n$ при положительном целом n с неотрицательным поэлементно-постоянным коэффициентом в младшем члене уравнения. С его использованием доказываются оценки, которые для краткости называются согласованными и характеризуются тем, что по порядку точности они одинаковы с не улучшаемыми в этом отношении априорными оценками. Дополнительное достоинство таких оценок заключается в том, что их точность обеспечивается тестирующими потоками, удовлетворяющими только соответствующим требованиям аппроксимации без удовлетворения уравнениям баланса. В связи с этим область практической применимости согласованных апостериорных оценок погрешности существенно расширяется, так как для вычисления входящих в них тестирующих потоков могут быть использованы многочисленные процедуры восстановления потоков, интенсивно развивавшиеся для индикаторов погрешности метода невязок. При определенных условиях эти процедуры обеспечивают не только стандартные порядки аппроксимации, но и суперсходимость восстановленных потоков. Результаты являются обобщением результатов работ:

1. Корнеев В.Г. О точности апостериорных функциональных мажорант погрешности приближенных решений эллиптических уравнений. Доклады Академии наук, Математика. 2017. Т. 475, № 6. С. 605-608.
2. Корнеев В.Г. О контроле погрешности при численном решении уравнений реакции-диффузии. Журнал вычислительной математики и математической физики, 2019. Т. 59, № 1, С. 3–20.
3. Korneev, V.G. On a renewed approach to a posteriori error bounds for approximate solutions of reaction-diffusion equations. Proceedings of 30th Chemnitz FEM Symposium-2017. Springer, 2019. P. 207-228.

Расчет параметров динамики сейсмической структуры с учетом многофазности среды

Г. Г. Лазарева¹, Н. С. Ивашин², М. Е. Пехтерев²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: lazareva@ssd.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10015

Численное моделирование процесса подготовки и реализации извержений в зонах субдукции является сложной задачей, что связано с широким диапазоном пространственных и временных масштабов, в которых протекают процессы, а также, с наличием сложных химических реакций, многофазных сред и фазовых переходов [1]. Для согласованной модели динамики сейсмической структуры в магматическом очаге в момент подготовки к извержению вулкана St Helens реализована дискретная модель для расчета распределения давления, плотность магмы и массовые доли газа в магматической камере [2]. В подводящем канале рассчитывается распределение давления, плотности, температуры, вертикальной скорости магмы и пузырьковой среды. Включение учета пузырьковой среды для стационарного потока в жерле состоит в рассмотрении системы уравнений газовой динамики с учетом вязкой силы в магме [3] для осредненных плотности, импульса и давления в среде. Система дополнена сложным уравнением состояния и уравнением Рэлея [4]. Полученные численные результаты будут использованы для интерпретации новых томографических данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиГ СО РАН (проект 0315-2019-0009) и при финансовой поддержке ИП №0315-2018-0014 КПФНИ СО РАН.

Список литературы

1. Koulakov I, Smirnov S.Z., Gladkov, V., Kasatkina, E., West, M., El Khrepy, S., Al-Arifi, N. Causes of volcanic unrest at Mt. Spurr in 2004–2005 inferred from repeated tomography // Scientific Reports. 2018. V.8, Iss. 1. Art.17482.
2. S. Colucci, M. de' Michieli Vitturi, M., A. Neri, D.M. Palladino, An integrated model of magma chamber, conduit and column for the analysis of sustained explosive eruptions, Earth Planet. Sci. Lett. 404, pp. 98–110, 2014.
3. G. Taylor, The Two Coefficients of Viscosity for an Incompressible Fluid Containing Air Bubbles, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 226, No. 1164, pp. 34–37, 1954.
4. Kedrinskiy V. K. Hydrodynamics of Explosion: Experiments and Models //Springer Science & Business Media, 2005, 362 p.

Современные суперкомпьютерные статистические методы анализа больших данных

М. А. Марченко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,

Email: marchenko@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10016

В докладе представлен обзор вычислительных технологий для анализа структурированных и неструктурированных данных больших объемов и значительного многообразия. Дается описание как известных решений, так и собственных разработок ИВМиГ СО РАН.

Будут описаны методы и техники анализа, применимые к большим данным: статистический анализ, методы класса Data Mining, краудсорсинг, смешение и интеграция данных, машинное обучение, искусственные нейронные сети, сетевой анализ, оптимизация, в том числе генетические алгоритмы, распознавание образов, прогнозная аналитика, имитационное моделирование, пространственный анализ. Будут обсуждаться перспективы развития направления, связанного с большими данными.

Будет также предоставлена информация о программных решениях, обеспечивающих сходные по характеристикам возможности по обработке сверхбольших массивов данных, а также описание аппаратных средств.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 18-01-00599 и № 18-41-540017, проекта РНФ № 19-72-20114.

Алгоритмы метода Монте-Карло для исследования временной асимптотики потока частиц с размножением в случайной среде

Г. А. Михайлов, Г. З. Лотова

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: gam@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10017

Доклад посвящен разработке алгоритмов метода Монте-Карло для оценки вероятностных моментов параметра экспоненциальной временной асимптотики числа частиц, размножающихся в случайной среде. Для этого используется построенная ранее авторами на основе специальных функций Грина оценка соответствующей логарифмической производной по времени. Построены эффективно распараллеливаемые алгоритмы метода двойной рандомизации на основе конечного степенного разложения обратного числа частиц и его квадрата. Приводятся результаты тестовых расчетов для однородного шара со случайной плотностью.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 18-01-00599, 18-01-00356, 17-01-00823) и в рамках интеграционного проекта СО РАН (код проекта 0315-2018-0010).

О перспективах исследования и компьютерного моделирования нейронных механизмов управления движением в организме *C. elegans*

А. Ю. Пальянов^{1,2}, Н. В. Пальянова³

¹Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН,

²Новосибирский государственный университет

³Институт молекулярной биологии и биофизики, структурное подразделение ФИЦ ФТМ

Email: palyanov@iis.nsk.su

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10018

Исследование механизмов функционирования нервной системы нематоды *Caenorhabditis elegans* является одним из актуальных направлений современной нейробиологии. Значительный интерес представляет система управления двигательной активностью организма, включающая различные поведенческие программы. Недавно была выявлена подсистема, отвечающая за конкретную двигательную программу [1]. Доклад посвящен вопросам разработки ее компьютерной модели с использованием программной среды NEURON [2] для моделирования активности нервных клеток и Sibernetica [3] – для моделирования движения тела *C. elegans* [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-07-00903).

Список литературы

1. Wen Q., Gao S., Zhen M. *C. elegans* excitatory ventral cord motor neurons derive rhythm for body undulation. *Phil. Trans. R. Soc. B.: Biol. Sci.*, 2018, 373: 20170370.
2. Carnevale, N., & Hines, M. *The NEURON Book*, 2006, Cambridge University Press.
3. Palyanov A., Khayrulin S., Larson S. Application of smoothed particle hydrodynamics to modeling mechanisms of biological tissue, *Adv. in Eng. Softw.*, 2016, 98: 1-11.
4. Palyanov A., Khayrulin S., Larson S.D. Three-dimensional realistic model of the *C. elegans* body and muscle cells in liquid and gel environments for behavioral analysis. *Phil. Trans. R. Soc. B.: Biol. Sci.*, 2018, 373: 20170376.

Ансамбли решений сопряженных уравнений в нелинейных обратных задачах

А. В. Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: aleks@ommgp.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10019

Нелинейные обратные задачи, в том числе задачи идентификации источников [1,2] и коэффициентов [3] моделей адвекции – диффузии – реакции могут быть сведены посредством ансамблей решений сопряженных уравнений к квазилинейным операторным уравнениям. Различным данным измерений

соответствуют различные конструкции ансамбля. В работе рассматриваются обратные задачи с относительно небольшим количеством данных контактных измерений и данными измерений типа изображений [1-3]. Решение получающихся операторных уравнений осуществляется алгоритмами типа Ньютона – Канторовича с регуляризацией посредством усеченного сингулярного разложения. Численно изучаются вопросы сходимости алгоритмов в зависимости от количества имеющихся данных измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-07-01135) в части алгоритмов для решения коэффициентных обратных задач с данными контактных измерений, Российского научного фонда (код проекта 17-71-10184) в части алгоритмов для работы с данными типа изображений на основе операторов чувствительности.

Список литературы

1. Penenko, A.; Zubairova, U.; Mukatova, Z. & Nikolaev, S. Numerical algorithm for morphogen synthesis region identification with indirect image-type measurement data // Journal of Bioinformatics and Computational Biology, World Scientific Pub Co Pte Lt, 2019, V. 17, P. 1940002.
2. Пененко, А. В. Метод Ньютона – Канторовича для решения обратных задач идентификации источников в моделях продукции – деструкции с данными типа временных рядов // Сибирский журнал вычислительной математики, 2019, 22, 57-79.
3. Пененко, А. В.; Николаев, С. В.; Голушко, С. К.; Ромащенко, А. В. & Кирилова, И. А. Численные алгоритмы идентификации коэффициента диффузии в задачах тканевой инженерии // Мат. биол. и биоинф., Institute of Mathematical Problems of Biology of RAS (IMPB RAS), 2016, 11, 426-444.

Методы решения обратных задач для исследования климатозкологических процессов в Земной системе

В. В. Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: penenko@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10020

В докладе обсуждается вариационный подход к решению условно-корректных и обратных задач, возникающих при моделировании процессов в Земной системе. Такие задачи возникают, например, при исследовании процессов распространения тепла, влаги и других субстанций в почве, где отсутствует информация на нижней границе. Другими разновидностями часто возникающих обратных задач являются задачи нахождения неизвестных источников возмущений, нахождение неизвестных параметров моделей, задачи оценка риска/уязвимости отдельных объектов и территорий и др.

В рамках развиваемого нами вариационного подхода естественно объединяются основные и сопряженные задачи, позволяющие построить решения условно-корректных прямых и обратных задач по заданным целевым критериям. Целевые критерии задаются в виде функционалов, определяющих суть исследования, например, функционалы качества атмосферы, ограничений на допустимые нагрузки, управления источниками воздействий и т. д. В климатозкологических исследованиях существенно используются данные наблюдений, которые включаются с помощью специальных технологий усвоения данных в систему моделирования. В методах усвоения данных последовательно решаются связанные обратные задачи. Таким образом, разрабатываемые нами методы и алгоритмы обладают высокой степенью универсальности и могут применяться при решении широкого спектра задач.

Работа выполняется по тематике государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0315–2019–0004 в части разработки базовых математических моделей и при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проектов 17-01-00137 и 17-29-05044) при разработке алгоритмов, учитывающих специфические особенности объектов исследований.

Влияние тенденций атмосферного форсинга в формировании ледового поля Арктики

Г. А. Платов, Е. Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: Platov.G@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10021

Разложение атмосферного форсинга CORE-2 на основе эмпирических ортогональных функций включало в себя среднемесячные значения поля давления на поверхности, приземной температуры и

приземной скорости ветра. Результат разложения представлен в виде восьми принципиальных компонент с временными рядами коэффициентов, четыре из которых не являются вырожденными. Форсинг, основанный на использовании этих мод, был применен в численном эксперименте с моделью океана и льда SibCIOM и показал незначительные расхождения с результатами эксперимента, где применялся форсинг CORE-2 напрямую. Для первых четырех невырожденных мод был применен анализ временных трендов и построено четыре набора форсинга, в которых тренды были устранены для первой, второй, третьей и четвертой мод, соответственно. Результаты их применения анализировались в сравнении с первым экспериментом и выявили роль каждой из мод в формировании тенденции к уменьшению площади и объема арктического льда.

Два варианта проекционного метода для численного решения нелинейного уравнения Больцмана методом Монте-Карло

С. В. Рогазинский

Новосибирский государственный университет

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: svr@osmf.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10022

В работе рассматриваются некоторые вопросы применения проекционного метода к нахождению численного решения нелинейного кинетического уравнения Больцмана методом Монте-Карло. Обоснование использования данного подхода опирается на теорему Н.Н. Ченцова [1], которая утверждает, что норма квадрата погрешности проекционной оценки в L_2 равна сумме квадрата нормы систематической ошибки и квадрата нормы случайной ошибки. Ранее в работе [2] проекционный метод был применен к численному решению задачи о пространственно однородной релаксации простого газа, которая описывается задачей Коши для нелинейного уравнения Больцмана [3].

Однако оценка нормы систематической ошибки (что является ключевым моментом в обосновании проекционного метода) получена не была.

В данной работе оценена норма L_2 погрешности аппроксимации функции ее частичной суммой по функциям Эрмита. Проведено сравнение оценок погрешности аппроксимации плотности распределения частиц по модулю скорости для двух видов функций Эрмита на численном решении задачи однородной релаксации газа с известным решением [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00356-а).

Список литературы

1. Ченцов Н.Н. Статистические решающие правила и оптимальные выводы. М: Наука, 1972
2. Rogazinsky, Sergey V. Statistical modelling algorithm for solving the nonlinear Boltzmann equation based on the projection method// Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling, 2017, V.32, № 3. P. 197-202.
3. Бобылев А.В. О точных решениях уравнения Больцмана// Доклады Академии наук СССР, 1975, Т. 225, No.6, С. 1296-1299.

О решениях уравнений электродинамики, инициируемых плоскими волнами в анизотропной среде

В. Г. Романов

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: romanov@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10023

Рассматривается система уравнений электродинамики для непроводящей и немагнитной среды, обладающей простейшей анизотропией диэлектрической проницаемости. Предполагается, что диэлектрическая проницаемость характеризуется диагональной матрицей, элементы которой являются постоянными положительными числами всюду вне некоторой выпуклой ограниченной области трехмерного пространства. В однородной анизотропной среде при этом существуют две моды бегущих плоских волн. Изучается структура решений, отвечающим плоским бегущим волнам, падающим из бесконечности на неоднородность среды. Это позволяет выписать высокочастотную асимптотику периодических по времени решений уравнений электродинамики. Эта асимптотика используется затем при изучении обратных задач об определении диэлектрической проницаемости. Показывается, что постановка

некоторой обратной задачи, при определенных условиях, приводит к двум обратным кинематическим задачам с неполной информацией. Линеаризация этих задач сводит их к решению обычных задач рентгеновской томографии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00120).

A global Random Walk on Spheres algorithm for solving linear and nonlinear drift-diffusion-reaction equations

K. K. Sabelfeld

Institute of computational mathematics and mathematical geophysics, SBRAS

Email: karl@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10024

A new global Random Walk on Spheres (gRWS) method for solving transient boundary value problems which in contrast to the classical Random Walk on Spheres (RWS) algorithm calculates the solution in any desired family of m prescribed points is presented in this talk. The method uses only N trajectories in contrast to mN trajectories in the conventional RWS algorithm. The idea is based on the symmetry property of the Green function and a double randomization approach. Earlier, we have suggested this approach for stationary equations [1]. We present in this talk the gRWS method for the heat equation with arbitrary initial and boundary conditions, and for the drift-diffusion-reaction equations as well. A detailed description is given for 3D problems. Some extensions to nonlinear problems are discussed. First publication of this technique can be seen in the recent paper [2].

Support of the Russian Science Foundation under the grant N 19-11-00019 is kindly acknowledged.

References

1. K. K. Sabelfeld, Monte Carlo Methods in Boundary Value Problems, Springer, Berlin, 1991.
2. K. K. Sabelfeld, A global random walk on spheres algorithm for transient heat equation and some extensions, Monte Carlo Methods and Applications, v.25 (2019), issue 1, 85-96.

Численное моделирование локальных атмосферных процессов с использованием суперкомпьютера и приборной базы ЦКП "Атмосфера"

A. B. Старченко¹, A. A. Барт¹, Л. И. Кижнер¹, С. Л. Одинцов²

¹*Томский государственный университет*

²*Институт оптики атмосферы СО РАН*

Email: starch@math.tsu.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10025

Для моделирования атмосферных процессов и эффекта "остров тепла" над городом привлекается разрабатываемая в ТГУ мезомасштабная метеорологическая модель высокого разрешения TCUNM3 [1] с новой схемой параметризации взаимодействия атмосферного пограничного слоя с подстилающей поверхностью. Для повышения качества моделирования произведено сопряжение мезомасштабной модели с расчетами по глобальной модели прогноза погоды Гидрометцентра РФ ПЛАВ [2]. Для оценки качества прогнозирования мезомасштабных атмосферных процессов над городом привлекаются данные метеонаблюдений, получаемых с помощью приборной базы ЦКП "Атмосфера" ИОА СО РАН [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 19-71-20042).

Список литературы

1. Starchenko A.V., Bart A.A., Bogoslovsky N.N., Danilkin E.A., Terenteva M.V. Mathematical modelling of atmospheric processes above an industrial centre // Proc. of SPIE 9292, 20th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 2014, Vol. 9292. 929249-1-929249-30.
2. Толстых М.А., Богословский Н.Н., Шляева А.В., Юрова А.Ю. Полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ / Гидрометцентр России 80 лет. М: Триада, 2010, с. 193-216.
3. <https://iao.ru/ru/structure/juc>.

Fractional equations for earthquake aftershocks dynamics*V. V. Uchaikin**Ulyanovsk State University**Email: vuchaikin@gmail.com*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10026

As known, the first shock of an earthquake is normally accompanied with a sequence of aftershocks. The aftershocks follow one after another in random time intervals at random points. On assumption that the time intervals and distances between points be independent between one another and among themselves (what doesn't contradict observation data, at least obviously), the random sequence of aftershocks is suggested to be considered as a trajectory of some Markov chain in the coordinate-time phase space (Helmstetter and D.Sornette, 2002).

In the framework of this model, the average density of shocks in a homogeneous boundless seismic medium obeys the linear integral equation

$$n(\mathbf{x}, t) = \int_0^t \int_{\mathbf{R}^3} K(\mathbf{x} - \mathbf{x}', t - t') n(\mathbf{x}', t') d\mathbf{x}' dt' + d(\mathbf{x})d(t)$$

where $K(\mathbf{x} - \mathbf{x}', t - t')d\mathbf{x}'dt'$ is the probability that the next shock will occur in $d\mathbf{x}'dt'$ if the preceding one happened at $\mathbf{x}', t'$, and the last term in the equation relates to an initial shock. Our development of the model is based on the factorization hypothesis assuming separation of spatial and temporal variables in the transition probability, which leads to correspondent splitting of the equation. The second hypothesis laid into the base of the model is formulated by involving the fractal assumption for spatial and temporal interval between consecutive aftershocks. The resulting equations contain partial time- and space-derivatives of fractional orders. They are numerically solved by using Monte Carlo technique and results are discussed.

Исследование фотофореза аэрозольных частиц в атмосфере Земли на основе использования метода Монте-Карло*А. А. Черемисин**Институт химической кинетики и горения СО РАН**Email: aacheremisin@gmail.com*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10027

Для моделирования фотофореза сложных аэрозольных кластеров в разреженной газовой среде был разработан алгоритм расчета фотофоретических сил, действующих на частицу, а также сил вязкого трения и их моментов. Алгоритм основан на приближении свободномолекулярного режима газокинетической теории и оценке специальных матриц переноса методом Монте-Карло [1].

В настоящее время были пересмотрены некоторые положения теории гравитофотофореза. Рассчитано фотофоретическое взаимодействие аэрозольных частиц и кластеров. Привлечение фотофоретических сил позволяет объяснить, а также предсказать возможность существования ряда аэрозольных слоев в стратосфере и мезосфере. Существование слоев в стратосфере и мезосфере подтвердили результаты многолетних лидарных наблюдений с помощью Сибирско-Дальневосточной сети стратосферных лидарных станций.

Список литературы

1. Cheremisin A. A. Transfer matrices and solution of the heat-mass transfer problem for aerosol clusters in a rarefied gas medium by the Monte Carlo method // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2010. V. 25, I.3. P. 209–233.

Прикладные обратные задачи для параболических уравнений*М. А. Шишленин^{1,2}**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**Новосибирский государственный университет**Email: maxim.shishlenin@sscc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10028

В настоящее время опубликовано много работ, посвященных задаче нахождения коэффициентов параболических уравнений в случае, когда данные обратной задачи задаются в виде нелокальной информации (интеграл по времени или по пространству) или данные задаются на заданной кривой [1-3]. Подобные обратные задачи возникают в теплопереносе, термоэластичности, неразрушающем контроле, химической кинетике, медицине, социологии и т. д.

В данной работе предложены алгоритмы решения коэффициентных обратных задач параболических уравнений на основе метода обращения разностной схемы и градиентного метода. Представлены результаты численных расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-01-00694).

Список литературы

1. Cannon J.R., Rundell W. Recovering a Time Dependent Coefficient in a Parabolic Differential Equation // J. Math. Anal. Appl. 1991. V. 160. P. 572-582.
2. Ivanchov N.I. On the Determination of the Time-Dependent Leading Coefficient in a Parabolic Equation // Siberian Mathematical Journal. 1998. V. 39(3). P. 465-475.
3. Kabanikhin, S.I., Shishlenin, M.A. Recovering a Time-Dependent Diffusion Coefficient from Nonlocal Data. 2018. Numerical Analysis and Applications, 11(1). P. 38-44.

Секция 1. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ АЛГЕБРА И МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ

Аспекты вычисления детерминантов матриц и их распределений по определителям

Н. А. Антипин

Московский технологический университет (МИРЭА)

Email: myantip@yandex.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10029

В статье рассматриваются данные, полученные с помощью алгоритмов, разработанных с использованием встроенных и невстроенных типов данных в стандартных языках программирования. Приводятся распределения матриц из 0 и 1 по детерминантам для 8-го порядка – пересчетом детерминантов всех матриц, для матриц порядка с 9-го по 11-й точно (используется метод Монте-Карло и ищутся лишь отдельные детерминанты, без указания количества для данного порядка). Также с помощью алгоритмов для невстроенных типов данных была получена матрица 64-го порядка с отношением количества 0 к 1 – 1:3, с определителем равным простому числу, а также ее обратная. Анализировались вычисления детерминантов для матриц более высоких матриц – 128 и 256. Результаты данных вычислений могут быть полезны при передаче информации в открытых сетях, а также в естественных теоретических и инженерных науках.

Список литературы

1. Антипин Н. А. Теоретические и практические аспекты матриц из нулей и единиц // Альманах мировой науки, 2018 г, № 1(21). С. 6-35.
2. Антипин Н. А. Разреженные матрицы из нулей и единиц // Перспективы развития науки и образования: Сборник научных трудов, 2017 г. С. 6-10, ISBN 978-5-9500654-2-2.
3. Антипин Н. А. Макеев В. Н., Манеев Р. Ю., Федулов Ф. А. Теоретико-числовые аспекты шифра Хилла для матриц различного порядка // Альманах мировой науки, 2016 г, № 1-1(4). С. 6-10.

Формальная спецификация и верификация стандартных математических функций

И. С. Ануреев¹, Е. В. Бодин¹, Д. А. Кондратьев¹, А. В. Промский¹, Н. В. Шилов², С. О. Шилова, Б. Л. Файфель³

¹Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН

²АНО ВО Университет Иннополис

³Саратовский государственный технический университет

Email: anureev@iis.nsk.su

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10030

Цель проекта "Платформенно-независимый подход к формальной спецификации и верификации стандартных математических функций" – инкрементальный комбинированный подход к спецификации и верификации машинных реализаций математических функций (таких как $\sqrt{}$, $\cos$, $\sin$ и так далее). Платформенно-независимый подход предполагает простую аксиоматизацию машинной арифметики в терминах вещественной арифметики (т. е. арифметики поля вещественных чисел), но не фиксируя ни основание системы счисления, ни формата машинного слова. Инкрементальный подход в данном случае означает, что спецификация и верификация начинается с рассмотрения наиболее "простого" случая – элементарной спецификации и верификации простого алгоритма, работающего с вещественными числами, а заканчивается – модификацией элементарной спецификации и алгоритма для машинной арифметике и верификацией этого алгоритма, работающего в машинной арифметике. А комбинированный подход означает, что для элементарного случая мы проводим "ручную" верификацию (с ручкой и бумагой), затем выполняем ручную верификацию алгоритма, работающего в машинной арифметике, используя верификацию для элементарного случая в качестве "конспекта", а заканчиваем – верификацией с использованием автоматизированной системы построения/поиска доказательства для того, что бы исключить апелляцию к "очевидности" в ручной верификации. В настоящей работе платформенно-независимый инкрементальный комбинированный подход применяется для спецификации и верификации функции квадратного корня $\sqrt{}$ и тригонометрических функций $\cos$ и $\sin$, вычисляющих

аппроксимацию с определяемым пользователем точностью (ошибкой) в арифметике с фиксированной и плавающей запятой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00789).

Список литературы

1. Muller J.-M. Elementary Functions: Algorithms and Implementation. Birkhauser, 2005.
2. Muller J.-M. et al. Handbook of Floating-Point Arithmetic. 2nd eddition, Birkhauser, 2018.
3. Harrison J. Formal Verification of Square Root Algorithms // Formal Methods in System Design. 2003. V. 22, №2. P. 143–153.
4. Кулямин В. В. Стандартизация и тестирование реализаций математических функций, работающих с числами с плавающей точкой // Программирование. 2007. Т. 33, № 3. С. 1–29.
5. Шилов Н. В., Кондратьев Д. А., Ануреев И. С., Бодин Е. В., Промский А. В. Платформенно-независимая верификация квадратного корня // Моделирование и анализ информационных систем. 2018. Т. 25, № 6. С. 637–666.
6. Shilov N. V., Faifel B.L., Shilova S.O., Promsky A.V. Towards platform-independent specification and verification of the standard trigonometry functions. [Электрон. ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/1901.03414> (дата обращения: 01.04.2019).

Об алгоритмах отыскания наименьшего расстояния между системами точек в пространстве

И. А. Блатов, Е. В. Кутаева

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Email: blatow@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10031

Пусть в пространстве заданы два конечных множества M и N , каждое из которых состоит из n точек. Рассматривается задача отыскания такого положения этих множеств в пространстве и паросочетания их вершин, чтобы сумма квадратов попарных расстояний между ними была минимальной.

Если оптимальное паросочетание уже установлено, то поставленная задача решается за $O(n)$ операций с помощью алгоритма Кабша [1]. Полный перебор всевозможный паросочетаний требует рассмотрения $n!$ случаев. Если положение систем точек в пространстве фиксировано, то наилучшее паросочетание может быть найдено с помощью венгерского алгоритма [2] за $O(n^3)$ действий. В настоящее время неизвестен алгоритм отыскания наилучшего паросочетания и соответствующего минимального расстояния за полиномиальное время. В докладе рассматриваются алгоритмы на основе сочетания венгерского алгоритма и алгоритма Кабша, позволяющие приближенно найти решение задачи с заданной точностью за полиномиальное время.

Список литературы

1. W. Kabsch. A solution of the best rotation to relate two sets of vectors. Acta Crystallographica, 32:922–923, 1976.
2. H.W. Kuhn. The Hungarian Method for the Assignment Problem. Naval Research Logistics, 52(1):7–21, 2005.

Сравнение двух подходов к выбору начального приближения при решении нестационарного уравнения теплопроводности с учетом фазовых переходов

В. С. Гладких, А. В. Петухов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: gladvs_ru@mail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10032

Численное моделирования нестационарных тепловых полей с учетом фазовых переходов является трудоемкой задачей. Основные временные затраты приходятся на решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), получаемых путем дискретизации исходной задачи. Одним из способов сокращения времени решения СЛАУ является выбор начального приближения. В данной работе рассматриваются два подхода для нахождения начального приближения: метод предиктор-корректор и выбор оптимальной линейной комбинации из нескольких решений, полученных на предыдущих временных шагах. Сравнение времен работы представлены для численного моделирования трехмерных те-

пловых полей при наличии эксплуатационных скважин с учетом сезонных колебаний температуры на поверхности грунта на вычислительных системах с общей памятью.

Работа выполнена при поддержке гранта 16-29-15122-оф-м Российского фонда фундаментальных исследований.

Совместное применение итерационных методов в подпространствах Крылова и МНК для решения СЛАУ

Я. Л. Гурьева¹, В. П. Ильин^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: yana@lapasrv.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10033

Рассматривается комбинированный итерационный процесс Чебышева – наименьших квадратов в подпространствах Крылова для решения разреженных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Подход является обобщением ускорения Андерсона итерационного метода Якоби, который является альтернативой методов в подпространствах Крылова. Предлагаемый алгоритм основан на построении некоторого базиса в подпространствах Крылова и минимизации нормы вектора невязки с помощью процедуры наименьших квадратов. Эффективность подхода продемонстрирована на результатах численных экспериментов на множестве модельных СЛАУ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00295).

Адаптивные формулы численного дифференцирования при наличии пограничного слоя

А. И. Задорин¹, В. П. Ильин²

¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: zadorin@ofim.oscsbras.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10034

Исследуется задача численного дифференцирования функции одной переменной с большими градиентами в пограничном слое. Применение классических полиномиальных формул к такой функции может приводить к неприемлемым погрешностям. Для функции используется декомпозиция на сумму регулярной и сингулярной составляющих. Сингулярная составляющая, отвечающая за большие градиенты функции в пограничном слое, предполагается известной с точностью до множителя функцией общего вида. На равномерной сетке строятся формулы численного дифференцирования, точные на сингулярной составляющей, и оценивается их погрешность. В частности, доказывается, что в случае экспоненциального пограничного слоя и логарифмической особенности погрешность зависит от числа узлов формулы численного дифференцирования и равномерна по малому параметру. Показана возможность применения полиномиальных формул численного дифференцирования на сетке Шишкина.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-29-15122) и программой 1.1.3 фундаментальных исследований СО РАН (проект 0314-2019-0009).

О решателях в регулярных подобластях при декомпозиции 3D краевых задач

И. А. Климонов¹, В. М. Свешников^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: victor@lapasrv.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10035

Декомпозиция расчетной 3D области на подобласти без пересечения параллелепипедальной макросеткой приводит к появлению регулярных параллелепипедальных подобластей. В каждой подобласти решается краевая подзадача на своей подсетке. Решение краевых подзадач занимает основное время решения всей задачи и поэтому должно проводиться быстрыми методами и программами (решателями). В докладе приводятся результаты экспериментальных исследований эффективности различных

решателей для регулярных подобластей. Используются коды из библиотеки MKL и программы, реализующие трехмерный аналог метода Писмана – Рэчфорда [1]. Рассматриваются случаи однократного и многократного решения подзадач, что имеет место, например, при решении самосогласованных задач сильноточной электроники.

Список литературы

1. Климонов И.А., Корнеев В.Д., Свешников В.М. Технологии распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках в гибридной вычислительной среде CPU+GPU // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2016. Т. 17. № 1. С. 65-71.

Технологии распараллеливания и параллельные структуры данных для решения 3D краевых задач на квазиструктурированных сетках

В. Д. Корнеев¹, В.М. Свешников^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: victor@lapasrv.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10036

Разработка технологий и параллельных структур данных является важным звеном при решении трехмерных краевых задач особенно в областях со сложной геометрией. От них зависит объем хранимой информации и время решения. В докладе предлагаются технологии распараллеливания метода декомпозиции расчетной области на подобласти без пересечения, основанном. Расчеты проводятся на квазиструктурированных сетках. Разработаны параллельные сеточные структуры данных, ориентированные преимущественно на работу со структурированными массивами данных. Приведен иллюстративный пример, показывающий основные положения предлагаемого подхода. Доклад основан на работах авторов [1,2].

Список литературы

1. Korneev V. D., Sveshnikov V. M. Parallel algorithms and domain decomposition techniques for solving three-dimensional boundary value problems on quasi-structured grids // Numerical analysis and applications. 2016. Vol. 9, Issue 2. P. 141-149.

2. В.Д. Корнеев, В.М. Свешников Параллельные технологии и сеточные структуры данных для решения трехмерных краевых задач в сложных областях на квазиструктурированных сетках // Вычислительные методы и программирование. Т. 19. 2018. С. 496–506.

Бипараболический метод решения нелинейных уравнений

В. Л. Мирошниченко^{1,2}

¹Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: miroshn@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10037

Предлагается метод решения нелинейного уравнения $f(x)=0$ в предположении, что его корень принадлежит отрезку $[a, b]$, причем $f(a) \cdot f(b) < 0$. Одной из типичных задач, где требуется многократное и быстрое решение таких уравнений, является задача о построении изолиний функции двух переменных.

В предлагаемом методе на отрезке $[a, b]$ добавляются два узла: x_1 и x_2 . Затем по узлам (a, x_1, x_2) и (x_1, x_2, b) строятся соответственно две параболы P_1 и P_2 , аппроксимирующие функцию $f(x)$. Оказывается, если производная $f''(x)$ на отрезке $[a, b]$ знакопостоянна (как правило, в практических задачах это имеет место, когда отрезок $[a, b]$ мал), то корень уравнения $f(x)=0$ находится между корнями парабол P_1 и P_2 , что позволяет значительно сузить интервал поиска корня. Если же условие знакопостоянства $f''(x)$ не выполнено, то для сужения интервала поиска корня можно воспользоваться знаками значений $f(x_1)$ и $f(x_2)$. Высокая эффективность бипараболического метода подтверждается многолетним опытом его применения.

Сравнение методов алгебраической декомпозиции областей для решения СЛАУ*Г. А. Омарова, Д. В. Перевозкин**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**Email: gulzira@rav.sgcc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10038

Рассматриваются методы алгебраической декомпозиции для решения больших СЛАУ с разреженной квадратной вещественной матрицей. Упомянутые алгоритмы основаны на анализе структуры графа, построенного на матрице системы. Результатом их работы является разбиение СЛАУ на крупные блоки, которые затем обрабатываются прямыми или итерационными методами. Сравнение эффективности разработанных алгоритмов иллюстрируется результатами численных экспериментов по решению различных алгебраических задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00295 А).

Методы предобуславливания, основанные на графовых преобразованиях*Г. А. Омарова, Д. В. Перевозкин**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**Email: gulzira@rav.sgcc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10039

В работе продолжено исследование, начатое в [1] и дополненное [2]. Рассматриваемые методы предобуславливания основаны на алгоритмах построения остовных деревьев, где в качестве исходного графа выступает граф, построенный на матрице СЛАУ. Методы исследуются применительно к решению различных СЛАУ с квадратной вещественной матрицей. Приводятся результаты численных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00295 А).

Список литературы

1. Pravin M. Vaidya. Solving linear equations with symmetric diagonally dominant matrices by constructing good preconditioners. Unpublished manuscript. A talk based on the manuscript was presented at the IMA Workshop on Graph Theory and Sparse Matrix Computation, October 1991, Minneapolis.
2. Chen D, Toledo S. Implementation and evaluation of Vaidya's preconditioners. Preconditioning 2001. 2001.

Двухуровневые предобусловленные методы в подпространствах Крылова*Д. В. Перевозкин**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**Email: foxillys@gmail.com*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10040

Рассматриваются некоторые модификации итерационных методов в подпространствах Крылова. В большинстве случаев, общеизвестные методы периодически совершают рестарт для погашения ошибок округления, а также для контроля трудоемкости шага в методах с длинными рекурсиями. Как правило, при рестарте теряется информация и можно считать, что итерационный процесс начинается с нуля, за исключением информации о текущем итерационном приближении. Предлагаемые методы позволяют сохранить часть информации об итерационном процессе при рестарте и использовать ее в дальнейшем. Сравнение эффективности разработанных алгоритмов иллюстрируется результатами численных экспериментов по решению различных алгебраических задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00295 А).

Матричный алгоритм вычисления цепных дробей

Л. В. Пехтерева¹, В. А. Селезнев²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Новосибирский государственный университет

Email: pekhtereva@corp.nstu.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10041

В работе рассматривается матричное представление конечных цепных дробей, полученное как алгебраическая формализация алгоритма Евклида. Полученное представление позволяет интерпретировать алгоритм "вытянутых носов" Минковского как последовательность унимодулярных морфизмов целочисленной плоской решетки. В качестве приложений получен алгоритм представления унимодулярных морфизмов целочисленной решетки, основанный на взаимно однозначном соответствии рациональных чисел и унимодулярных матриц второго порядка с целочисленными положительными элементами. Приводятся свойства полученного представления, упрощающие вычисление цепных дробей. Рассматриваются вопросы численной реализации статистики распределения натуральных чисел в представлении бесконечных цепных дробей.

Кубатурные формулы на сфере, инвариантные относительно преобразований группы диэдра D3d

А. С. Попов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: popov@labchem.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10042

Кубатурные формулы на сфере, инвариантные относительно преобразований различных диэдральных групп симметрии, рассматривались в работах [1–3]. В частности, в [3] был предложен алгоритм построения наилучших (в некотором смысле) кубатур на сфере, инвариантных относительно преобразований группы вращений диэдра с инверсией D5d. В данной работе будет описан аналогичный алгоритм построения наилучших кубатур, инвариантных относительно преобразований группы вращений диэдра с инверсией D3d. Будут проведены расчеты по этому алгоритму с целью определить параметры всех наилучших кубатур данной группы симметрии до 35-го порядка точности.

Список литературы

1. Казаков А. Н., Лебедев В. И. Квадратурные формулы типа Гаусса для сферы, инвариантные относительно группы диэдра // Труды МИРАН. М.: Наука, 1994. Т. 203. С. 100–112.
2. Popov A. S. Cubature formulae for a sphere invariant under cyclic rotation groups // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 1994. Vol. 9, No. 6. P. 535–546.
3. Попов А. С. Кубатурные формулы на сфере, инвариантные относительно группы вращений диэдра с инверсией D5d // Сибирские электронные математические известия. 2018. Т. 15. С. 389–396.

Спектральные характеристики операторов дифференцирования и интегрирования относительно ортогональных финитных функций. I. Симметричные сплайны

К. А. Рыбаков, В. В. Рыбин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Email: rkoffice@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10043

В первой части работы сформированы алгоритмы расчета спектральных характеристик операторов дифференцирования и интегрирования относительно системы ортогональных финитных функций, которая порождается с помощью масштабирования и сдвига симметричного кусочно-линейного сплайна [1]. Система ортогональных финитных функций, порожденная несимметричным кусочно-линейным сплайном, рассмотрена во второй части работы [2].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-08-00530).

Список литературы

1. Леонтьев В. Л. Ортогональные финитные функции и численные методы. Ульяновск: УлГУ, 2003.
2. Рыбаков К. А., Рыбин В. В. Спектральные характеристики операторов дифференцирования и интегрирования относительно ортогональных финитных функций. II. Несимметричные сплайны // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики (АПВПМ-2019). Международная конференция, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.: Тез. докл. Новосибирск, 2019.

Спектральные характеристики операторов дифференцирования и интегрирования относительно ортогональных финитных функций. II. Несимметричные сплайны

К. А. Рыбаков, В. В. Рыбин

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Email: rkoffice@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10044

Во второй части работы сформированы алгоритмы расчета спектральных характеристик операторов дифференцирования и интегрирования относительно системы ортогональных финитных функций, которая порождается с помощью масштабирования и сдвига несимметричного кусочно-линейного сплайна [1]. Симметричный кусочно-линейный сплайн рассмотрен в первой части работы [2]. Полученные результаты включены в библиотеку элементарных алгоритмов спектрального метода анализа и синтеза систем автоматического управления [3].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-08-00530).

Список литературы

1. Леонтьев В. Л. Ортогональные финитные функции и численные методы. Ульяновск: УлГУ, 2003.
2. Рыбаков К. А., Рыбин В. В. Спектральные характеристики операторов дифференцирования и интегрирования относительно ортогональных финитных функций. I. Симметричные сплайны // Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики (АПВПМ-2019). Международная конференция, Новосибирск, 1–5 июля 2019 г.: Тез. докл. Новосибирск, 2019.
3. Рыбаков К. А., Рыбин В. В. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета систем автоматического управления в спектральной форме математического описания / В кн. Современная наука: теоретические, практические и инновационные аспекты развития. Т. 2. Ростов-на-Дону: Изд-во Международного исследовательского центра "Научное сотрудничество", 2018. С. 171–199.

Численное моделирование собственных колебаний оболочки с присоединенными грузами

А. А. Самсонов¹, Д. М. Коростелева², С. И. Соловьев¹, П. С. Соловьев¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет

² Казанский государственный энергетический университет

Email: anton.samsonov.kpfu@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10045

Рассматривается задача о собственных колебаниях пологой оболочки с упруго присоединенными грузами. Эта задача сводится к определению собственных значений и собственных функций задачи на собственные значения для системы дифференциальных уравнений с рациональной зависимостью от спектрального параметра. Исходная задача аппроксимируется задачей в конечномерном подпространстве, которая эквивалентна матричной задаче на собственные значения с рациональной зависимостью от спектрального параметра. Исследуются существование и свойства решений. Для решения рациональной матричной задачи на собственные значения построен блочный метод обратной итерации. Установлена сходимость этого метода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-41-160029. Работа поддержана РФФИ (коды проектов 17-08-01279, 19-08-01184).

Метод итерации подпространства решения матричных задач на собственные значения с нелинейным вхождением спектрального параметра

П. С. Соловьев¹, Д. М. Коростелева², С. И. Соловьев¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет

²Казанский государственный энергетический университет

Email: pavel.solovev.kpfu@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10046

Рассматривается обобщенная задача на собственные значения с симметричными положительно определенными матрицами, нелинейно зависящими от спектрального параметра. Предполагается, что отношение Рэлея является невозрастающей функцией числового аргумента. Установлено существование решений и изучены свойства собственных значений и собственных векторов задачи. Для решения нелинейной задачи на собственные значения построен блочный вариант метода обратной итерации. Исследована сходимость предложенного итерационного метода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта №18-41-160029. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (коды проектов 17-08-01279, 19-08-01184).

Секция 2. ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Методы вычисления спектра дифференциальных операторов

Э. А. Бибердорф^{1,2}, А. М. Блохин^{1,2}, А. А. Косачев¹, Н. И. Попова³

¹Новосибирский государственный университет

²Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

³Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН

Email: biberdorf@ngs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10047

В данной работе развивается идея использования метода дихотомии матричного спектра для исследования устойчивости течений [1-2]. Этот метод обладает целым рядом очевидных преимуществ. Например, его применение позволяет исследовать интересные с практической точки зрения собственные значения отдельно от остального спектра, а также определять их зависимость от параметров исходной задачи.

Также для целей исследования спектра дифференциальных операторов предлагаются методы, основанные на вычислении либо фундаментальной матрицы решений, либо функции Грина соответствующих краевых задач. Сравнение этих проведено на модельных примерах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00791).

Список литературы

1. Бибердорф Э.А., Блинова М.А., Попова Н.И. Модификации метода дихотомии матричного спектра и их применение к задачам устойчивости // СибЖВМ, 2018, Т. 21, № 2. С. 139-153
2. Блинова М.А., Попова Н.И., Бибердорф Э.А. Приложение дихотомии матричного спектра к исследованию устойчивости течений // Труды конференции "Марчуковские научные чтения – 2017". С. 106-112

Численный анализ стационарных неизотермических течений полимерной жидкости в каналах с тонкими включениями

А. М. Блохин^{1,2}, Е. А. Круглова^{2,3}, Б. В. Семисалов^{2,3}

¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

²Институт вычислительных технологий СО РАН

³Новосибирский государственный университет

Email: blokhin@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10048

Для описания течений несжимаемой вязкоупругой полимерной жидкости использована реологическая мезоскопическая модель Покровского – Виноградова [1]. Дано обобщение модели для учета температурных и электромагнитных воздействий. Для расчета стационарных двумерных течений, схожих по своим качественным свойствам с течениями Пуазейля, получена система разрешающих квазилинейных уравнений для скорости течения, температуры и магнитного поля. На основе нелокального алгоритма [2], использующего приближения без насыщения, проведен численный анализ течений в каналах с сечениями прямоугольной, круговой и эллиптической форм с тонкими включениями – нагревательными элементами. Даны оценки погрешности численных решений, см. [3].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №17-71-10135).

Список литературы

1. Pokrovskii V. N. The Mesoscopic Theory of Polymer Dynamics. Springer, Berlin, 2nd ed., 2010.
2. Семисалов Б. В. Быстрый нелокальный алгоритм решения краевых задач Неймана–Дирихле с контролем погрешности // Выч. мет. программирование. 2016. Т. 17, №4. С. 500–522.

3. Блохин А.М., Круглова Е.А., Семисалов Б.В. Оценка двух компонент погрешности численного решения задачи о неизотермическом течении полимерных растворов между двумя соосными цилиндрами // Журн. выч. мат. и мат. физ. 2018. Т. 58, № 7. С. 1099–1115.

Об использовании сопряженных операторов для численного решения трехмерных уравнений неразрывности и переноса

А. В. Вяткин¹, Е. В. Кучунова²

¹*Институт вычислительного моделирования СО РАН*

²*Сибирский федеральный университет*

Email: vyatkin@icm.krasn.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10049

В работе представлен явный численный метод из семейства полулагранжевых методов для решения трехмерного уравнения неразрывности. Алгоритм основан на расщеплении трехмерной задачи на три одномерных задачи и имеет первый порядок сходимости численного решения задачи к точному решению. На основе представленного численного метода сформирована матрица для поиска численного решения. С использованием сопряженных операторов теоретически подтверждено, что использование сопряженной матрицы позволяет построить численное решение переноса. Проведенные вычислительные эксперименты подтверждают сходимость построенного таким образом численного решения уравнения переноса к точному решению.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: "Численное моделирование формирования квазиустойчивых фигур, образованных многокомпонентной газовой смесью, вытекающей из промышленной дымовой трубы", проекта № 18-41-243006.

Применение коллокации в методе конечных элементов для трехмерного уравнения реакции – диффузии

Л. В. Гилева, Е. Д. Карпова, В. В. Шайдулов

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Email: gileva@icm.krasn.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10050

Построены новые кубические прямоугольные эрмитовы элементы (двумерные и трехмерные), степени свободы которых содержат значения функции и ее вторых производных в узлах. Это позволяет применить коллокацию при решении некоторых задач, например, уравнения реакции-диффузии [1]. В результате удастся исключить часть неизвестных из системы уравнений и тем самым уменьшить ее размерность. Доказано, что при этом сохраняется порядок сходимости приближенного решения, а именно, четвертый порядок в среднеквадратичной норме. Показано, что матрица редуцированной системы уравнений также является матрицей системы уравнений метода конечных элементов, но для элементов с меньшим числом степеней свободы. Это существенно упрощает построение редуцированной матрицы, поскольку ее элементы могут быть вычислены непосредственно, без использования элементарных преобразований строк исходной матрицы. Проведены численные эксперименты для двумерного уравнения реакции-диффузии с переменным коэффициентом и для трехмерного уравнения Пуассона. Их результаты подтверждают теоретические оценки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00270-а).

Список литературы

1. L. Gileva, E. Karepova, V. Shaidurov. The Application of a Special Hermite Finite Element Coupled with Collocation to the Diffusion Equation // Lecture Notes in Computer Science, 2019. V. 11386, P. 44-55.

Расчет интенсивного межфазного взаимодействия в газозвесах на основе гидродинамики сглаженных частиц

Т. А. Глушко^{1,2}, О. П. Стояновская^{1,3,4}, Ф. А. Окладников¹, Н. В. Снытников⁵, В. Н. Снытников^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

³Институт вычислительных технологий СО РАН

⁴Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

⁵Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: ta-savvateeva@ya.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10051

Расчет динамики газопылевых сред (газовзвесей) востребован в ряде приложений, в которых частицы пыли могут иметь размеры от нанометров до миллиметра и более. Из-за большого диапазона размеров частиц возможна реализация различных режимов трения между газом и частицами. В режиме Эпштейна сила трения линейно зависит от относительной скорости между газом и телами, в режиме Стокса – нелинейно. Кроме того, для мелких тел время установления относительных скоростей между газом и пылью может быть много меньше характерных времен задачи. Поэтому определяющими параметрами задачи расчета взаимного обмена импульсом между пылью и газом являются жесткость и нелинейность системы, что накладывает большие требования на применяемые методы. В работе предлагается алгоритм для метода гидродинамики сглаженных частиц, позволяющий рассчитывать взаимный обмен импульсом между газом и пылью [1] для широкого диапазона размеров частиц. На ряде тестовых задач проведено сравнение предложенного алгоритма с классическим для гидродинамики сглаженных частиц подходом [2] и показано, что новый предлагаемый алгоритм имеет более высокую точность.

Список литературы

1. Stoyanovskaya O. P., Glushko T. A., Snytnikov N. V., Snytnikov V. N. Two-fluid dusty gas in smoothed particle hydrodynamics: Fast and implicit algorithm for stiff linear drag. *Astronomy and Computing*. 2018. Vol. 25. P. 25-37.
2. Monaghan, J.J., Kocharyan, A., 1995. SPH simulation of multi-phase flow. *Computer Physics Communications*. 87. P. 225–235.

Естественные уравнения фильтрации. Фиаско "закона Дарси"

К. Б. Джакупов

Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы) Казахстан

Email: jakupovkb@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10052

Тезисы печатаются в авторской редакции

Дана теория естественных уравнений фильтраций. Естественность новых уравнений заключается в том, что они являются точными следствиями фундаментальных законов физики, непосредственно учитывают плотность и пористость грунта, вязкость и плотность фильтрационной жидкости, дренаж, влияние силы тяжести и др. Установлена фальшивость традиционного уравнения неразрывности в теории фильтрации. Из уравнения динамики сплошной среды в напряжениях выводятся новые уравнения фильтрации, включающие плотность, вязкость фильтрационной жидкости и пористость грунта. Установлена неадекватность моделирования фильтрации уравнениями с законом трения Ньютона. Численно подтверждена эффективность моделирования фильтрации уравнениями Джакупова, основанных на степенных законах трения с нечетными показателями степеней, с применением которых проведены расчеты фильтрации в скважине, дренажа под действием силы тяжести, вытеснения нефти водою из подземного ареала через две симметрично расположенные шурфы.

Список литературы

1. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод.-М.: "Наука", 1977г.
2. H.Darcy. Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris, 1856.
3. Джакупов К.Б. Компильативность "закона Дарси" в теории фильтрации // Известия НАН РК, сер физ.-мат., 6(316) 2017г. С.115-131.

4. Джакупов К.Б. Ликвидация фальсификаций и модернизация основ механики сплошной среды.-Алматы: Типография "Гылым ордасы". 2017.С.435.
5. Jakupov K.B. Rheological laws of viscous fluid dynamics // Известия НАН РК, сер.физ.-мат., 1(293), 2014. С. 51-55.

Численная аппроксимация модели срочного американского опциона с использованием полулагранжева подхода

А. А. Ефремов¹, В. В. Шайдуров²

¹*Институт вычислительного моделирования СО РАН*

Email: efremov@icm.krasn.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10053

Одной из прикладных областей в которых параболические уравнения играют важную роль является финансовая математика. В области стохастической финансовой математики возникает одна из открытых финансовых задач — ценообразование американского опциона [1]. Для модели ценообразования срочного американского опциона отсутствует решение в общем виде, поэтому особенно важно решать данную систему с высокой точностью. В докладе представлена численная схема решения системы, полученная с использованием полу-лагранжева подхода [2, 3]. Схема обладает вторым порядком точности для шага по пространству и первым порядком точности для шага по времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-47-242005).

Список литературы

1. Jiang, L & Li, C. (2005). Mathematical modeling and methods of option pricing. 10.1142/5855.
2. Магомедов К.М. Метод характеристик для численного решения пространственных течений газа // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1966. Т. 6. № 2. С. 313-325.
3. Wiin-Nielson On the application of trajectory methods in numerical forecasting // Tellus. – 1959.Vol. 11. P. 180-186.

Смешанный метод конечных элементов решения вырожденной задачи Неймана

М. И. Иванов^{1,2}, И. А. Кремер^{1,2}, Ю. М. Лаевский^{1,2}

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

E-mails: ivanov@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10054

В работе предложен и обоснован новый способ решения вырожденной задачи Неймана смешанным методом конечных элементов. Рассмотрены прямая и двойственная смешанные постановки задачи Неймана в трехмерных областях с различными требованиями к регулярности решения [1]. По аналогии с [2, 3] обсуждаются варианты получения расширенных невырожденных постановок смешанных задач. На примерах численного решения модельных задач исследуются свойства предложенного алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект № 19-11-00048.

Список литературы

1. F. Brezzi and M. Fortin, Mixed and Hybrid Finite Element Methods, Springer-Verlag, New York, 1991.
2. М. И. Иванов, И. А. Кремер, М. В. Урев, Решение вырожденной задачи Неймана методом конечных элементов // Сиб. журн. вычисл. Математики, Том 22, № 4 (2019), в печати.
3. P. Bochev and R. B. Lehoucq, On the finite element solution of the pure Neumann problem // SIAM Review, 47:1 (2005), 50-66.

Численное решение интегральных уравнений трехмерных задач Дирихле для уравнения Гельмгольца с использованием мозаично-скелетонного метода*А. А. Каширин, С. И. Смагин, М. Ю. Тимофеев**ВЦ ДВО РАН**Email: elomer@mail.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10055

Рассматриваются трехмерные задачи Дирихле для уравнения Гельмгольца. Они сводятся к граничным слабо сингулярным интегральным уравнениям Фредгольма первого рода. Эти уравнения приближаются системами линейных алгебраических уравнений, которые затем решаются обобщенным методом минимальной невязки. Вычислительная сложность решения снижается за счет использования мозаично-скелетонного метода. Приводятся результаты вычислительных экспериментов [1, 2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00682) и Программы фундаментальных исследований ДВО РАН (код проекта 18-5-100).

Список литературы

1. Каширин А.А., Смагин С.И., Талтыкина М.Ю. Применение мозаично-скелетонного метода при численном решении трехмерных задач Дирихле для уравнения Гельмгольца в интегральной форме // ЖВМиМФ. – 2016. – Т. 56, № 4. – С. 625-638.
2. Каширин А.А., Талтыкина М.Ю. О существовании мозаично-скелетонных аппроксимаций дискретных аналогов интегральных операторов // ЖВМиМФ. – 2017. – Т. 57, № 9. – С. 20-32.

Моделирование процессов роста слоя льда при охлаждении поверхностей различных ориентаций*С. А. Кислицын, О. О. Гусельникова, В. С. Бердников, В. А. Гришков, О. С. Золотухина**Институт теплофизики СО РАН**Email: 100pch@mail.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10056

Численно и экспериментально исследованы процессы кристаллизации воды в прямоугольных полостях в режимах охлаждения вертикальной или одной из горизонтальных стенок до температуры ниже температуры кристаллизации. Численно исследована нестационарная конвекция с учетом инверсной зависимости плотности воды от температуры и теплоты кристаллизации. Расчеты проведены методом конечных элементов с использованием адаптивной треугольной сетки, отслеживающей положение фронта кристаллизации на каждом временном шаге и сгущением с обеих его сторон, а также в различной степени ко всем границам расчетной области. Результаты расчетов сопоставлены с данными эксперимента, в которых изучена эволюция полей скорости и фронта кристаллизации во времени.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты: 18-38-00790-мол_а, 19-08-00707а), Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН (проект III.18.2.5., Гос. рег. AAAA-A17-117022850021-3).

Применение адаптивных сеток при численном моделировании задач сопряженно-конвективного теплообмена при наличии фазовых переходов*С. А. Кислицын, К. А. Митин**Институт теплофизики СО РАН**Email: mitin@ngs.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10057

Численно методом конечных элементов решены задачи сопряженного конвективного теплообмена с учетом теплоты фазового перехода в методах направленной кристаллизации: в методах Бриджмена и Багдасарова [1, 2]. Формирование и продвижение фронта кристаллизации (ФК), приводит к необходимости использования адаптивных сеток, отслеживающих положение ФК. Перестроение и сгущение сетки позволяет более точно определять положение и форму ФК на каждом временном шаге.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 18-38-00790-мол_а), Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН (проект III.18.2.5., Гос. рег. AAAA-A17-117022850021-3).

Список литературы

1. Соловейчик Ю.Г., Рояк М.Э. Персова М.Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. Новосибирск : НГТУ, 2007.
2. Самарский А.А., Моисеенко Б.Д. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1965. Т.5, №5. С.816 – 827.

Алгоритмы решения сопряженных задач со свободными границами на несогласованных сетках

И. М. Кузьмин, Л. Е. Тонков

Удмуртский государственный университет

Email: imkuzmin@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10058

Рассматриваются численные схемы и параллельные алгоритмы решения сопряженных задач взаимодействия потоков жидкости и газа с деформируемыми телами при наличии развитой поверхности раздела фаз [1]. Исследуемые задачи характеризуются широким диапазоном линейных масштабов, (например, течения в пленках жидкости, колебания тонких пластин в потоке газа), что существенно повышает требования к дискретизации расчетной области и приводит к значительному росту вычислительных затрат и необходимости эффективной параллельной реализации вычислений.

Процедура численного решения строится в рамках разделенного подхода. Решение подзадачи динамики двухфазной среды основано на применении модификации VOF-метода [2] с эффективной процедурой регуляризации поверхности раздела фаз. Решение динамической задачи механики деформируемого твердого тела ищется в геометрически и физически нелинейной постановке с применением явных схем, учитывающих диссипативные свойства системы.

Применение несогласованных расчетных сеток в разделенном подходе предполагает процесс интерполяции между решениями каждой из физических подзадач на интерфейсной границе. Интерполяция осуществляется на основе метода радиальных базисных функций с глобальным и локальным носителем [3].

Программная модель разделенного подхода позволяет решать каждую подзадачу с использованием собственной модели параллелизма: задачу гидро- газодинамики на основе технологии MPI, динамическую задачу механики твердого тела OpenMP, задачу интерполяции данных и деформирования сетки в рамках гибридной модели OpenMP + CUDA.

Показана возможность эффективной и гибкой параллельной реализации алгоритмов решения рассматриваемых сопряженных задач с учетом особенностей каждой из подзадач разделенного подхода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00402).

Список литературы

1. Patel H., Das S., Kuipers J., Padding J., Peters E.A. Coupled volume of fluid and immersed boundary method for simulating 3d multiphase flows with contact line dynamics in complex geometries // Chemical Engineering Science. 2017. Vol. 166. P. 28–41.
2. Shams M., Raeini A.Q., Martin J.B., Branko B.A. Numerical model of two-phase flow at the micro-scale using the volume-of-fluid method // Journal of Computational Physics. 2018. Vol. 357. P. 159–182.
3. Копысов С. Р., Кузьмин И. М., Новиков А. К., Недозhogин Н. С., Тонков Л. Е. Radial basis function for parallel mesh-to-mesh interpolation in solving fluid-structure interaction problem // Izv. Inst. Mat. Inform. Udmurt. Gos. Univ. 2018. Vol. 51, P. 42–51.

Об одном варианте разрывного метода Галеркина

Ю. М. Лаевский, С. А. Литвиненко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: laev@labchem.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10059

В статьях [1] автором вводится новый способ дискретизации области при решении задачи диффузии. Ю.А. Кузнецов предлагает метод конечных элементов, основанный на кусочно-постоянной аппроксимации потоков в смешанной дифференциальной постановке уравнения диффузии. Рассмотрен двумерный случай с многоугольной сеткой. Можно предположить, что для трехмерной задачи реализация

еще более усложнится. Поэтому был выбран способ некоторого упрощения реализации без потери самой идеи – преобразовать предложенный метод посредством введения прямоугольной дискретизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-29-15122 офи_м)

Список литературы

1. Kuznetsov Yuri A. A. Mixed FE method with piece-wise constant fluxes on polyhedral meshes // Russ.J.Numer. Anal.Math.Modelling. -2014. -№29(4). -С. 231-237.

Аппроксимация одной задачи средне-полевых игр с дробной производной по времени

А. В. Лапин¹, S. Zhang², С. А. Лапин³

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет

²Tianjin University of Finance and Economics (Tianjin) Kumaй

³Washington State University (Pullman) США

Email: avlapine@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10060

We consider a mean field games model where the dynamics of the agents is subdiffusive. According to the optimal control interpretation of the problem, we have a system involving fractional time-derivatives equations. To approximate the state (Fokker-Planck) equation we use easily implementable operator splitting method. The solution of the constructed mesh state equation is proved to be strictly positive and keep an analogue of the mass balance condition.

The mesh adjoint state equation also has splitting form. We use several iterative methods to implement the constructed nonlinear mesh problem.

(m,k)-схемы решения явных и неявных жестких систем ОДУ

А. И. Левыкин^{1,2}, А. Е. Новиков³, Е. А. Новиков⁴

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

³Сибирский федеральный университет

⁴Институт вычислительного моделирования СО РАН

Email: lai@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10061

Представлена оптимальная форма записи методов типа Розенброка с точки зрения числа ненулевых параметров и вычислительных затрат на шаге. Обоснована процедура получения (m,k)-методов из общеизвестных методов типа Розенброка [1-3]. Приведены формулы преобразования параметров (m,k)-схем для двух канонических форм записи и нахождения вида функции устойчивости схем.

Разработан L-устойчивый (3,2)-метод третьего порядка, для которого требуются два вычисления функции, одно вычисление матрицы Якоби и одна LU-декомпозиция на шаге. На базе метода сформулирован алгоритм интегрирования переменного шага, позволяющий решать как явные, так и неявные системы ОДУ. Приведены численные результаты, подтверждающие эффективность нового алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-07-01513 А).

Список литературы

1. E. Hairer, G. Wanner. Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential-Algebraic Problems Berlin : Springer-Verlag, 1996. – 614 p.
2. Новиков Е.А., Шорников Ю.В. Компьютерное моделирование жестких гибридных систем. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2012.
3. Levykin A.I., Novikov E.A. A Study of (m,k)-Methods for Solving Differential-Algebraic Systems of Index 1 // Communication on Computer and Information Science, Springer Int. Publishing, 2015. – V. 549, P. 94-107.

Сравнение разностных схем различных порядков точности для расчета пограничных и внутренних слоев на адаптивных сетках

В. Д. Лисейкин^{1,2}, В. И. Паасонен^{1,2}

¹Институт вычислительных технологий СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: lvd@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10062

В докладе представлены результаты сравнения разностных схем 1–3 порядков точности для численного решения задач для ОДУ с малым параметром на адаптивных сетках, задаваемых явно на основе априорных оценок старших производных решения. Такие задачи являются удобными для исследования моделями по отношению к широкому классу реальных задач механики сплошной среды с пограничными и внутренними слоями, с фронтами горения и фазовыми переходами. Алгоритм построения сеток ориентирован на высокоточные схемы и является обобщением подхода [1], разработанного для схемы первого порядка аппроксимации. Описываемый подход может быть применен к расчету слоев в многомерных задачах, так как существуют и высокоточные схемы на неравномерных сетках для многомерных уравнений (см., например, [2]), и методы генерации плоских и пространственных сеток на основе одномерных алгоритмов, в частности метод трансфинитной интерполяции и метод, основанный на решении обращенных уравнений Бельтрами.

Список литературы

1. Liseikin V.D. Grid Generation Methods. Springer, third ed., Berlin, 2017.
2. Паасонен В. И. Схема третьего порядка аппроксимации на неравномерной сетке для уравнений Навье-Стокса // Вычислительные технологии. 2000. Т. 5, № 5. С. 78–85.

Моделирование полей давления в трещиноватых коллекторах

А. А. Мазитов¹, Ю. О. Бобренёва¹, И. М. Губайдуллин^{1,2}

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет

²Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения УФИЦ РАН

Email: yu.o.bobreneva@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10063

Рассматривается процесс фильтрации жидкости в пласте в трещиновато-поровом коллекторе, который осуществляется по сети трещин, а матрица является емкостью, непрерывно подпитывающая сеть естественных трещин. Распределение давления в системе "сеть трещин – матрица" описывается уравнениями пьезопроводности [1]. Для решения дифференциальных уравнений использовался метод конечных разностей. Поставленная задача аппроксимировалась неявной разностной схемой, так как применение явной схемы накладывает дополнительное условие, называемое условием Куранта, на шаг по времени, что значительно увеличивает объем вычислений [2, 3]. Для решения системы линейных алгебраических уравнений использовался метод матричной прогонки [4]. Матричная прогонка относится к прямым методам решения разностных уравнений и по сравнению с другими прямыми методами решения разностных задач матричная прогонка более универсальна, так как позволяет решать уравнения с переменными коэффициентами и не накладывает сильных ограничений на вид граничных условий [5]. В результате расчета смоделированы поля давлений при различных входных параметрах, а также рассчитаны интервалы времени, когда происходит подключение матрицы в работу всей системы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (код проекта 16-29-15116).

Список литературы

1. Голф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов. [ред.] Ковалева А.Г. [перев.] Голованова П.К., Власенова В.В., Покровский В.В. Бардина Н.А. М.: Недра, 1986.
2. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. [ред.] Максимов М.М. [перев.] Кестнер В.П. Королёв А.В. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004 г.
3. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978 г.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989 г.
5. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972 г.

Численные алгоритмы для прямой спектральной задачи системы Захарова – Шабата с применением к решению нелинейных уравнений методом обратной задачи рассеяния

С. Б. Медведев^{1,2}, И. А. Васева¹, И. С. Чеховской², М. П. Федорук^{1,2}

¹Институт вычислительных технологий СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: medvedev@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10064

Предложен новый алгоритм высокой точности для решения начальной задачи для системы Захарова-Шабата. Этот метод имеет четвертый порядок точности и является обобщением схемы Боффетта-Осборна второго порядка точности. Использование нового метода позволяет более эффективно решать прямую спектральную задачу Захарова-Шабата для непрерывного и дискретного спектров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-72-30006).

Список литературы

1. Medvedev S., Vaseva I., Chekhovskoy I., Fedoruk M. Novel Numerical Algorithm with Fourth-Order Accuracy for the Direct Zakharov-Shabat Problem // Optics Letters, 2019. Принята в печать.
2. Chekhovskoy I.S., Shtyrina O.V., Fedoruk M.P., Medvedev S.B., Turitsyn S.K. Nonlinear Fourier transform for analysis of coherent structures in dissipative systems // Physical Review Letters, 2019. Принята в печать.

Квазистационарный подход к решению задачи нисходящего течения пароводяной смеси в вертикальной нагнетательной скважине с учетом протаивания окружающих мерзлых пород

Н. Г. Мусакаев¹, С. Л. Бородин^{1,2}

¹ТюмФ ИТПМ СО РАН

²Тюменский индустриальный университет

Email: musakaev@ikz.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10065

В настоящее время наиболее распространенным методом разработки залежей высоковязких и битумных нефтей является закачка в пласт теплоносителя (горячая вода или пар, которые применяются в 90 % случаев) [1]. С целью повышения эффективности данного процесса, а также для выбора наилучших технологических и инженерных решений, необходимы исследования, в том числе и теоретические.

Данная работа посвящена разработке математической модели и ее численной реализации для нисходящего течения пароводяной смеси в нагнетательной скважине с учетом фазовых переходов как внутри скважины, так и в окружающих ее мерзлых породах. В математической модели учитывается протаивание многолетнемерзлых пород, так как значительная часть всей добываемой нефти в России приходится на районы распространения вечной мерзлоты [2]. Основная идея расчетного алгоритма заключается в том, что, зная температуру внешней границы скважины, методом Рунге – Кутты четвертого порядка точности решается квазистационарная задача нахождения параметров потока. Затем, используя рассчитанное распределение температуры потока, делается шаг по времени при нестационарном расчете распределения температуры вокруг скважины. Нестационарный расчет проводится методом энтальпий с использованием неявной схемы [3]. Вся процедура циклически повторяется до окончания времени расчета.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-19-00049).

Список литературы

1. Rodionov S. P., Pyatkov A. A., Kosyakov V. P. Influence of Fractures Orientation on two-phase Flow and Oil Recovery during Stationary and Non-Stationary Waterflooding of Oil Reservoirs // AIP Conference Proceedings. 2018. Vol. 2027. 030044. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1063/1.5065138
2. Медведский Р. И. Строительство и эксплуатация скважин на нефть и газ в вечномерзлых породах. М.: Недра, 1987.
3. Бородин С. Л. Численные методы решения задачи Стефана / С. Л. Бородин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2015. Т. 1, № 3. С. 164-175.

Точность разностных схем сквозного счета при моделировании взаимодействия ударных волн

В. В. Остапенко^{1,2}, Н. А. Хандеева^{1,2}

¹*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: ostapenko_vv@ngs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10066

Изучается точность, с которой разностные схемы сквозного счета рассчитывают течения, в которых происходит взаимодействие ударных волн. Показано, что в областях между расходящимися ударными волнами после их соударения точность вычисления инвариантов в комбинированных схемах, предложенных в [1, 2], на несколько порядков выше, чем в WENO-схеме [3] пятого порядка по пространству и третьего порядка по времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 16-11-10033).

Список литературы

1. Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О построении комбинированных разностных схем повышенной точности // Докл. АН. 2018. Т. 478, № 5. С. 517-522.
2. Зюзина Н. А., Ковыркина О. А., Остапенко В. В. Монотонная разностная схема, сохраняющая повышенную точность в областях влияния ударных волн // Докл. АН. 2018. Т. 482, № 6. С. 639-643.
3. Jiang G. S., Shu C. W. Efficient implementation of weighted ENO schemes // J. Comput. Phys. 1996. V. 126. P. 202-228.

Асимметричные компактные схемы на расширенных шаблонах для уравнения Шредингера

В. И. Паасонен^{1,2}, М.П. Федорук^{1,2}

¹*Институт вычислительных технологий СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: paas@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10067

Схемы четвертого порядка аппроксимации для уравнений нелинейной волоконной оптики (см., например, [1, 2]) лишь в некоторых задачах способны конкурировать по точности со спектральными методами. Для достижения уверенного превосходства перед ними необходимы схемы выше четвертого порядка, и для этого необходимо выйти за пределы традиционного трехточечного шаблона. В докладе рассматривается класс таких многоточечных асимметричных схем, имеющих максимально возможный порядок для данной конфигурации шаблона. С целью отбраковки заведомо неустойчивых схем в линейном приближении проводится численная проверка выполнения необходимого критерия устойчивости Неймана. В результате выделено семейство высокоточных потенциально перспективных схем различных порядков точности выше четвертого.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-72-30006).

Список литературы

1. Паасонен В. И., Федорук М.П. Компактная безитерационная схема с искусственной диссипацией для нелинейного уравнения Шредингера // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17, № 6. С. 83–90.
2. Паасонен В. И., Федорук М.П. Трехслойная безитерационная схема повышенного порядка точности для уравнения Гинзбурга-Ландау // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20, № 3. С. 46–57.

Исследование устойчивости симметричных трехслойных схем с многоточечными операторами для уравнения Шредингера

В. И. Паасонен

Институт вычислительных технологий СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: paas@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10068

Задачи волоконной оптики весьма требовательны к шагу сетки и к порядку точности разностных схем. Схемы второго порядка точности, имея перед спектральными методами преимущество в гибкости алгоритма, уступают последним в точности, и даже повышение точности до четвертого порядка [1, 2]

не решает проблему радикально. В докладе рассматривается класс многоточечных симметричных трех-слойных схем в общем виде. Коэффициенты схем определяются из условия достижения максимально возможного порядка аппроксимации на данном шаблоне. Схемы этого класса исследуются на предмет выполнения необходимого критерия Неймана. Показано, что рассматриваемые симметричные схемы условно устойчивы, и сформулированы численные ограничения на соотношение шагов, при которых выполняется критерий Неймана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-72-30006).

Список литературы

1. Паасонен В. И., Федорук М.П. Компактная безитерационная схема с искусственной диссипацией для нелинейного уравнения Шредингера // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17, № 3. С. 83–90.
2. Паасонен В. И., Федорук М.П. Трехслойная безитерационная схема повышенного порядка точности для уравнения Гинзбурга-Ландау // Вычислительные технологии. 2015. Т. 20, № 3. С. 46–57.

Применение n-раздельных всплесков в методе вейвлет-Галеркина

Е. А. Плещева

Институт математики и механики УрО РАН им. Н.Н. Красовского

Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина

Email: eplescheva@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10069

В решении дифференциальных и интегральных уравнений довольно широкое распространение получил метод вейвлет-Галеркина [1,2]. При его применении в качестве базисных функций для приближения решения используются периодические базисы всплесков. При этом матрица полученной в результате системы линейных уравнений будет разреженной, но не обязательно хорошо обусловленной. Но она легко приводится к хорошо обусловленному виду (см., напр., [1]).

В работе рассматривается задача Штурма-Лиувилля. В качестве базисных функций для приближения ее решения будем использовать построенные нами ранее [3] ортонормированные n-раздельные периодические базисы всплесков.

Список литературы

1. Фрейзер М. Введение в вэйвлеты в свете линейной алгебры. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008.
2. Захаров В.Г., Иванов О.Н. Построение вейвлет-базисов, адаптированных к дифференциальным операторам // Математ. моделирование систем и процессов. 2003. № 11. С. 38–45.
3. Плещева Е.А., Новое обобщение ортогональных базисов всплесков // Тр. ИММ УрО РАН. 2010. Т. 16, № 4. С. 264–271.

Численное решение трехмерной задачи о теплопереносе в свободном слое жидкости под действием термокапиллярных сил и дополнительных касательных напряжений

Е. В. Резанова

Алтайский государственный университет

Email: katerezanova@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10070

Проведено численное моделирование нестационарного течения вязкой несжимаемой жидкости, заполняющей бесконечную полосу с плоскими свободными поверхностями, которые находятся под действием термокапиллярных сил и дополнительных касательных напряжений, индуцируемых внешней средой. Математическое моделирование проводится на основе точных решений уравнений Навье – Стокса специального вида (Пухначев, 1999).

Численный алгоритм включает алгоритмы типа "предиктор-корректор" для определения динамики жидкого слоя (Пухначева, 2000). Решена задача о нахождении распределения температуры в слое в трехмерном случае. Представлена общая схема численного моделирования процесса переноса тепла в параллелепипеде с движущимися границами, основанная на методе стабилизирующей поправки. На искусственно введенных "вертикальных торцах" расчетной области полагаются выполненными "мягкие" граничные условия, являющиеся следствием уравнения переноса тепла и условий для температуры на бесконечности. Представлены результаты численных экспериментов, проведенных в случаях, когда до-

полнительные касательные напряжения усиливают или ослабляют действие термокапиллярных сил на свободных границах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-08-00291).

Modelling of bonded elastic structures by a variational method: theoretical analysis and numerical simulation

E. M. Rudoy

Lavrentyev institute of hydrodynamics of SB RAS

Email: rem@hydro.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10071

We deal with an equilibrium problem of two bodies joined (glued) with each other along a part of their common interface. There exists a crack on the rest part of the interface. Surface loadings are applied to both bodies. We assume that the interface is "spring type interface", modelling a soft and thin material between bodies. We impose a nonpenetration condition and Tresca's friction on the common interface including both the adhesive layer and the crack. The nonpenetration condition excludes mutual penetration of bodies. A formula for the derivative of the energy functional with respect to the crack length is obtained. It is shown that the derivative can be represented as a path-independent integral (J-integral). Moreover, we propose a non-overlapping domain decomposition method for the joined structure and study its convergence theoretically and numerically. Numerical examination shows the efficiency of the proposed method and importance of the nonpenetration condition.

The supports from the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 19-51-50004) are gratefully acknowledged.

Новый метод решения внешней краевой задачи для уравнения Гельмгольца декомпозицией области

А. О. Савченко, А. В. Петухов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email savch@ommfao1.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10072

Для решения внешней краевой задачи для уравнения Гельмгольца используется декомпозиция области с пересечением. Задача сведена к решению операторного уравнения на внешней границе вспомогательной области. Для численного решения этого уравнения вводится конечномерный оператор, аппроксимирующий исходный, который представляется в матричном виде. Решение полученной системы линейных алгебраических уравнений производится одним из методов в подпространствах Крылова.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00168).

О подходах к численному решению дифференциально-алгебраических систем уравнений в частных производных индекса выше единицы.

С. В. Свинина

Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН

Email: svinina@icc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10073

Дифференциально-алгебраические уравнения в частных производных впервые появились в работах, посвященных конкретным уравнениям гидродинамики в конце XIX и начале XX века. В современной литературе такие уравнения встречаются, например, при моделировании теплообменников, при описании химических процессов и многих других. Дифференциально-алгебраические уравнения в частных производных представляют собой взаимосвязь уравнений в частных производных, обыкновенных дифференциальных уравнений и алгебраических равенств. Особенность таких уравнений состоит в наличии производных от исходных данных системы в структуре ее общего решения. Максимальный порядок таких производных называют индексом системы. В случае, когда индекс системы выше единицы, численные методы, разработанные для схожих по типу эволюционных дифференциально-алгебраических

уравнений, не эффективны. В работах [1, 2] предложены методы численного решения квазилинейных дифференциально-алгебраических систем уравнений в частных производных произвольного индекса.

Список литературы

1. Свинина С.В. Об устойчивости сплайн-коллокационной разностной схемы для одной квазилинейной дифференциально-алгебраической системы уравнений в частных производных первого порядка // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2018. Т. 58, № 11.
2. Свинина С.В., Свинин А.К. Об устойчивости одной разностной схемы для квазилинейной дифференциально-алгебраической системы уравнений в частных производных индекса $(k, 0)$ // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2019. Т. 59, № 4.

Вариационные методы построения разностных уравнений и итерационных алгоритмов для приближенного решения задачи Дирихле

Н. М. Темирбеков¹, Ж. Р. Жаксылыкова²

¹Национальная Инженерная академия РК

²Казахский Национальный педагогический университет им. Абая

Email: temirbekov@rambler.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10074

При аналитическом решении задач математической физики мы сталкиваемся с серьезными математическими трудностями. Поэтому для решения сложных задач мы используем различные численные методы поиска приближенных решений.

Рассматривается эллиптическое дифференциальное уравнение. При решении:

1) Для построения разностных уравнений был применен вариационный метод Ритца с использованием базисной функций, который приводит к решению системы линейных уравнений. Вопросы сходимости решений, получаемых методом Ритца, рассматриваются в многочисленных работах и монографиях.

2) Для построения итерационных алгоритмов был применен метод сопряженных градиентов, который среди известных итерационных методов, используемых для решения систем линейных алгебраических уравнений, выделяется своей эффективностью.

Приведены примеры расчетов для модельных задач. Результаты вычислительного эксперимента подтверждают высокую эффективность предлагаемого вариационного метода.

Список литературы

1. Самарский А.А. Теория разностных схем – М.: Наука, 1983. – 616 с.
2. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики – М.: Наука, 1989. – 608 с.
3. Мухамбетжанов А.Т., Отелбаев М.О., Смагулов Ш.С. Об одном новом приближенном методе решение нелинейных краевых задач. // Вычислительные технологии, Том 3, №4, 1998.
4. Н.М. Темирбеков, Ж.Р. Жаксылыкова. Об итерационном методе фиктивных областей для решения эллиптического уравнения в областях со сложной геометрией // Известия МКТУ им. Х.А. Ясави, Серия математика, физика, информатика. – 2018. – Т.1. – №1(4), С.128-132.
5. N.M.Temirbekov, Zh.R.Zhaksylykova. An Iterative Method for Solving Non linear Navier-Stokes Equations in Complex Domains Taking into Account Boundary Conditions with Uniform Accuracy // AIP Conference Proceedings 2018. V.1997, 020036 (2018); DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1063/1.5049030.
6. Temirbekov A.N., Wójcik W. Numerical Implementation of the Fictitious Domain Method for Elliptic Equations // International Journal of Electronics and Telecommunications.-2014.- Vol.60, Issue 3, -P.219-223.
7. Temirbekov A.N. Numerical implementation of the method of fictitious domains for elliptic equations // 3rd International Conference on Analysis and Applied Mathematics, ICAAM 2016.-Vol. 1759, -P. 020053-1–020053-6; DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1063/1.4959667.

Двухсеточный метод для нелинейного сингулярно возмущенного уравнения второго порядка с двумя параметрами

С. В. Тиховская

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

Email: s.tihovskaya@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10075

Рассмотрена краевая задача для нелинейного сингулярно возмущенного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с двумя малыми параметрами. Для линеаризации используются

итерации Ньютона и Пикара. Для решения задачи на каждой итерации применяется разностная схема второго порядка на сетке Шишкина, которая сходится равномерно по обоим малым параметрам [1]. Для уменьшения требуемого количества арифметических операций для решения разностной схемы предлагается каскадный двухсеточный метод [2, 3]. Для повышения точности разностной схемы, применяется экстраполяция Ричардсона с использованием известных решений разностной схемы на обеих сетках. Исследованы некоторые свойства решения дифференциальной задачи в случае различных малых параметров аналогично [4]. Обсуждаются результаты некоторых численных экспериментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00487).

Список литературы

1. Gracia J.L., O'Riordan E., Pickett M.L. A parameter robust second order numerical method for a singularly perturbed two-parameter problem // *Applied Numerical Mathematics*. 2006. V. 56, № 7. P. 962–980.
2. Задорин А.И., Тиховская С.В. Решение нелинейного сингулярно возмущенного уравнения второго порядка на основе схемы Самарского // *Сибирский журнал вычислительной математики*. 2013. Т. 16, № 1. С. 11–25.
3. Задорин А.И., Тиховская С.В. Двухсеточный метод для нелинейной сингулярно возмущенной краевой задачи на сетке Шишкина // *Сибирский журнал индустриальной математики*. 2013. Т. 16, № 1 (53). С. 42–55.
4. Çakir M., Amiraliev G.M. A Numerical Method for a Singularly Perturbed Three-Point Boundary Value Problem // *Journal of Applied Mathematics*. 2010. V. 2010. P. 495184-1–495184-17.

Computation of mean-field equilibria for various optimization problem with non-symmetric control

V. V. Shaidurov^{1,3}, V. S. Kornienko^{1,2}

¹*Institute of Computational Modeling of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences*

²*Siberian Federal University*

³*Tianjin University of Finance and Economics*

Email: vika-svetlakova@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10076

The study is devoted to applying of semi-Lagrangian approach to numerical modelling of problems described in “Mean Field Games” framework. Mean field games are a relatively new field of research developed by J.-M. Lasry and P.-L. Lions [1-3], which helps to understand the limiting behavior of systems involving great numbers of rational agents playing in differential games under partial information and symmetry assumptions. This approach allows the transfer of the ideas of statistical physics to a new class of models in which the contribution of an individual player does not significantly influence on the behavior of the entire mass of players. The appearance of this approach is caused by the great complexity of traditional approaches [4] to describe such interaction systems. It leads to searching of Nash equilibria [5] for a large number of agents. In this case, mean-field equilibrium is described by the coupled system of two parabolic partial differential equations: the Fokker-Plank-Kolmogorov equation and the Hamilton-Jacobi-Bellman one. This mathematical model can be used for quantitative modeling of the optimal using of alternative resources, more efficient realization of environmental problems, network sales, and other economic activities of the great population of agents.

This project was supported in part by the Major Research Plan of the National Natural Science Foundation of China (91430108) and the National Natural Science Foundation of China (11171251).

References

1. Lasry J.-M., Lions P.-L. Jeux à champ moyen. I. Le cas stationnaire // *C. R. Math. Acad. Sci. Paris*. 2006. V. 343(9). 619–625.
2. Lasry J.-M., Lions P.-L. Jeux à champ moyen. II. Horizon fini et contrôle optimal // *C. R. Math. Acad. Sci. Paris*, 2006. V. 343(10):679–684.
3. Lasry J.-M., Lions P.-L. Mean field games // *Jpn. J. Math.* 2007. V.2(1). P: 229–260
4. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L., Stein C. *Introduction to Algorithms* (2nd ed.). Massachusetts: MIT Press, 2001. pp. 344.
5. J. Nash. Non-cooperative games // *Annals of Mathematics*. 1951. V. 54. P. 286–295.

Полулагранжева аппроксимация уравнений Навье – Стокса для выполнения законов сохранения массы и энергии газа*В. В. Шайдулов, М. В. Якубович**Институт вычислительного моделирования СО РАН**Email: yakubovich@icm.krasn.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10077

В работе предлагается алгоритм численного решения уравнений Навье – Стокса вязкого теплопроводного газа, записанных для выполнения законов сохранения массы и полной энергии. В основе алгоритма лежит комбинация полулагранжевой аппроксимации конвективной части уравнений и дискретизация по пространству оставшихся слагаемых методом конечных элементов [1]. Построенная разностная схема имеет первый порядок точности по времени и пространству. Численный эксперимент подтверждает устойчивость схемы и первый порядок сходимости численного решения [2].

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта № 18-41-243006: "Численное моделирование формирования квазиустойчивых фигур, образованных многокомпонентной газовой смесью, вытекающей из промышленной дымовой трубы".

Список литературы

1. Shaydurov, V., Shchepanovskaya, G., Yakubovich, M. A semi-Lagrangian approach in the finite element method for the Navier-Stokes equations of viscous heat-conducting gas // AIP Conference Proceedings. 2014. V. 1629, P. 19-31.
2. Shaydurov V.V., Yakubovich M.V. Semi-lagrangian approximation of conservation laws of gas flow in a channel with backward step // Smart Innovation, System and Technologies. 2019. V. 133. P. 246-265.

Метод коллокации и наименьших квадратов и его приложение к расчету напряженно-деформированного состояния пластин*В. П. Шапеев^{1,2}, С. К. Голушко^{2,3}, В. А. Беляев¹, Л. С. Брындин^{1,2}**¹Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН**²Новосибирский государственный университет**³Институт вычислительных технологий СО РАН**Email: vshapeev@gmail.com*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10078

Предложены и реализованы новые h-, hp- и p-варианты метода коллокации и наименьших квадратов для численного решения краевых задач для эллиптических уравнений четвертого порядка в канонических, нерегулярных и многосвязных областях [1]. Приведено сравнение полученных численных результатов с известными частными решениями других авторов, использовавших конечно-разностные и спектральные методы повышенного порядка аппроксимации. Дан анализ напряженно-деформированного состояния упругих пластин, находящихся под действием поперечной нагрузки произвольного вида, при различных видах закрепления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-29-18029).

Список литературы

1. Vasily Shapeev, Vasily Belyaev, Sergey Golushko, Semyon Idimeshev New Possibilities and Applications of the Least Squares Collocation Method // EPJ Web of Conferences. 2018. Vol. 173. P. 01012-1 – 01012-8.

Секция 3. МЕТОДЫ МОНТЕ-КАРЛО И ЧИСЛЕННОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Статистическое моделирование системы телеуправления ЗУР ЗРК малой дальности

Т. А. Аверина^{1,2}, И. М. Косачев³, К. Н. Чугай⁴

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³Военная академия Республики Беларусь

⁴НИИ Вооруженных Сил Республики Беларусь

Email: ata@osmf.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10079

В статье [1] была разработана имитационная математическая модель контура наведения зенитной телеуправляемой ракеты (ЗУР) зенитного ракетного комплекса (ЗРК) с комплексированной (радиолокационно-лазерной) информационной системой (КИС). Также рассмотрена методика построения аналитической математической модели исследуемой системы телеуправления (СТУ) ЗУР в классе нестационарных нелинейных стохастических динамических систем со случайно изменяющейся структурой.

В данной работе, с применением статистического алгоритма [2], оцениваются вероятностные характеристики решения полученной системы со случайной структурой, заданной стохастическими дифференциальными уравнениями в смысле Стратоновича.

Работа выполнена в рамках госзадания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2019-0002).

Список литературы

1. Косачев И. М., Чугай К. Н. Имитационное математическое моделирование контура наведения зенитной телеуправляемой ракеты зенитного ракетного комплекса с комплексированной информационной системой // Вестн. Воен. Акад. Респ. Беларусь. 2017. Т. 57, № 4. С. 25—32.
2. Аверина Т. А. Построение алгоритмов статистического моделирования систем со случайной структурой. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015.

Применение метода "максимального сечения" в задачах оценивания случайных процессов

Т. А. Аверина^{1,2}, К. А. Рыбаков³

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

Email: ata@osmf.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10080

В работе рассматривается задача оценивания случайных процессов в динамических системах, математическая модель которых описывается стохастическим дифференциальным уравнением (СДУ) с пуассоновской составляющей. Решение задачи оценивания (фильтрации, интерполяции, экстраполяции) предполагает моделирование траекторий решения СДУ [2]. Процедура моделирования траекторий включает метод моделирования пуассоновского потока, в качестве которого применен метод "максимального сечения" [1].

Работа выполнена в рамках госзадания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2019-0002) и при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-08-00530).

Список литературы

1. Аверина Т. А. Построение алгоритмов статистического моделирования систем со случайной структурой. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015.
2. Рыбаков К. А. Статистические методы анализа и фильтрации в непрерывных стохастических системах. М.: Изд-во МАИ, 2017.

Численная стохастическая модель совместных нестационарных временных рядов метеорологических параметров для расчета показателей воздействия метеорологических факторов на организм человека

М. С. Акентьева¹, Н. А. Каргаполова^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: marina-akenteva@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10081

В докладе рассматривается численная стохастическая модель комплекса нестационарных метеорологических временных рядов и обсуждается возможность применения данной модели для исследования вероятностных свойств временных рядов биоклиматического индекса суровости метеорежима (БИСМ). БИСМ представляет собой обобщенный показатель, характеризующий совместное воздействие на организм человека атмосферного давления, модуля скорости ветра, температуры и относительной влажности воздуха с учетом высоты местности над уровнем моря. В отличие от ранее предложенных моделей временных рядов БИСМ, построенных в предположении о периодической коррелированности метеорологических процессов, нестационарная модель позволяет детально учитывать зависимость характеристик метеорологических параметров от времени, его суточный и сезонный ход.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант 18-01-00149), РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-41-543001-р_мол_a.

Моделирование турбулентного течения на основе генерации стохастического поля скоростей

А. В. Александров¹, Л. В. Дородницын², А. П. Дубень¹

¹Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Email: alexandrov@imamod.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10082

Работа посвящена актуальной в настоящее время проблеме генерации синтетической турбулентности для расчетов газовых течений. К свойствам сгенерированного поля предъявляются высокие требования с точки зрения физической корректности. Авторы остановились на полностью стохастическом подходе, обобщая на трехмерный случай результаты [1], успешно применявшиеся в моделировании аэроакустики и основанные на рандомизированном спектральном методе [2].

Показано, что построенные поля скорости удовлетворяют статистическим и спектральным характеристикам, известным из физики. Исследуются способы задания изменения поля во времени и их влияние на автокорреляционную функцию.

Проводятся валидационные расчеты на основе технологии крупных вихрей (LES). В частности, стохастические турбулентные поля задаются в качестве начальных условий в задаче о распаде однородной турбулентности. Результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными [3]. Моделируется также возникновение анизотропной турбулентности при течении в канале.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00726).

Список литературы

1. Боровская И. А., Козубская Т. К., Курбанмурадов О., Сабельфельд К.К. О моделировании однородных случайных полей и сигналов и их использовании в задачах аэроакустики // Матем. моделирование. 2007. Т. 19, № 10. С. 76–88.
2. Kurbanmuradov O., Sabelfeld K., Kramer P.R. Randomized spectral and Fourier-wavelet methods for multidimensional Gaussian random vector fields // J. Comput. Phys. 2013. V. 245. P. 218–234.
3. Comte-Bellot G., Corrsin S.. Simple Eulerian time correlation of full- and narrow-band velocity signals in grid-generated 'isotropic' turbulence // J. Fluid Mech. 1971. V. 48, part 2. P. 273–337.

Ускорение алгоритма конкуренции

В. С. Антюфеев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: ant@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10083

Рассматривается алгоритм конкуренции, предложенный в [1]. В этом методе точки в режиме обучения моделируют равномерно. Такое обучение не является эффективным.

В работе предложен метод моделирования точек в режиме обучения, где точки моделируют неравномерно. Новый метод основан на использовании понятия энтропии случайной системы. Он позволяет существенно ускорить процесс обучения для фиксированного уровня ошибок обучения.

Список литературы

1. Antyufeev V.S. Solution of recognition problems by the Monte Carlo method. RJNAMM, Vol.27, No.2, 2012, pp.113-130

Математическое моделирование процессов дезактивации катализаторов тяжелой нефти

Я. В. Базайкин^{1,2}, Е. Г. Малькович^{1,2}

¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: bazaikin@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10084

Тело катализатора процессов гидрирования тяжелой нефти состоит из пуассоново распределенных, пересекающихся зерен оксида алюминия сферической формы и средним диаметром 10 нм. Процесс дезактивации катализатора связан с ростом диаметров зерен оксида алюминия из-за осаждения частиц кокса на их поверхности. При дезактивации характеристики порового пространства изменяются, увеличивая диффузионные препятствия для проникновения молекул асфальтенов внутрь гранулы катализатора. Для ослабления диффузионных препятствий в теле катализатора создают дополнительные сферические макропоры диаметром 30-200 нм, катализаторы с соответствующей пористой структурой называются бимодальными.

Основными геометрическими характеристиками порового пространства, влияющими на диффузию, являются пористость, извилистость и удельная площадь поверхности. В настоящей работе строится модель для мезопористых и макропористых катализаторов, измеряются геометрические характеристики порового пространства на каждом из этапов дезактивации. Пористость и удельная площадь поверхности вычисляются используя методы Монте-Карло, извилистость вычисляется с помощью алгоритма Дейкстры поиска наименьшего пути и аппроксимации порового пространства пространственным графом [1]. Полученные характеристики используются как параметры эллиптического уравнения, отвечающего закону Фика диффузии молекул в пористом пространстве катализатора. В итоге путем интегрирования решения уравнения Фика вычисляется коэффициент эффективности катализатора.

Список литературы

1. V. S. Semeykina, E. G. Malkovich, Ya. V. Bazaikin, A. I. Lysikov, E. V. Parkhomchuk. Optimal Catalyst Texture in Macromolecule Conversion: A Computational and Experimental Study. Chemical Engineering Science. 2018. V. 188. P. 1-10.

Моделирование автотранспортного потока со случайными параметрами

А. В. Бурмистров^{1,2}, М. А. Коротченко¹

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: burm@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10085

В данной работе авторами разработаны новые алгоритмы метода Монте-Карло для численной оценки вероятностных моментов линейных функционалов от решения уравнения Больцмановского типа со случайными параметрами, которое возникает в кинетической модели автотранспортного потока. Для

возможности учета разных типов взаимодействующих автомобилей, а также случайных параметров, которые описывают навыки и поведение водителя конкретного автомобиля, модель усовершенствована в рамках подхода, разработанного ранее в [1].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2019-0002) и при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 17-01-00698, 18-01-00356, 18-01-00599).

Список литературы

1. Burmistrov A., Korotchenko M. Monte Carlo Algorithm for Simulation of the Vehicular Traffic Flow Within the Kinetic Model with Velocity Dependent Thresholds // Springer Proc. Math. Stat. 2014. Vol. 114. P. 109-117.

О вычислительном тесте для модели адиабатического сжатия идеального бесстолкновительного газа

Д. А. Быковских, В. А. Галкин

Обособленное подразделение ФБУ ФНЦ НИИСИ РАН в г. Сургуте

Email: dmitriy.bykovskih@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10086

Рассматривается тестовая задача об адиабатическом сжатии идеального бесстолкновительного газа. Эта задача связана с распространением волн в системах с движущимися границами [1]. Для моделирования течения идеального бесстолкновительного газа в трехмерной изменяющейся во времени области был разработан комплекс программ, вычислительным методом которого является метод Монте-Карло [2]. Были проведены серии вычислительных экспериментов для тестовой задачи, включая сравнение результатов с аналитическими решениями и оценку производительности разработанного комплекса программ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-47-860004).

Список литературы

1. Весницкий А. И. Волны в системах с движущимися границами и нагрузками. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
2. Быковских Д. А., Галкин В. А. О вычислительном тесте для одной модели бесстолкновительного идеального газа // Вестник кибернетики. Электр. Журн. 2017. № 3 (27). С. 100–120.

Сравнительный анализ функционального "ядерного" алгоритма и метода полигона частот

А. В. Войтишек¹, Т. Е. Булгакова²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: vav@osmf.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10087

В работе показано, что дополненный соображениями численной сеточной аппроксимации функций "ядерный" алгоритм приближения вероятностной плотности (см., например, [1]) конструктивно совпадает с рандомизированным проекционно-сеточным функциональным численным алгоритмом приближения решения уравнения Фредгольма второго рода [2].

Из этого следует, что для "ядерного" алгоритма приближения вероятностной плотности можно использовать соображения теории условной оптимизации проекционно-сеточного функционального алгоритма (см., например, [3]).

В свою очередь, для развития теории конструирования и условной оптимизации проекционно-сеточного функционального численного алгоритма можно использовать соображения из теории "ядерных" оценок вероятностных плотностей из работы [1].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2019-0002).

Список литературы

1. Епанечников В. А. Непараметрическая оценка многомерной плотности вероятности // Теория вероятностей и ее применения. 1969. Т. 14. Вып. 1. С. 156–161.

2. Войтишек А. В. Классификация и возможности практического применения рандомизированных функциональных численных алгоритмов решения интегральных уравнений Фредгольма второго рода // Математический анализ. Итоги науки и техники. Серия: Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2018. Т. 155. С. 3–19.

3. Войтишек А. В. Функциональные оценки метода Монте-Карло. Новосибирск: НГУ, 2007.

Реконструкция структурных моделей биологических сетей в виде случайных графов

Д. А. Гаврилов¹, Н. Л. Подколотный²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: pnl@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10088

Структурные модели биологических сетей в виде набора случайных графов, структурные закономерности которых совпадают со структурными закономерностями исходной биологической сети могут быть использованы для проверки различных статистических гипотез на сетях, исследовании влияния структурных закономерностей в биологических сетях на их функцию и др.

В данной работе представлены методы построения такого рода моделей с различной степенью приближения к исходной биологической сети по следующим характеристикам: распределение степеней вершин, совместное распределение степеней вершин (joint degree distribution), средняя степень соседних вершин, коэффициент кластеризации, спектр кластеризации, а также частоты структурных мотивов различных размеров [1]. На базе программного пакета Cytoscape разработана клиент-серверная система, реализующая предложенный подход.

В работе представлены результаты вычислительного эксперимента по реконструкции структурных моделей сетей белок-белковых взаимодействий в печени мыши в зависимости от времени суток.

Список литературы

1. Подколотный Н. Л. и др., Cytoscape – плагин для построения структурных моделей биологических сетей в виде случайных графов // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. 2018. Т. 16, № 3. С. 37–50.

Гибридное моделирование стохастической динамики вирусных инфекций с переменными разного масштаба

Д. С. Гребенников^{1,4}, И. А. Сазонов², М. Я. Кельберт^{2,3}, Г. А. Бочаров⁴

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

²Swansea University, Великобритания

³Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

⁴Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН

Email: dmitry.ew@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10089

Динамика вирусных инфекций характеризуется большим диапазоном изменений численности вирусных частиц и клеток иммунной системы. При малых численностях какой-либо компоненты стохастические модели позволяют учесть дискретность компонент и случайность процессов взаимодействий, но являются вычислительно более трудоемкими, чем детерминистические модели, основанные на дифференциальных уравнениях. В данной работе построен стохастический алгоритм реализации модели вирусной инфекции и исследована зависимость вероятности развития продуктивной инфекции от дозы заражения. Для эффективного расчета ансамбля случайных траекторий модели разработан гибридный подход, позволяющий использовать стохастический и детерминистический режимы вычислений компонент траекторий в зависимости от численностей переменных модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-11-00171).

Список литературы

1. Nowak M. A., May R. M. Virus dynamics: mathematical principles of immunology and virology: mathematical principles of immunology and virology. Oxford University Press, UK, 2000.

2. Sazonov I., Grebennikov D., Kelbert M., Bocharov G. Modelling Stochastic and Deterministic Behaviours in Virus Infection Dynamics // Math. Model. Nat. Phenom. 2017. V. 12, №5. P. 63-77.

Анализ и оптимизация надежности топливоснабжения на основе статистического моделирования*Е. В. Губий, В. И. Зоркальцев, И. И. Хажеев**Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН**Email: egubiy@gmail.com*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10090

Предложен комплекс моделей для анализа надежности топливоснабжения отдаленных населенных пунктов [1]: модель функционирования системы в течение года; модель анализа надежности топливоснабжения, базирующаяся на многократной имитации функционирования системы в случайно формируемых условиях; модель выбора оптимального состава средств обеспечения надежности. Случайными величинами являются объемы потребности и производства (формируются методом Монте-Карло) и переходящих запасов топлива (формируется по алгоритму, вырабатывающему марковскую последовательность [2]).

Работа выполнена в рамках научного проекта III.17.4.4 программы фундаментальных исследований СО РАН (№ АААА-А17-117030310436-7).

Список литературы

1. Губий Е.В., Зоркальцев В.И. Эффективность энергетических плантаций. Новосибирск: Наука, 2018.
2. Гихман И.И., Скороход А.В. Теория случайных процессов. Том 1. М.: Наука, 1971. 666 с.

Решение задачи теплообмена крыла самолета в условиях обледенения методом Монте-Карло*С. А. Гусев¹, В. Н. Николаев²**¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**²Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина**Email: sag@osmf.sccc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10091

Предложен численно-статистический метод определения теплового состояния крыла самолета, подвергающегося обледенению. Решается двумерная задача. Процесс теплообмена описывается краевой задачей для уравнения теплопроводности, у которой граница области изменяется с течением времени. Подвижная граница аппроксимируется ломаной линией, вершины которой меняют свое положение с течением времени. В приграничной зоне, которая соответствует ледяному покрытию, вводится триангуляция так, что звенья ломаной линии совпадают со сторонами треугольников. Предлагаемый метод основан на вероятностном представлении решения краевой задачи в виде математического ожидания функционала от случайного процесса диффузионного типа. В ходе решения задачи делается преобразование пространственных переменных и случайного процесса в каждом треугольнике, в результате которого моделирование траекторий происходит в треугольнике с неподвижными вершинами.

Вычислительные аспекты математического моделирования задач со случайными входными данными*Б. С. Добронетц, О. А. Попова**Сибирский федеральный университет**Email: BDobronets@yandex.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10092

В работе рассмотрены вопросы численного моделирования задач со случайными входными данными. Подход основан на использовании вычислительного вероятностного анализа для вычисления вероятностных расширений функций случайных переменных. Оценена вычислительная сложность подобных задач и приведены пути реализации на основе рекурсивного распараллеливания. Приведены численные примеры решений систем линейных алгебраических уравнений, краевых задач для дифференциальных уравнений, задач оптимизации со случайными входными данными. Рассмотрены вопросы совместного использования вычислительного вероятностного анализа и метода Монте-Карло.

Список литературы

1. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving the accuracy of the probability density function estimation // Journal of Siberian Federal University, Mathematics and Physics, 10(1), 16-21 2017.
2. Dobronets B.S., Popova O.A. Piecewise Polynomial Aggregation as Preprocessing for Data Numerical Modeling // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018) 032028 DOI :10.1088/1742-6596/1015/3/032028
3. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving reliability of aggregation, numerical simulation and analysis of complex systems by empirical data // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 354 (2018) 012006 DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.1088/1757-899X/354/1/012006.
4. Dobronets B., Popova O. Numerical Probabilistic Approach for Optimization Problems // Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Validated Numerics. Lecture Notes in Computer Science 9553. Springer International Publishing, pp. 43-53. 2016

Моделирование и визуализация оптических явлений в жидкокапельных облаках

А. В. Заковряшин¹, С. М. Пригарин^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: andrey.z.1993@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10093

Цель работы – создание алгоритмов и программного обеспечения для вычисления индикатрис рассеяния видимого излучения в полидисперсных средах, состоящих из сферических частиц, а также исследование методом Монте-Карло влияния распределения капель воды на облачные индикатрисы и угловые распределения многократно рассеянного излучения в облачном слое. Разработанное программное обеспечение позволяет вычислять индикатрисы рассеяния для облаков и туманов с произвольным распределением капель воды на основе теории Ми [1]. Алгоритмы статистического моделирования переноса излучения с использованием вычисленных индикатрис рассеяния предназначены для исследования и визуализации таких оптических явлений как радуги, глории и венцы с учетом многократного рассеяния [2].

Список литературы

1. Deirmendjian D. Electromagnetic Scattering on Spherical Polydispersions. New York: American Elsevier, 1969. 290p.
2. Sergei M. Prigarin, Evgeniya G. Kablukova, Sergei A. Rozhenko, Andrei V. Zakovryashin, "Monte Carlo simulation of halos, glories, coronas and multiple scattering of light," Proc. SPIE 10466, 23rd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 104661K (30 November 2017); DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1117/12.2287239.

Анализ влияния случайных шумов на солитонное решение уравнения sin-Гордона

А. А. Иванов, Д. Д. Смирнов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: brrp@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10094

Изучение динамики солитонов в последнее время привлекает все большее внимание исследователей. Связано это с тем, что при помощи них возможно моделировать и изучать большое количество физических явлений. Уравнение sin-Гордона является классическим для моделирования солитонных решений типа бризера и кинка. Такие солитоны описывают многие процессы в физике твердого тела.

Изучение литературы показало, что с точки зрения моделирования и описания реальных физических процессов, интерес представляется в исследовании влияния различных физических возмущений на динамику и структуру уравнения sin-Гордона. Однако, зачастую внутренние и/или внешние возмущения моделируются при помощи детерминированных функций, в которых не учитываются случайные влияния на систему [1].

В настоящей работе внутренние и/или внешние возмущения в уравнении sin-Гордона учитываются в виде случайного Винеровского процесса, что по своей сути является новым подходом в моделировании подобного класса задач. После дискретизации пространственных переменных и добавления случайных шумов получаем многомерную систему стохастических дифференциальных уравнений в

частных производных, численное моделирование которой является трудоемкой задачей, которая решается с использованием суперкомпьютера.

В работе представлены результаты численных экспериментов, проведенных на кластере НКС – 30Т Сибирского Суперкомпьютерного центра при ИВМиМГ СО РАН. Для анализа влияния случайных внутренних и внешних возмущений на уравнение $\sin$ -Гордона, предлагается использовать статистические и частотные характеристики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-01-00698 А)

Список литературы

1. А. М. Гумеров, Е. Г. Екомасов, Р. Р. Муртазин, В. Н. Назаров, “Трансформация солитонов уравнения синус-Гордона в моделях с переменными коэффициентами и затуханием”, Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 55:4 (2015), 631–640; Comput. Math. Math. Phys., 55:4 (2015), 628–637.

Supercomputer modeling of stochastic destruction of ionic Coulomb crystal

L. P. Kamenshchikov, I. V. Krasnov

Institute of Computational Modeling of SB RAS

Email: lpk@icm.krasn.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10095

The system of stochastic differential equations with multiplicative noise describing behavior of some ensemble of ionic particles in optical superlattice traps is considered [1, 2]. The model takes into account the trapping, dissipative, Coulomb forces, and random quantum fluctuations of optical forces. The algorithm for solving these equations is described in [2]. The numerical calculations were carried out using the Monte Carlo method and the MVS-10P supercomputer at the JSCC RAS. Optical traps for ions are of great scientific interest in recent years [3, 4, 5].

In the present work, we studied peculiarities of destruction process for ion crystals (25 and 49 particles) in an optical superlattice with period L . In particular, numerical experiments show that relatively small changes of L can lead to the giant changes of destruction time by several orders of magnitude: from milliseconds to some minutes. We have suggested the Arrhenius-type fitting function of L for approximation of destruction time of ion Coulomb crystals.

References

1. Krasnov I. V., Kamenshchikov L. P. Ion Coulomb crystal in a polychromatic optical superlattice // Laser Physics. 2018. V. 28(10), P. 105701.
2. Kamenshchikov L. P., Krasnov I. V. Supercomputer modeling of stochastic dynamics of the Mercury ion array in an optical lattice // CEUR Workshop Proc. 2016. V. 1839. P. 324–333.
3. Schneider C., Enderlein M., et al. Optical trapping of an ion // Nature Photonics. 2010. № 4, P. 772–775.
4. Lambrecht A., Schmidt J., et al. Long lifetimes and effective isolation of ions in optical and electrostatic traps // Nature Photonics. 2017. № 11, P. 704–707.
5. Jiang J., Jiang L., et al. Magic wavelengths of the Ca^+ ion for circularly polarized light // Phys. Rev. A. 2017. V.96 (4), P. 042503.

Приближенный алгоритм моделирования условных случайных процессов с условиями в виде неравенств

Н. А. Каргаполова, В. А. Огородников

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: nkargapolova@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10096

Широко известен алгоритм моделирования условных гауссовских случайных процессов при условиях, заданных равенствами. Однако, при решении прикладных задач достаточно часто возникает необходимость моделировать условные случайные процессы с условиями, заданными в виде одно- или двусторонних неравенств. Для моделирования таких процессов применяют метод перебора: сначала моделируют траектории безусловного процесса, а затем из них выбирают траектории, удовлетворяющие поставленным условиям. Такой подход весьма трудоемок в тех случаях, когда условия наложены на большое число значений процесса или когда вероятность выполнения условий мала. В данном докладе

предлагается другой подход к моделированию случайных процессов с условиями в виде неравенств, основанный на использовании случайных величин со специальными условными негауссовскими плотностями распределений. Также рассматривается частный случай этого алгоритма, позволяющий уменьшить объем вычислений в предположении, что на каждом шаге моделирования условие накладывается только на значение, предшествующее моделируемому.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00149-а), РФФИ и Правительства Новосибирской обл. в рамках научного проекта № 19-41-543001-р_мол_а.

Численное статистическое моделирование процессов рассеяния оптического излучения ледяными кристаллами перистых облаков в приближении геометрической оптики

Б. А. Каргин^{1,2}, Е. Г. Каблукова¹, Ц. Му²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: bkargin@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10097

Изучение влияния формы, размера и концентрации кристаллических частиц, а также их оптических и ориентационных свойств на распространение лучистой энергии имеет решающее значение в понимании роли ледяных облаков в трансформации радиационных потоков в атмосфере. В связи с этим проблеме изучения оптических характеристик кристаллических облаков в настоящее время уделяется большое внимание (достаточно подробный обзор можно найти, например, в [1]). В данной работе численно исследованы особенности рассеяния оптического излучения атмосферными ледяными кристаллами разных форм и больших относительно длины волны излучения размеров в приближении геометрической оптики. Для решения этой задачи был разработан комплекс программ, позволяющий рассчитывать индикатрисы рассеяния для сферических водяных капель, составляющих основу жидко капельных облаков, а также матриц однократного рассеяния кристаллических ледяных частиц перистых облаков разных размеров, форм и пространственных ориентаций в эйлеровой системе координат. Приближение геометрической оптики расширено за счет учета дифракции в рамках приближения физической оптики. Аналогичные постановки задач можно найти, например, в [1,2]. В дополнение к указанным выше моделям рассмотрена модель, учитывающая шероховатость поверхности кристаллов. В отличие от известных из литературы работ на эту тему (см., например, [3]), в данной работе использован оригинальный алгоритм моделирования эффектов преломления и отражения излучения на шероховатых поверхностях, состоящий в комбинировании так называемой "фацетной" модели и спектральной случайной модели шероховатости. Последняя модель была заимствована и адаптирована к условиям рассматриваемой задачи из работы [4].

Список литературы

1. Коношонкин А., Кустова Н., Боровой А. Рассеяние света на гексагональных кристаллах перистых облаков. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 147 с.
2. A. A. Kokhanovsky, T. Y. Nakajima. The dependence of phase functions of large transparent particles on their refractive index and shape. J. Phys. D 31, 1329–1335.1998.
3. Yang, P., Hong, G., Kattawar, G. W., Minnis, P., and Hu, Y.: Effect of particle surface roughness on retrieved cloud optical thickness and effective particle size, IEEE T. Geosci. Remote Sens., 46, 1948– 1957, 2008.
4. Kargin B.A., Rakimgulov K.B. A weighting Monte Carlo method for modelling the optical radiation field in the ocean-atmosphere system // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 1992. V. 7. № 3. P. 221-240

Весовой алгоритм статистического моделирования переноса излучения для спектральной модели двумерного поля оптических толщин

Б. А. Каргин^{1,2}, Е. Г. Каблукова¹, П. Чжэн²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: bkargin@osmf.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10098

В работе предложена двумерная стохастическая модель негауссовского случайного поля оптических толщин слоистой облачности с одномерным гамма-распределением. Для моделирования процесса переноса излучения в предложенной модели случайной среды используется метод максимального сечения [1, 2] и весовой алгоритм, являющийся вариантом метода математических ожиданий [3]. В этом алгоритме моделирование траекторий фотонов осуществляется для подходящим образом подобранной детерминированной среды, а стохастическая структура среды учитывается с помощью специальных весовых множителей.

Работа выполнена в рамках проекта гос. задания No 0315-2019-0002.

Список литературы

1. Ермаков С.М., Михайлов Г.А., Курс статистического моделирования. М.: Наука. 1976.
2. Михайлов Г.А., Войтишек А.В., Численное статистическое моделирование. Методы Монте – Карло. М.: Академия. 2006.
3. Б. А. Каргин, Е. Г. Каблукова, П. Чжэн. Весовая модификация алгоритма моделирования свободного пробег и стохастических рассеивающих средах. // Труды Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика", посвященной 90-летию со дня рождения академика А. С. Алексеева. 8-12 октября 2018 г. Академгородок, Новосибирск.

Использование адаптивного метода моделирования в задаче восстановления матрицы рассеяния

А. С. Корда¹, С. А. Ухинов^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: sau@sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10099

Рассматриваются два весовых векторных алгоритма статистического моделирования переноса поляризованного излучения: стандартный алгоритм, при котором угол рассеяния моделируется согласно первому элементу матрицы рассеяния, и адаптивный алгоритм, при котором плотность распределения угла рассеяния при каждом столкновении подбирается так, чтобы обеспечивалась конечность дисперсии оценок. Для решения задачи восстановления матрицы аэрозольного рассеяния атмосферы по наземным наблюдениям излучения в альмукантарате Солнца предлагаются алгоритмы, использующие адаптивный способ моделирования рассеяния в атмосфере. С помощью численного статистического моделирования исследуется эффективность этих способов в методе "предиктор-корректор" восстановления первых двух компонент матрицы рассеяния [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проектов 18-31-00213, 17-01-00823)

Список литературы

1. Korda A. S., Ukhinov S. A. Monte-Carlo algorithms for defining the components of the aerosol scattering matrix // Proceedings of SPIE, 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. 2018. V. 10833. P. 1083324-1–1083324-10.

Весовые оценки метода Монте-Карло для неинвазивного измерения оптических параметров биологических тканей

А. В. Лаппа, А. Е. Анчугова, Д. Ю. Шакаева

¹Челябинский государственный университет

Email: anchugova.ae@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10100

Предлагается новый метод для определения оптических параметров биологических тканей (коэффициента поглощения и транспортного коэффициента рассеяния), исходя из неинвазивных измерений диффузного отражения света. В методе используется кинетическая модель распространения света в веществе и новые весовые алгоритмы для одновременного расчета показаний нескольких детекторов и их производных по параметрам для множества заданных наборов оптических параметров. Метод реализован в виде программно-аппаратного комплекса и опробован на ткане-эквивалентных фантомах и реальных биологических тканях. Проведенное сопоставление непосредственно измеренных полей излучения с рассчитанными по измеренным оптическим параметрам показало хорошее согласие в диапазоне значений параметров, характерных для крове-наполненных тканей.

Критерии проверки статистических гипотез при анализе больших выборок: проблемы и их решение

Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, П. Ю. Блинов

Новосибирский государственный технический университет

Email: Lemeshko@ami.nstu.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10101

Вопросы применения статистических методов к анализу больших массивов данных (Big Data) в последние годы вызывают большой интерес. Возникают потребности в анализе гигантских объемов накапливаемых данных, в поиске, извлечении и использовании скрытых в них закономерностей, в том числе вероятностных. При попытках применения для анализа больших данных классического аппарата прикладной математической статистики, как правило, сталкиваются со специфическими проблемами, ограничивающими возможности корректного применения этого аппарата.

Во-первых, хорошо зарекомендовавшие себя методы и алгоритмы становятся неэффективными вследствие “проклятия размерности” (гигантский рост вычислений, плохая сходимость алгоритмов и т.п.).

Во-вторых, многие популярные критерии проверки статистических гипотез не приспособлены даже для анализа выборок порядка тысячи наблюдений, так как информация о распределениях статистик этих критериев при справедливости проверяемой гипотезы представлена лишь краткой таблицей критических значений для некоторых объемов выборок. По грубой оценке, таких критериев более 80 %.

В-третьих, применение критериев проверки гипотез, для которых известны предельные (асимптотические) распределения статистик, с ростом объемов выборок всегда приводит к отклонению даже справедливой проверяемой гипотезы. Это характерно, например, для критериев согласия, для множества специальных критериев, применяемых для проверки гипотез о принадлежности выборок нормальному, равномерному и показательному законам и т.п. Корни проблемы связаны не только и не столько с ростом вычислительных затрат, сколько с ограниченной точностью представления анализируемых данных (с ограниченной точностью измерений). Подобная же проблема препятствует корректности применения к большим выборкам различных критериев проверки гипотез об однородности (однородности законов, однородности дисперсий, в меньшей степени однородности средних). В случае критериев однородности причиной оказывается неравноточность измерений в анализируемых выборках.

В докладе методами статистического моделирования исследуются проблемы применения критериев для анализа больших выборок. Демонстрируются результаты исследований. Предлагаются подходы, обеспечивающие корректность выводов в случае применения классических результатов, касающихся критериев проверки гипотез, для анализа Big Data.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственной работы "обеспечение проведения научных исследований" (№ 1.4574.2017/6.7) и проектной части государственного задания (№ 1.1009.2017/4.6).

Округление результатов измерений и корректность статистических выводов*Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, И. В. Веретельникова**Новосибирский государственный технический университет**Email: Lemeshko@ami.nstu.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10102

В различных приложениях зачастую сталкиваются с ситуацией, когда ряды измеренных значений представляют собой близкие величины, порой отличающиеся в последнем знаке. Это могут быть результаты высокоточных измерений, где флуктуации определяются достигнутой (предельной) точностью средств измерения. Подобные данные могут быть результатами наблюдения за величиной, высокая точность измерения которой не играет особой роли. Иногда такие выборки могут быть очень малы вследствие высокой стоимости измерений, иногда оказываются достаточно приличного объема. Как правило, в таких выборках встречаются повторяющиеся значения.

При решении задач статистического анализа такого рода выборок сталкиваются с теми же проблемами, что и при анализе выборок очень больших объемов. Корректному применению множества классических критериев проверки статистических гипотез препятствует “нарушение предположения” о том, что наблюдается непрерывная случайная величина.

Эмпирическое распределение, соответствующее выборке непрерывных случайных величин (без округления), с увеличением объема выборки сходится к функции распределения этой случайной величины. Допустим, что у рассматриваемого критерия существует предельное распределение статистики. Тогда эмпирическое распределение статистики, строящейся по выборке непрерывной случайной величины, сходится к предельному.

Если же наблюдаемые данные округляются с некоторым δ , то, начиная с некоторого n , зависящего от вида закона случайной величины, от области ее определения и от δ , расстояние между эмпирическим распределением и распределением случайной величины перестанет уменьшаться. А распределение статистики с ростом n станет отклоняться от предельного распределения статистики (чем больше δ , тем при меньшем n). В случае же выборок вида, как описано в начале, распределение статистики вообще не будет сходиться к предельному закону.

В работе методами статистического моделирования исследуется поведение распределений статистик ряда критериев согласия и критериев однородности, демонстрируются результаты исследований. Предлагается и реализуется подход, базирующийся на интерактивном исследовании распределений статистик критериев с применением метода Монте-Карло (при заданных n и δ) с дальнейшим использованием этого распределения для формирования корректного вывода о результатах проверки гипотезы.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственной работы "обеспечение проведения научных исследований" (№ 1.4574.2017/6.7) и проектной части государственного задания (№ 1.1009.2017/4.6).

Стохастическое моделирование компартментных систем с трубками*К. К. Логинов, Н. В. Перцев**Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Омский филиал**Email: kloginov85@mail.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10103

При разработке математических моделей живых систем часто возникает необходимость учета пространственной неоднородности исследуемых популяций. Пространственная неоднородность может быть обусловлена нахождением индивидуумов популяций в различных компартментах и переходами индивидуумов между ними по некоторым трубкам. Примерами компартментных систем с трубками могут служить система кроветворения и иммунная система человека, в которых различные органы – компартменты, связаны трубками – лимфатические сосуды, вены, артерии, капилляры и т.д.

В работе предложен подход к построению стохастической модели динамики популяции частиц, распределенной по компартментной системе с трубками. Новизна модели заключается в том, что популяция описывается в терминах многомерного случайного процесса рождения и гибели, дополненного учетом точечных распределений, отражающих уникальные типы частиц – времена их переходов между компартментами. Продолжительности переходов частиц по трубкам не являются случайными, а задаются как параметры среды, в которой развивается популяция. Для формализации и компактного представления модели использована теория графов. На основе метода Монте-Карло построен алгоритм

моделирования динамики популяции. Приведены результаты вычислительных экспериментов для системы, состоящей из пяти компартментов.

Построенная модель допускает обобщение с точки зрения усложнения процессов, описывающих динамику частиц в компартментах и трубках, и может использоваться, например, при моделировании динамики развития ВИЧ-1 инфекции в организме человека.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований СО РАН N. I.1.3.2, проект N. 0314-2019-0009.

Метод максимального сечения при моделировании пробега в задаче переноса электронов в газе

Г. З. Лотова¹, А. А. Зайцева²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: lot@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10104

Рассматривается задача моделирования электрических пробоев, возникающих в сильном электрическом поле. Такие задачи решаются методом Монте-Карло, путем построения траекторий движения частиц (электронов) от одного столкновения с молекулами газа до другого. Ранее был описан эффективный алгоритм построения криволинейных траекторий движения частиц, путем аппроксимации достаточно малыми прямолинейными отрезками, пройденными за одинаковое время. В данной работе предлагается моделировать криволинейные пробеги электронов между столкновениями с помощью метода максимального сечения. При этом вводится фиктивное дельта-рассеяние, которое не меняет направление движения после столкновения. Полученный алгоритм имеет трудоемкость не превышающую трудоемкость ранее предложенных алгоритмов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 18-01-00599, 18-01-00356, 17-01-00823) и в рамках интеграционного проекта СО РАН (код проекта 0315-2018-0010).

Решение методом Монте-Карло нелинейного уравнения Шредингера

В. Л. Лукинов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Email: vitaliy.lukinov@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10105

Данная работа посвящена изучению влияния случайных шумов при распространении и взаимодействии оптических сигналов в оптоволоконных каналах. На пропускную способность трафика нелинейных каналов оказывают влияние шумы с различного рода источниками: обратное рэлеевское рассеяние, спонтанное рамановское рассеяние и в усилителях вследствие спонтанной эмиссии фотонов. Оптический шум совместно с дисперсией и нелинейностью это три ключевых физических эффекта, влияющих на распространение оптических сигналов в оптоволоконных каналах, которые точно описываются нелинейным уравнением Шредингера (NLSE), учитывающим непрерывное взаимодействие между дисперсией и нелинейностью [1]. Известно, что NLSE (без возмущения) принадлежит классу интегрируемых нелинейных систем [2]. В частности, это обосновывает применение нелинейных аналогов преобразования Фурье (NFT) для перехода от пространственно-временных к спектрально-временным переменным. В настоящее время можно выделить два подхода: нелинейное частотное разделение каналов (NFDm) и нелинейный обратный синтез (NIS), использующие для передачи сигналов дискретную (солитонную) и непрерывные части нелинейного спектра [3, 4].

В работе проведено сравнение численных решений нелинейного уравнения Шредингера путем применения нелинейных аналогов прямого (FNFT) и обратного преобразования (BNFT) Фурье и прямой схемы Эйлера [2]. При FNFT происходит разложение спектра поступающего сигнала путем решения уравнения Захарова-Шабата [2]. Распространение нелинейной части спектра описывается известным уравнением [1]. Для нахождения получаемого сигнала при BNFT применяются разработанные автором методы Монте-Карло для численного решения интегрального уравнения Гельфанда-Левитана-Марченко [4, 5, 6, 7]. Для оценки влияния аддитивного гауссовского белого шума использовалось

численное решение на основе схемы Эйлера. В обоих численных схемах моделировался случайный гауссовский белый шум источника.

Проведено моделирование потери мощности сигнала при прохождении случайной гетерогенной среды и изучено влияние шумов, возникающих при максимальных нагрузках оптического волокна.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00698).

Список литературы

1. G. Agrawal, *Nonlinear fiber optics*, Academic Press, New York, 1996
2. В. Е. Захаров и А.Б. Шабат, Точная теория двумерной самофокусировки и одномерной самомодуляции волн в нелинейных средах // Сов. Физ. 34, 6269, 1972.
3. S.T. Lee, J.E. Prilepsky, S.K. Turitsyn, Nonlinear inverse synthesis for high spectral efficiency transmission in optical fibers. OPTICS EXPRESS, Vol. 22, No 22, 2014.
4. Z. Dong, S. Hari, G. Tao, Z. Kangping, M. I. Yousefi, L. Chao, et al., Nonlinear Frequency Division Multiplexed Transmissions Based on NFT // PTL, IEEE, vol. 27, pp. 1621-1623, 2015.
5. M. J. Ablowitz, D. J. Kaup, A. C. Newell, and H. Segur, The inverse scattering transform-Fourier analysis for nonlinear problems // Stud. Appl. Math. 53, 249315, 1974.
6. V. E. Zakharov, S. V. Manakov, S. P. Novikov, and L. P. Pitaevskii, *Theory of Solitons. The Inverse Scattering Method*. Consultants Bureau, New York, 1984.
7. M. J. Ablowitz and H. Segur, *Solitons and the Inverse Scattering Transform*. SIAM, Philadelphia, 1981.

Statistical analysis of financial news

R. Makarov

Department of Mathematics, Wilfrid Laurier University

Email: rmakarov@wlu.ca

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10106

Asset prices are persistently going up and down depending on supply and demand, and a significant factor which can drive investors' decisions on whether to buy or sell an asset is the news. The motivation of this project is to uncover how financial news and other announcements can affect the stock market, whether that be (but not limited to) changes in the price of a stock or changes in the daily volume. Particularly, the goal is to determine whether the news for a specific period will have a weighty impact on the stock's daily return, or no impact at all. We define an impactful day of news headlines as one where both the standardized log-return and the volume are above or below respective thresholds. Different logistic regression models were used in our research. Each model was tested based on the accuracy of being able to classify the headlines as either not impactful, positive-return impactful, or negative-return impactful. We examined if it's more accurate to model a particular stock (Apple Inc.) or a market index (Dow Jones). The single stock Apple was chosen as there are semi-frequent news articles being written about it. The Dow Jones index was chosen as it contains only 30 stocks, which keeps the complexity lower in comparison with other indices such as the S&P 500.

This is a collaborative project with Zilin Wang and Jake Tuero.

Метод экспоненциального преобразования распределения длины свободного пробега с дополнительным рандомизированным ветвлением траекторий цепи

И. Н. Медведев^{1,2}, К. А. Андреева²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: min@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10107

Представлены новые модификации весового метода экспоненциального преобразования распределения длины свободного пробега [1] частицы с дополнительным рандомизированным ветвлением [2] траекторий цепи столкновений для "плоского" и "сферического" случая. Доказано, что трудоемкость представленных алгоритмов ограничена. На примере тестовых задач теории переноса сквозь слой проведены численные эксперименты по сравнению эффективности новых модификаций с прямым алгоритмом моделирования и стандартным весовым методом экспоненциального преобразования. Результаты расчетов продемонстрировали эффективность построенных новых алгоритмов с ветвлением траектории

по сравнению с остальными упомянутыми алгоритмами для задач с большими оптическими толщинами слоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18-01-00356а и 17-01-00823а)

Список литературы

1. С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов Статистическое моделирование. М, Наука, 1982.
2. Г.А. Михайлов, И.Н. Медведев Оптимизация весовых алгоритмов статистического моделирования. Новосибирск: Омега Принт, 2011.

Оценка параметров спектральной модели периодически коррелированных процессов по реальным данным

А. М. Медвяцкая¹, В. А. Огородников^{1,2}

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: medvyatskaya@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10108

Работа посвящена построению на основе реальных данных приближенной численной стохастической модели периодически коррелированного скалярного гауссовского процесса с заданным периодом коррелированности. Модель строится на основе спектрального представления, в котором коэффициенты Фурье образуют векторную стационарную гауссовскую последовательность. Предложен способ построения этой стационарной векторной последовательности на основе данных наблюдений, а также способ оценки ее матричной корреляционной функции. Методом прямого моделирования исследована точность воспроизведения моделью корреляционной функции реального процесса в зависимости от числа используемых гармоник. Приведен пример моделирования периодически коррелированного временного ряда температуры воздуха на основе реальных данных.

Работа выполнена в рамках государственного задания 0315-2019-0002, частично поддержана Российским научным фондом Фундаментальных исследований (гранты № 18-01-00149, РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-41-543001-р_мол_а.

Построение численно-статистической модели однородного случайного поля с заданным распределением интеграла по одной из фазовых координат

Г. А. Михайлов¹, Е. Г. Каблукова¹, В. А. Огородников^{1,2}, С. М. Пригарин^{1,2}

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: gam@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10109

Рассматривается задача построения численно реализуемой модели трехмерного однородного случайного поля в слое $0 < z < H$ с известными безгранично-делимым одномерным распределением и корреляционной функцией двумерного поля, которое является интегралом трехмерного по вертикальной координате z . В качестве одномерного используется гамма-распределение с параметром формы L . В качестве базовой модели трехмерного поля рассматривается совокупность независимых “горизонтальных” слоев толщины h с постоянным значением по z , сдвинутых по вертикали на случайную величину, равномерно распределенную в интервале $(0, h)$. Нормированная корреляционная функция интеграла по z в пределах слоя $(0, h)$ совпадает с заданной, а в качестве одномерного рассматривается гамма-распределение с параметром Lh/H . Доказано утверждение о том, что для такой модели корреляционная функция интеграла по z совпадает с заданной корреляционной функцией по x, y . В предположении однородности модели в качестве вертикальной корреляционной длины рассматривается среднее арифметическое корреляционных длин по x и y . Для расширения класса возможных моделей рассматривается специальное расслоение базовой модели на основе разложения “вогнутой” корреляционной функции по треугольным, соответствующим базовой модели с различными значениями h .

Работа выполнена в рамках государственного задания 0315-2019-0002, частично поддержана Российским научным фондом фундаментальных исследований (гранты 18-01-00149, 18-01-00356).

О применении метода Монте-Карло к исследованию процесса сополимеризации в промышленных условиях

Т. А. Михайлова, С. И. Мустафина

Башкирский государственный университет

Email: t.a.mihailova@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10110

В основе производства синтетических каучуков лежат процессы полимеризации и сополимеризации. Для их исследования могут быть применены кинетический и статистический подходы к моделированию. Статистический подход, который несет в себе метод Монте-Карло, заключается в имитации процессов, происходящих с макромолекулами, на уровне частиц. Это позволяет описать детальную структуру макромолекул в терминах нескольких вероятностных параметров, что позволяет в любой момент времени получать действительные значения характеристик сополимера [1].

Производство синтетического каучука представляет собой непрерывный процесс и протекает в каскаде реакторов. Для этого построена модель, основанная на методе Монте-Карло, в которой учитывается распределение частиц продукта по времени пребывания. Проведение вычислительных экспериментов на основе построенной модели сопровождается обработкой большого объема статистических данных, для этого разработан подход к хранению и обработке результатов экспериментов с применением Microsoft Excel с целью анализа результатов в условиях производства [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-47-020068).

Список литературы

1. Михайлова Т.А., Мифтахов Э.Н., Насыров И.Ш., Мустафина С.А. Моделирование непрерывного процесса свободно-радикальной со-полимеризации бутадиена со стиролом методом Монте-Карло // Вестник ВГУИТ, 2016. №2. С 210–217.

2. Михайлова Т.А., Мустафина С.И., Михайлов В.А. Автоматизация обработки результатов химического эксперимента по моделированию производства синтетического каучука с использованием Microsoft Excel // Вестник Башкирского университета. 2019 (принято к печати).

Моделирование структуры и стабильности биметаллических нановолокон методом Монте-Карло

В. С. Мясниченко¹, Н. Ю. Сдобняков¹, Л. Кирилов², Р. Михов²

¹Тверской государственный университет

²Институт информационных и коммуникационных технологий Болгарской АН

Email: virtson@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10111

Представлен метод оптимизации моно- и биметаллических наноструктур. Ядром метода является классический метод Монте-Карло на различных решетках в сочетании с последующим применением локальной релаксации (в т.ч. низкотемпературной молекулярной динамики). Метод позволяет решать задачи с периодическими граничными условиями, что может быть использовано для моделирования одномерных и двумерных атомных структур [1]. Если периодические граничные условия не заданы, предполагаются конечные размеры модельной решетки. Кроме того, автоматическая релаксация кристаллической решетки может выполняться с целью минимизации потенциальной энергии системы. Компьютерная реализация метода использует общепринятый формат XYZ для описания атомарных структур и передачи входных данных.

Выполнено несколько серий моделирования отжига для изучения влияния размера, состава и температуры на поверхностные явления (атомная сегрегация и структурная нестабильность) в нановолокнах Au-Ag. Межатомное взаимодействие задавалось многочастичным потенциалом сильной связи [2]. Использовались ГЦК решетка и ‘декаэдрическая’ решетка с осью симметрии пятого порядка. Обнаружено, что (особенно в первом случае) наиболее стабильная конечная конфигурация нановолокна имеет поверхность с преобладанием Ag атомов и приповерхностный слой, богатый Au атомами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-38-00571 мол_а) и поддержке Министерства образования и науки Респ. Болгария (акроним проекта ICTinSES).

Список литературы

1. Myasnichenko V. et al. Monte Carlo Approach for Modeling and Optimization of One-Dimensional Bimetallic Nanostructures // The 9th International Conference on Numerical Methods and Applications NM&A'18. Borovetz, 2018. P. 133–141.
2. Cleri F., Rosato V. Tight-binding potentials for transition metals and alloys // Phys. Rev. B, 1993. Vol. 48, № 1. P. 22–33.

Двухступенчатая модель гетерогенных реакций диссоциации-рекомбинации водорода в методе ПСМ

М. Ю. Плотников, Е. В. Шкарупа

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: sev@osmf.sgcc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10112

Метод прямого статистического моделирования (ПСМ) в настоящее время наиболее востребованный численный инструмент для моделирования течений разреженного газа [1]. Одной из перспективных областей его применения является моделирование взаимодействия газа с поверхностями, как в целях модификации их, так и в целях использования каталитических свойств поверхностей для "активации" газа. При этом встает проблема моделирования в рамках метода ПСМ гетерогенных реакций. В представленной работе разработан алгоритм метода ПСМ для моделирования реакций диссоциации-рекомбинации водорода на основе двухступенчатой модели [2]. Проведена верификация алгоритма на примере бесконечной нагретой проволоки, помещенной в атмосферу водорода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 18-08-00295).

Список литературы

1. Bird G.A. Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows. Oxford: Clarendon Press; 1994
2. Mankelevich Yu. A., Ashfold M. N. R., Umemoto H. Molecular dissociation and vibrational excitation on a metal hot filament surface // J. Phys. D: Appl. Phys. 2014. V.47. 025503.

Статистическое моделирование нестационарных кольцевых структур в облачных и водных средах, возникающих при рассеянии лазерных импульсов

С. М. Пригарин^{1,2}, Д. Э. Миронова¹

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: mirkin_93@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10113

Работа посвящена исследованию пространственно-временных распределений фотонов лазерного импульса при многократном рассеянии в облачных и водных средах. Методом Монте-Карло рассчитывались концентрация рассеянных фотонов при распространении лазерного импульса, кратность рассеяния и преимущественное направление распространения фотонов. Результаты статистического моделирования демонстрируют особенности пространственно-временных распределений, зависящие от оптических характеристик и геометрии рассеивающей среды. Так, при рассеянии короткого лазерного импульса в достаточно тонком облачном слое, приемник широкоугольного CCD-лидара регистрирует расширяющееся световое кольцо, по особенностям которого можно судить об оптических свойствах среды. Внутри основного кольца на короткое время возникает второе световое кольцо, возникновение которого объясняется особенностями облачной индикатрисы рассеяния [1]. Эффект, аналогичный расширяющемуся световому кольцу, при определенных условиях возникает и в водных средах.

Список литературы

1. Prigarin S.M., Mironova D.E. Stochastic simulation of peculiarities of laser pulse propagation in clouds and water media, Proc. SPIE 10833, 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 108331Z (13 December 2018).

Monte Carlo simulation of the exciton recombination in semiconductors with a large number of dislocations: transients under spatially varying excitonic life time

K. K. Sabelfeld, A. E. Kireeva

Institute of computational mathematics and mathematical geophysics, SB RAS

Email: karl@osmf.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10114

In this study a Monte Carlo simulation algorithm for modeling the exciton recombination in a semiconductor with a large number of dislocations having a piezoelectric field around them is developed. The Monte Carlo algorithm is based on the random walk on spheres algorithm suggested for solving the transient drift-diffusion-reaction problems in [1]. The stochastic simulation model of the exciton recombinations in the semiconductor is applied to evaluate the cathodoluminescence intensity. The cathodoluminescence method is employed for the analysis of a material structure and revealing of the dislocations in semiconductors. Recently [2] it has been suggested that a piezoelectric field around the threading dislocations affects the cathodoluminescence imaging of dislocations. The reason is that the strain field in the vicinity of dislocations produces a piezoelectric field which affects the excitonic life-time close to the dislocation edge and causes a drift of excitons. Our previous Monte Carlo models simulate the threading dislocation as a semi-cylinder whose surface adsorbs excitons with some recombination rate. In this work, we simulate the dislocation with a piezoelectric field which changes the life-time and the drift of excitons depending on the distance from the dislocation line. The cathodoluminescence transients are calculated for a desired number of dislocations.

The support of the Russian Science Foundation under grant N 19-11-00019 is kindly acknowledged.

References

1. Sabelfeld K.K. Random walk on spheres algorithm for solving transient drift-diffusion-reaction problems. Monte Carlo Methods Appl. Vol. 23 (3), 189-212 (2017).
2. Kaganer, V. M., Sabelfeld, K. K., Brandt, O. Piezoelectric field, exciton lifetime, and cathodoluminescence intensity at threading dislocations in GaN{0001}. Applied Physics Letters, 112 (12), 122101. 5 pp. (2018).

Stochastic simulation of electron and hole transport in semiconductors with a precise annihilation and non-radiative recombinations

K. K. Sabelfeld, A. E. Kireeva

Institute of computational mathematics and mathematical geophysics, SB RAS

Email: karl@osmf.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10115

In this talk we deal with simulation algorithms for electron-hole annihilation in inhomogeneous semiconductors. This field attracted considerable experimental and theoretical interest during the past three decades since the optoelectronic properties of technologically important materials have been found to be controlled by the electron-hole recombination dynamics. We suggest a new version of the Random Walk on Spheres algorithm [1] combined with the kinetic Monte Carlo method based on a precise simulation of the first passage time and the random times of main events in the transport and recombination of electrons and holes in inhomogeneous semiconductors with a set of non-radiative centers. First suggested in [2] and further developed in [3], the stochastic method involved a bias caused by the approximate simulation of the conditional position inside a limiting sphere under the condition the time is preselected. In this presentation we show that a precise account of the kinetics of electron-hole annihilation is possible, and give some comparative simulations carried out by the original algorithm [2] and the new method suggested.

The support of the Russian Science Foundation under grant N 19-11-00019 is kindly acknowledged.

References

1. K. K. Sabelfeld, Monte Carlo Methods in Boundary Value Problems, Springer, Berlin, 1991.

2. K. Sabelfeld, O. Brandt, V. Kaganer. Stochastic model for the fluctuation limited reaction-diffusion kinetics in inhomogeneous media based on the nonlinear Smoluchowski equations. Journal of Mathematical Chemistry, 2015, vol. 53, Issue 2, 651-669.

3. Sabelfeld K.K., Kireeva A.E. Stochastic simulation of bimolecular reactions in vicinity of traps and applications to electron-hole recombination in 2D and 3D inhomogeneous semiconductors. Journal of Computational Electronics, 2017, v.16, N2, 325-339.

Численное статистическое моделирование характеристик протяженных антенных полей

Б. В. Семенов^{1,2}, Н. И. Черных²

¹*Уральский федеральный университет*

²*Институт математики и механики УрО РАН*

Email: b.v.semenov@urfu.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10116

Исследованы проблемы, возникающие при управлении антенными полями большой протяженности на базе антенных решеток с остронаправленными элементами в виде больших зеркальных антенн [1]. Такие системы обладают уникальными возможностями в части решения новых задач в области радиолокации и радиоастрономии. Методами численного моделирования исследованы статистические характеристики 600-метрового крестообразного радиотелескопа (РТ) из 81 полноповоротных 15-ти метровых параболических антенн. Показано, что возможно построение линейных протяженных антенных полей (линейного и крестообразного РТ) на базе больших параболических антенн с реализуемыми на практике допусками на юстировку положения антенн, на ориентацию их в пространстве, а также ошибками в линиях питания антенн РТ. Доказана эффективность предложенного авторами метода компенсации ошибок юстировки антенн при электронном сканировании лучом РТ.

Список литературы

1. В.И. Гусевский, Б.В. Семенов, В. М. Плещев, Н. И. Черных, А.В. Клементьева. Построение антенных полей большой протяженности. //Антенны, № 3 (223), 2016. С. 3-9

Численная стохастическая модель совместных пространственно-временных полей температуры воздуха и осадков

С. С. Скворцов, О. В. Сересева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: skvortsovstepan54@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10117

В докладе представлены результаты исследования статистических характеристик стохастических пространственно-временных полей среднесуточной приземной температуры воздуха и суточных сумм осадков. Исследования проводились на основе данных реальных наблюдений на 47 метеорологических станциях Европейской части Российской Федерации за 41 год.

Для построения параметрической стохастической модели метеорологических полей исследованы вопросы аппроксимации одномерных распределений случайных полей аналитическими функциями и проведен анализ их пространственно-временной корреляционной структуры.

Построена модель стохастических пространственно-временных полей среднесуточной температуры воздуха и суточных сумм осадков, исследованы статистические характеристики некоторых совместных событий.

Оценка вероятностных характеристик решения стохастических дифференциальных уравнений с частными производными методом численного статистического моделирования на суперкомпьютере (АПВПМ-2019)

Д. Д. Смирнов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: smirnovdd@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10118

Стохастические дифференциальные уравнения с частными производными (СДУЧП) являются хорошим инструментом для описания многих природных процессов, поэтому моделирование СДУЧП является актуальной задачей [1]. Оценка вероятностных характеристик решения СДУЧП с высокой

точностью является трудоемкой задачей, поэтому для ее решения в алгоритме распараллеливаются независимые реализации [1], численный метод для моделирования одной реализации [2]. Расчеты проведены на кластерах НКС – 30Т и НКС – 1П ССКЦ при ИВМ и МГ СО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00698 и код проекта 18-01-00599).

Список литературы

1. Артемьев С. С., Марченко М. А., Корнеев В. Д., Якунин М. А., Иванов А. А., Смирнов Д. Д. Анализ стохастических колебаний методом Монте-Карло на суперкомпьютерах. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2016.
2. Яненко Н. Н., Коновалов А. Н., Бугров А. Н., Шустов Г. В. Об организации параллельных вычислений и "распараллеливании" прогонки // Сб. Численные методы механики сплошной среды. 1978. Т. 9, № 7. С. 139–146.

Восстановление коэффициентов отражения земной поверхности по данным приборов MODIS, Сангур, ГСА и МСУ-100

М. В. Тарасенков, В. В. Белов, М. В. Энгель, А. В. Зимовая, Ю. В. Гриднев

Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН

Email: TMV@iao.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10119

В рамках работ [1-2] предложен алгоритм восстановления коэффициентов отражения земной поверхности. Основу этого алгоритма составляют разработанные нами программы метода Монте-Карло. Базой для создания этих алгоритмов послужили работы [3-5].

Для дальнейшего уменьшения погрешности предлагаемого алгоритма были внесены изменения, позволяющие учесть влияние поляризации излучения. Для апробации модифицированного алгоритма рассматривались спутниковые снимки прибора MODIS для 3-х участков: 1) участок на юге Томской области, 2) участок северо-востока Москвы, 3) участок Иркутской области вблизи оз. Байкал. Для оценки погрешности алгоритма коэффициенты отражения для участков хвойного леса сравнивались со значениями из [6]. Сравнение показывает, что модифицированный алгоритм с учетом поляризации излучения для ряда каналов и ряда ситуаций дает погрешности в несколько раз меньшие, чем алгоритм MOD09.

Следующим этапом работы стало создание программ восстановления коэффициентов отражения земной поверхности для отечественных приборов Сангур, ГСА и МСУ-100. Для апробации возможностей этих алгоритмов были выполнены сопоставления с наземными и эталонными измерениями. Результаты сравнения показывают, что восстановленные коэффициенты отражения земной поверхности могут быть использованы для решения широкого круга задач.

Список литературы

1. Tarasenkova M.V., Belov V.V. Software package for reconstructing reflective properties of the Earth's surface in the visible and UV ranges // Atmospheric and Oceanic Optics. 2015. Vol. 28, № 1. P. 89-94.
2. Tarasenkova M.V., Belov V.V., Engel M.V. Algorithm for reconstruction of the Earth surface reflectance from Modis satellite measurements in a turbid atmosphere // Proceedings of SPIE. 2018. Vol. 10833. CID: 10833 16 [10833-58].
3. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А., Дарбинян Р.А., Каргин Б.А., Елепов Б.С. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976.
4. Каргин Б.А. Статистическое моделирование поля солнечной радиации в атмосфере/ под ред. Г.А. Михайлова. – Новосибирск: Ротапринт ВЦ СО АН СССР, 1984.
5. Назаралиев М.А. Статистическое моделирование радиационных процессов в атмосфере. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1990. – 227 с.
6. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. Ленинград. Издательство Академии Наук СССР, 1947.

Моделирование самоорганизации локализованных зарядов на границе полупроводника с подзатворным диэлектриком

О. А. Ткаченко¹, Д. Г. Бакиев², О. П. Сушков³, В. А. Ткаченко^{1,2}

¹Институт физики полупроводников СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³University of New South Wales

Email: vtkach@isp.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10120

Мы применили алгоритм Метрополиса [1] и теорию однокомпонентной плазмы к моделированию изолированной системы отрицательных зарядов, находящейся в тепловом равновесии на поверхности нелегированной полупроводниковой структуры. Учтено присутствие зарядов изображения в металлическом затворе вместо обычно подразумеваемого однородного нейтрализующего фона [2]. Расчеты зависимости структурного фактора от волнового числа q показывают, что самоорганизация поверхностных зарядов существенна даже при эффективной температуре 1000 К. Это позволило объяснить результаты измерений квантового и транспортного времен рассеяния двумерных носителей в соответствующих структурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 19-72-30023).

Список литературы

1. Metropolis N., Rosenbluth A. W., Rosenbluth M. N., Teller A. H., Teller E. Equation of State Calculations by Fast Computing Machines// J. Chem. Phys. 1953. V.21. P. 1087- 1091.

2. Gann R. C., Chakravarty S., Chester G. V. Monte Carlo simulation of the classical two-dimensional one-component plasma//Phys. Rev. B. 1979. V.20. P. 326-344.

Сравнительный анализ ядерных и проекционных оценок интенсивности излучения

Н. В. Ткачева¹, С. А. Ухинов²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: tnv@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10121

В докладе рассматриваются два различных подхода к численному решению одной задачи теории переноса излучения – задачи аппроксимации двунаправленных угловых характеристик поляризованного излучения, прошедшего и отраженного слоем поглощающего и рассеивающего вещества.

Первый из рассматриваемых подходов основан на разложении двунаправленной угловой плотности распределения поверхностного и подповерхностного рассеивания по базисным полиномам, ортонормированным с ламбертовским весом. Коэффициенты данного разложения являются математическими ожиданиями случайных величин от некоторых стандартных функций, что позволяет применить метод Монте-Карло.

Второй из рассматриваемых подходов – двумерная ядерная оценка угловой плотности распределения поверхностного и подповерхностного рассеивания. Обсуждается специфическая для поставленной задачи методика выбора оптимальной "полосы пропускания" для равномерной функции ядра.

Для обоих подходов приводится сравнительный обзор численных результатов, полученных для угловых плотностей вероятностей интенсивности и степени поляризации излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проектов 17-01-00823, 18-01-00356, 18-31-00213).

Статистическое моделирование переноса оптических сигналов через взволнованную поверхность

О. С. Ухинова¹, Б. А. Каргин^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН.

²Новосибирский государственный университет

Email: olsu@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10122

Строгое решение подавляющего числа прямых задач оптики системы океан-атмосфера возможно лишь в статистической формулировке. Это обусловлено тем, что поле оптического излучения системы

океан-атмосфера в значительной мере формируется под воздействием взволнованной морской поверхности, отражающей и преломляющей приходящее электромагнитное излучение. Характерная особенность этого воздействия обусловлена случайным характером ветрового волнения морской поверхности. В работе для описания взволнованной поверхности моря принята так называемая плоская “фацетная” модель, которая впервые была применена к расчету переноса солнечной радиации в системе атмосфера-океан [1]. В работе рассмотрено интегральное стационарное уравнение переноса излучения в среде со случайно-неоднородной преломляющей границей [2] и предложен весовой алгоритм решения этого уравнения методом Монте-Карло. Предполагалось, что этот алгоритм будет реализован в рамках разрабатываемой системы автоматизации статистического моделирования атмосферно-оптических задач, частично описанной в [3].

Работа выполнена в рамках проекта гос. задания № 0315-2019-0002, при частичной финансовой поддержке.

Список литературы

1. Plass G.N., Kattawar G.W. Radiative Transfer in an Atmosphere-Ocean System // Appl. Opt. 1969. V. 8. № 2. P. 455-466.
2. Kargin B.A., Rakimgulov K.B. A weighting Monte Carlo method for modelling the optical radiation field in the ocean-atmosphere system // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 1992. V. 7. № 3. P. 221-240.
3. Каргин Б.А., Лаврентьев А.Е., Пригарин С.М. Система автоматизации статистического моделирования радиационного поля атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 3. С. 238-245.

Gamma-pulse generated by rotating pencil-source

V. V. Uchaikin

Ulyanovsk State University

Email: vuchaikin@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10123

The time- and angle-broadening of the observed radio- and gamma-pulses from pulsars is explained by the scattering of the radiation in the interstellar medium (ISM): scattered rays (quanta) pass longer paths and have other directions of arrival, which produces the broadening. In this report, we consider the contribution to this process of advancing the primary ray due to the rotation of the pulsar itself: the scattered component of the pulse is not a rigid structure rotating with the primary beam, but lags behind this rotation as a result of the independent motion of photons scattered in ISM. Quantitative estimates of this effect, obtained on the basis of an analysis of the adjoint gamma-transport equations in a turbulent interstellar medium, are discussed.

On the distribution of the MIN3 two-sample test statistic

P. Philonenko, S. Postovalov

Novosibirsk State Technical University

Email: petr-philonenko@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10124

The MIN3 two-sample test has been proposed in [1]. Test statistic MIN3 is a minimum of three dependent random variables: p-values of the weighted Kaplan-Meier test, Bagdonavičius–Nikulin test based on MCE model and Bagdonavičius–Nikulin test based on SCE model [2-4]. The asymptotical distribution of the MIN3 two-sample test statistic is unknown. However, we found that MIN3 test statistic distribution can be approximated by the Beta distribution of the third kind [5]. In the paper, the results of the Monte-Carlo simulations are shown.

This research has been supported by the Russian Ministry of Education and Science as a part of the state task (application number 1.1009.2017/4.6).

References

1. Petr Philonenko & Sergey Postovalov (2019): The new robust two-sample test for randomly right-censored data, Journal of Statistical Computation and Simulation, DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1080/00949655.2019.1578769.
2. Philonenko P, Postovalov S. A new two-sample test for choosing between log-rank and Wilcoxon tests with right-censored data. J Stat Comput Simul. 2015; 85(14) : 2761–2770.
3. Philonenko P, Postovalov S, Kovalevskii A. The limit test statistic distribution of the maximum value test for right-censored data. J Stat Comput Simul. 2016; 86(17) : 3482–3494.

4. Postovalov S, Philonenko P. A comparison of homogeneity tests for different alternative hypotheses /// statistical models and methods for reliability and survival analysis. In honor of M.S. Nikulin : monograph. London: ISTE Ltd and Wiley; 2013. p. 177–194. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.1002/9781118826805.ch12.

5. Gubarev VV. Probabilistic models: reference book in 2 parts. // NETI. - Novosibirsk; 1992. 422 p. Russian.

Решение нестационарного уравнения диффузии на основе алгоритм блуждания по сферам

И. А. Шалимова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: ias@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10125

Рассматривается начально-краевая задача для нестационарного уравнения диффузии. На основе полученных представлений вероятностей первого выхода на границу области по пространству и времени стоит алгоритм блуждания по сферам и подсчитываются искомые функционалы, такие как среднее время жизни частицы, поток на выделенные участки границы. Подобные постановки возникают в задачах биологии (вычисление вероятности проникновения вирусов в клеточное ядро, среднего времени), в полупроводниках (вычисление интенсивности катодод-люминесценции, потока на дислокации). Настоящая работа является продолжением работы [1], где рассматривался стационарный случай, и [2] – для изотропной диффузии и нестационарного случая.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 19-11-00019).

Список литературы

1. Shalimova I.A., Sabelfeld K.K. Random walk on spheres method for solving anisotropic drift-diffusion problems. MCMA, 24 (2018), N1, 43-54

2. Sabelfeld K.K. Random walk on spheres algorithm for solving transient drift-diffusion-reaction problems. MCMA, 23 (2017), N3, 189-212.

Численный анализ стохастического осциллятора Ван-дер-Поля

М. А. Якунин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: yma@osmf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10126

В настоящей работе продолжены исследования влияния пуассоновского случайного шума на поведение осциллятора Ван-дер-Поля, которые были начаты в [1]. Путем статистического моделирования траекторий решения стохастического дифференциального уравнения (СДУ), задающего осциллятор, численно исследовано влияние параметров СДУ и пуассоновской составляющей на характер колебаний первого и второго моментов решения СДУ. Исследовано влияние размеров шага интегрирования численной схемы и ансамбля моделируемых траекторий решения СДУ на точность оценок моментов решения при большой величине скачков пуассоновской составляющей.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2019-0002).

Список литературы

1. Якунин М.А. Анализ стохастических осцилляторов методом статистического моделирования // Труды Международной конференции “Марчуковские научные чтения – 2017”. ИВМиМГ СО РАН. Новосибирск. 25 июня – 14 июля 2017 г. С. 1033-1038. [Электрон. ресурс]. <http://conf.nsc.ru/cam17/ru/proceedings>.

Секция 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ, ОКЕАНА, КЛИМАТА И ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Учет информации в дискретно-непрерывных системах уравнений типа Урысона

В. А. Белозуб, М. Г. Козлова

ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского

Email: art-inf@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10127

Рассматриваются системы нелинейных дискретно-непрерывных уравнений типа Урысона. Дискретность соответствует дискретным моментам времени измерения и дискретности точек наблюдения. Интегральный оператор содержит множитель, соответствующий характеру модели отражения от поверхности и дельтаобразное ядро, зависящее от времени отражения импульса от исследуемой поверхности (двойное расстояние от точки наблюдения до поверхности, деленное на скорость). Решение таких систем является некорректной задачей. Регуляризирующие алгоритмы основаны на учете информации о решении, модели дистанционного зондирования, параметрах ядра. Учитываются: гладкость искомого решения, его положительность, монотонность, наличие точек экстремума, асимптотические свойства интегрального оператора типа Урысона в зависимости от параметров дельтаобразного ядра. Линеаризация и замена уравнений близкими, их дискретизация, позволяет строить приемлемые по сложности итерационные алгоритмы. Проведены численные эксперименты, подтверждающие теоретические выкладки.

Список литературы

1. Белозуб В. А., Козлова М. Г., Лукьяненко В. А. Уравнения типа Урысона в задачах восстановления точек поверхности // Соболевские чтения. Международная школа-конференция: Тез. докл. / Под ред. Г. В. Демиденко. – Новосибирск: Изд-во Института математики, 2017. – С. 35-36.

Идентификация нитевидных структур полярного вихря в данных моделирования

И. В. Боровко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт

Росгидромета

Email: irina@ommfaol.sgcc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10128

Для описания динамики стратосферы и верхней тропосферы используется потенциальный вихрь Эртеля. Нитевидные вихревые структуры (так называемые стримеры) в поле потенциального вихря являются показателем неустойчивости вертикально распространяющихся волн Россби. Обрушение волн Россби в стратосфере и их отражение в тропосферу оказывают существенное влияние на динамические поля в тропосфере. В данной работе проанализированы поля потенциального вихря для данных, полученных с помощью модели общей циркуляции атмосферы промежуточной сложности. Для идентификации нитевидных структур был использован метод, предложенный в работе [1]. Показаны основные области неустойчивости для разных сезонов года.

Список литературы

1. Wernli, H., and M. Sprenger. Identification and ERA-15 Climatology of Potential Vorticity Streamers and Cutoffs near the Extratropical Tropopause. // J. Atmos. Sci., 2007, V.64, p.1569–1586, DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.1175/JAS3912.1.

The optimization of a seawall's position around ports for protection against tsunami*A. Vazhenin¹, An. Marchuk², K. Hayashi¹*¹*University of Aizu, Aizu-Wakamatsu, Japan*²*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS**Email: vazhenin@u-aizu.ac.jp*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10129

The important part of the tsunami research is focused on studying the considerable influence of natural geographical objects, like islands and near-coastal bathymetry, on tsunami waves. Complementing the physical modeling, we are designing a system for computer simulations of crucial coastal areas. The Bathymetry and Tsunami Source Data Editor is a basic system tool for editing bathymetric and tsunami source data by including/removing artificial seawalls and submerged barriers having different shapes and sizes has been developed and tested. It is used for editing digital bathymetry by adding virtual parallelepiped-like objects such as cubes, walls, etc. The user can also create composite objects using integration of these elementary objects. This makes possible to control the tsunami wave height by underwater artificial objects as well as provide studying features of the natural bathymetry. Results of numerical experiments are presented for the gridded hybrid bathymetry for several sea ports and harbors of Japan. The influence of the seawall size and position on tsunami height inside Soma and Onahama ports has been studied. Preliminary results demonstrate a good possibility to realize this type of tsunami modeling. This system can help to issue recommendations for better protection of some crucial coastal sites which suffer from tsunami hazard.

Численное моделирование двухслойного реактора окисления аммиака*Н. В. Верниковская, Л. Г. Пинаева, Л. А. Исупова**Институт катализа СО РАН**Email: vernik@catalysis.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10130

Нелинейные системы дифференциальных уравнений в частных производных с двумя переменными и с производной не выше первого порядка по одной из них часто возникают при исследовании процессов тепло- и массопереноса в гетерогенных каталитических реакторах с реакциями на поверхности катализатора. При численном решении таких систем хорошо зарекомендовал себя подход, заключающийся в использовании интегро-интерполяционного метода, метода прямых и L устойчивого метода типа Розенброка 2-го порядка точности.

В данной работе рассмотрены особенности применения этого подхода к задаче численного моделирования двухступенчатого реактора окисления аммиака по стационарной двухфазной модели в одномерном приближении. Роль переменной с первой производной по ней выполняет время, появляющееся при использовании метода установления. Особенностью реактора является узкая реакционная зона, состоящая из Pt-Rh каталитических сеток, а также наличие блочного катализатора, расположенного за пакетом сеток, теплового экрана перед пакетом и газовых прослоек между составляющими реактора. Цель моделирования состояла в исследовании и объяснении экспериментально наблюдаемого влияния геометрии блока на температуру и выход NO_x после сеток. Хорошее описание экспериментальных данных позволяет говорить об адекватности модели моделируемому реактору и корректности решения уравнений модели.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института катализа СО РАН.

Полулагранжев метод для численного решения уравнений Навье – Стокса для вязкого теплопроводного газа*А. В. Вяткин¹, Е. В. Кучунова²*¹*Институт вычислительной моделирования СО РАН*²*Сибирский федеральный университет**Email: vyatkin@krasn.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10131

В работе представлен численный алгоритм решения уравнений Навье-Стокса, описывающий трехмерное течение вязкого теплопроводного газа [1]. В работе для аппроксимации полной

(субстанциональной) производной по времени в каждом уравнении системы используется метод траекторий [2-4], заключающийся в аппроксимации этой производной с помощью разностной производной назад по времени вдоль траектории движения частицы. Дискретизация по пространству остальных слагаемых уравнений Навье-Стокса на каждом временном слое проводится методом конечных элементов с кусочно-трилинейными базисными функциями и применением квадратурных формул [5]. Как следует из тестовых расчетов [6], применение комбинации методов траекторий и конечных элементов позволяет построить алгоритм, довольно эффективный с вычислительной точки зрения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 18-41-243006.

Список литературы

1. Алоян А.Е. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере: Курс лекций. – М.: ИВМ РАН, 2002. – 201с.
2. Pironneau O. On the Transport-Diffusion Algorithm and Its Applications to the Navier-Stokes Equations // *Numerische Mathematik*. – 1982. – Vol.38. – P. 309-332.
3. Douglas J., Russell T. Numerical methods for convection-dominated diffusion problems based on combining the method of characteristics with finite element or finite difference procedures // *SIAM J. Numer. Anal.* – 1982. – Vol. 19. – P. 871-885.
4. Магомедов К.М. Метод характеристик для численного расчета пространственных течений газа // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. – 1966. – Т.6, № 2. – С.313-325
5. Шайдуров В.В., Щепановская Г.И., Якубович М.В. Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа в канале // *Вычислительные технологии*. – 2013. – Т.18, №4. – С.77-90.
6. Шайдуров В.В., Щепановская Г.И., Якубович М.В. Применение метода траекторий и метода конечных элементов в моделировании движения вязкого теплопроводного газа // *Вычислительные методы и программирование*. – 2011. – Т.12. – С.275-281.

Оценка роли процессов, связанных с трансформацией вод на Арктическом шельфе, в формировании термохалинных и ледовых характеристик Северного Ледовитого океана

Е. Н. Голубева^{1,2}, В. В. Малахова¹, Г. А. Платов^{1,2}, Д. Ф. Якишина^{1,2}

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: elen@ommfao.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10132

Основной задачей является исследование процессов, происходящих в водах арктических шельфовых морей в условиях меняющегося климата, и оценка их роли в формировании термохалинных и ледовых характеристик Северного Ледовитого океана. С помощью численного моделирования воспроизводится пространственно-временная изменчивость процессов, протекающих в водах Арктического бассейна и на арктическом шельфе, анализируется их чувствительность к вариациям физических параметров, проверяются научные гипотезы, сформулированные на основе обработки данных наблюдений в научных работах последних лет. Для проведения исследования используется численная модель SibCIOM, разработанная в ИВМиМГ СО РАН, данные реанализа атмосферы, данные расчетов моделей климатической системы по сценарию антропогенного потепления.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ (№17-05-00382-А, 17-05-00396-А).

Динамико-стохастическая параметризация облачности в модели общей циркуляции атмосферы

В. Я. Галин, В. П. Дымников

Институт вычислительной математики РАН им. Г. И. Марчука

Email: venergalin@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10133

В докладе формулируется метод динамико-стохастической параметризации балла неконвективной облачности в модели общей циркуляции атмосферы. Предложенный алгоритм исследуется на основе модели общей циркуляции атмосферы с заданной температуры поверхности океана. Результаты расчетов сравниваются с данными спутниковых наблюдений и с результатами расчетов балла облачности,

выполненными с помощью совместной модели циркуляции атмосферы и океана высокого разрешения. Проведенные эксперименты показывают несомненную перспективность данного подхода.

Применение моделей мелкой воды в задачах о взаимодействии длинных поверхностных волн с частично погруженным телом

О. И. Гусев, Г. С. Хакимзянов

Институт вычислительных технологий СО РАН

Email: gusev_oleg_igor@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10134

В работе использована иерархия математических моделей [1], описывающих взаимодействие длинных поверхностных волн с частично погруженным телом. На ее верхнем уровне находится модель потенциальных течений жидкости со свободной границей, а на следующих – модели мелкой воды второго и первого длинноволнового приближения. Для последних разработаны и численно реализованы условия сопряжения решений на границе между течением со свободной поверхностью и течением под телом. При помощи сравнений численных решений, полученных в рамках моделей этой иерархии, сделаны выводы об областях применимости моделей мелкой воды при различных значениях параметров, определяющих набегающую волну, размеры тела и его осадку. Приведены сравнения полученных решений с экспериментальными данными.

Список литературы

1. Khakimzyanov G. S., Dutykh D. Long wave interaction with a partially immersed body. Part I: Mathematical models // Communications in Computational Physics. 2019. Vol. 24. (в печати).

О $k - \varepsilon$, LES, Рейнольдс и степенных моделях

К. Б. Джакупов

Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы) Казахстан

Email: jakupovkb@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10135

Тезисы печатаются в авторской редакции

Моделирование турбулентных течений несжимаемой жидкости уравнениями Рейнольдса для осредненных скоростей, давления и произведений пульсаций, продолжением которых являются бесконечные системы уравнений моментов высоких порядков Келлера – Фридмана, а также LES-методом, заложены в невозможности определения такого универсального периода осреднения T во времени, который имеет единственное постоянное значение во всех точках турбулентного потока и одинаков для всех динамических функций. Данное обстоятельство привело к использованию нефизичных по своей сути и абсурдных по конструкции полуэмпирических математических моделей турбулентности, в том числе и основанных на идеях Колмогорова семейств $k - \varepsilon$ моделей, служащих для определения нефизичного “эффективного коэффициента турбулентной вязкости μ_t ”. Модели типа $k - \varepsilon$, LES противостоят действию сил трения и уравнению переноса кинетической энергии, в том числе и турбулентной кинетической энергии пульсаций. В данной работе для моделирования течений вязких жидкости и газа обосновано использование физических законов трения $F_{mp} = -k_m v^m \mathbf{e}_v$, $m = 1, 3, 5, 7, 9, \dots$, но с нечетными показателями степени, выбор которых зависит от компонент скорости течения в данной точке потока. Соответственно выведены несимметричные тензоры напряжений и уравнения динамики. Полученные таким образом модели не содержат полуэмпирических констант. Показано, что закон трения Ньютона и уравнения Навье динамики вязкой жидкости вытекают как частный случай при показателе степени, равном единице $m = 1$.

Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики. - Т.1. М.: “Наука”, 1977г.
2. Jakupov K. B. RHEOLOGICAL LAWS OF VISCOUS FLUID DYNAMICS // Известия НАН РК, сер. физ.-мат. 1(293), 2014. С. 51-55.
3. Джакупов К.Б. Ликвидация фальсификаций и модернизация теоретических основ механики сплошной среды–Алматы: Типография “Гылым ордасы”, 2018. С. 460.

Моделирование экосистемы озера Байкал. Способы сравнительного анализа методов оценки параметров

В. И. Зоркальцев¹, И. В. Бычков², Е. Н. Кузеванова³, И. В. Мокрый⁴

¹Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

²Иркутский научный центр СО РАН,

³Байкальский музей ИИН СО РАН,

⁴Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН

Email: zork@isem.irk.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10136

Дается описание особенностей озера Байкал. Излагается методика и результаты поэтапного моделирования функционирования экосистемы озера. Представлены три подхода к сравнительному анализу методов оценки параметров моделей по располагаемым данным наблюдений:

- аксиоматический подход;
- доказательные вычисления на базе статистических испытаний;
- теоретические исследования свойств и взаимосвязей решений, получаемых разными методами, в т.ч. наименьших квадратов, наименьших модулей, на базе чебышевской аппроксимации, исследования влияния выбора весовых коэффициентов на получаемые решения.

Работа выполнена в рамках научного проекта III.17.4.4 программы фундаментальных исследований СО РАН (№ АААА-А17-117030310436-7) и при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-07-00322 А).

Неклассические задачи в моделях глобальной электрической цепи

А. В. Калинин¹, А. А. Тюхтина², С. Р. Лаврова³

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

Email: avk@mm.unn.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10137

Рассматриваются математические задачи об определении квазистационарных потенциальных электрических полей, возникающие при описании глобальной электрической цепи в атмосфере Земли [1-3]. Возникающие при этом неклассические уравнения математической физики соответствуют нерелятивистскому электрическому приближению для системы уравнений Максвелла. Для этих уравнений рассматриваются различные постановки задач, имеющие физическую мотивацию, и, в частности, задачи с граничными условиями, учитывающими специфику электромагнитного взаимодействия атмосферы и ионосферы. Исследуются свойства решений поставленных задач и обосновывается возможность применения метода Галеркина.

Список литературы

1. Ogawa T., Fair-weather electricity // J. Geophys. Res. 1985. V. 90 (D4). P. 5951–5960.
2. Roble R.G., Hays P.B. A quasi-static model of global atmospheric electricity: 2. Electrical coupling between the upper and lower atmosphere // J. Geophys. Res. 1979. V. 84(A12). P. 7247–7256.
3. Kalinin A.V., Slyunyaev N.N. Initial-boundary value problems for the equations of the global atmospheric electric circuit // J. Math. Anal. Appl. 2017. V. 450. N 1. P. 112-136.

Mathematical and numerical modeling of oil pollution waste processing

G. B. Kalmenova, G. T. Balakaeva

Al-Farabi Kazakh National University

Email: kalmenova.g.b@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10138

The paper considers the processing of oil sludge to solve environmental problems and improve the environmental situation in the development of oil fields and oil transportation[1].

The adverse impact of oil slime on the environment makes the issue of processing oil residue is very important. One of the most effective way to clean oil slime is heat treatment[2,3].

This article deals with the problem of thermal processing of oil slime. The process of thermal processing of oily waste must be managed. In this regard, it was necessary to create a mathematical model of thermal

processing of oil slime[4]. The mathematical model of the process is described by heat and mass transfer equations and includes a system of nonstationary second-order partial differential equations. The solution is carried out according to an implicit difference scheme using the alternating directions method until the convergence condition is satisfied. In the calculations, sufficient conditions for the correctness and stability of the sweep were set, such as the condition of the diagonal dominance of the matrix and the condition in which the modulus of the average driving coefficient is greater than the sum of the modules of the other driving coefficients[5].

References

1. Утилизация и переработка нефтешламов. [Электрон. ресурс]. URL: <https://vtorothody.ru/utilizatsiya/nefteshlamov.html> (10.03.2019).
2. Naghi Jadidi , Behrooz Roozbehani , Akram Saadat. The Most Recent Researches in Oily Sludge Remediation Process // American Journal of Oil and Chemical Technologies. – 2014-Volume 2. -Issue 10.
3. Е. И. Бахонина. Современные технологии переработки и утилизации углеводородсодержащих отходов. Сообщение 1. Термические методы утилизации и обезвреживания углеводородсодержащих отходов // Башкирский химический журнал.- 2015. -Том 22. -№ 1
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. – 2-е изд. -М.: Научный мир. -2003.-316 с.
5. Shan Zhao. A Matched Alternating Direction Implicit (ADI) Method for Solving the Heat Equation with Interfaces// Journal of Scientific Computing. – April,2015. -Volume 63-Issue 1 -pp 118–137

Оценка систематической ошибки данных спутникового зондирования о температуре поверхности Земли

Н. В. Киланова, Д. Л. Чубаров, Е. Г. Климова

Институт вычислительных технологий СО РАН

Email: kilanova@ict.sbras.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10139

Данные спутникового зондирования используются в настоящее время при решении большого круга задач, возникающих при моделировании процессов в окружающей среде. Важным преимуществом этих данных является непрерывное распределение по времени и высокое пространственное разрешение. В то же время, спутниковые данные обладают рядом недостатков. Это, в частности, отсутствие информации при наличии облачности. Кроме того, спутниковые данные имеют систематическую ошибку (bias), что затрудняет проведение исследований с использованием этих данных.

В докладе рассматривается алгоритм оценки систематической ошибки данных MODIS о температуре поверхности Земли. Информация о температуре поверхности Земли, в том числе климатическая, очень важна для проведения исследований в различных областях (моделирование, агрометеорология, почвоведение и т.д.). Алгоритм основан на 1-мерном фильтре Калмана и позволяет по временному ряду наблюдений оценивать систематическую ошибку спутниковых данных. В алгоритме используются данные измерительной станции (Зотино). В докладе приводятся результаты численных экспериментов с различными вариантами алгоритма по оценке среднемесячной систематической ошибки.

Применение ансамблевого пи-алгоритма в задаче обратного моделирования

Е. Г. Климова

Институт вычислительных технологий СО РАН

Email: klimova@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10140

Решение задачи обратного моделирования для заданной модели процесса и набора данных наблюдений циклически по времени является задачей усвоения данных. В проблему обратного моделирования включена также задача оценки параметров модели. Использование динамико-стохастического подхода к решению задачи усвоения данных привело к развитию ансамблевых методов: ансамблевого фильтра Калмана, ансамблевого сглаживания Калмана.

В задаче усвоения данных при моделировании процессов в окружающей среде оцениваемый вектор и вектор данных наблюдений имеют высокую размерность, что требует разработки эффективных алгоритмов. Ансамблевый пи-алгоритм разработан как эффективная реализация стохастического

ансамблевого фильтра Калмана. Он может быть использован в задачах оценки состояния окружающей среды, а также параметров модели. Одной из проблем ансамблевых фильтров является возможная расходимость алгоритма со временем. В докладе рассматриваются подходы к практической реализации ансамблевого фильтра Калмана и ансамблевого сглаживания Калмана с использованием пи-алгоритма, связанные с адаптивной коррекцией поведения алгоритма по времени. Приводятся результаты численных экспериментов с 1-мерной тестовой моделью.

Модель гидротермического режима Новосибирского водохранилища

В. В. Кравченко¹, Е. Н. Голубева¹, М. В. Крайнева¹, Г. А. Платов¹, М. А. Тарханова²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: kravt@ommfao.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10141

В работе представлена численная модель, позволяющая на основе батиметрии Новосибирского водохранилища, гидрологических (температура, расход и уровень воды для рек Обь и Бердь, сброс воды через сооружения Новосибирской ГЭС) и атмосферных (сила и направление ветра, температура и влажность воздуха, атмосферное давление) данных построить трехмерную картину течений и распределения тепла в водоеме. Для реализации сезонных изменений гидротермического режима использована локально-одномерная ледотермическая модель, основанная на работе [1] и данных сайта АОМР [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-41-220002) и в соответствии с госзаданием (тема 0315-2019-004).

Список литературы

1. Букатов А. Е., Завьялов Д. Д., Соломахина Т. А. Термическая эволюция морского льда в Таманском и Динском заливах // Морской гидрофизический журнал. 2017. №5. С. 21-34
2. Сайт The Arctic Ocean Model Intercomparison Project. [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.whoi.edu> (дата обращения: 20.11.2018).

The formation of streamers of the stratospheric potential vortex with climate change

V. Krupchatnikov^{1,2}, Yu. Martynova^{1,3}, I. Borovko^{1,4}

¹*Siberian research hydrometeorological institute*

²*Novosibirsk state university*

³*Institute of Monitoring of climatic and ecological systems SB RAS*

⁴*Institute of computational mathematics and mathematical geophysics SB RAS*

Email: vkrupchatnikov@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10142

Potential vorticity (PV) streamers and cutoffs are indicators of Rossby wave breaking near the extratropical tropopause. In the case of the Rossby waves breaking, the formation of elongated high-PV stratospheric air languages extending to the equator and tropospheric low PV air extending to the pole. There are two types of wave breaking, which are referred to as equatorward and poleward type of RWB. Frequently, the PV tongues are stretched into narrow filaments, so-called PV streamers that split into PV cutoff vortices. Here, as in (Appenzeller et al., 1996), the term stratospheric PV streamer, cutoff refers to stratospheric features on isentropic surfaces ($PV > 2 \text{ PVU}$; $1 \text{ PVU} = 10^{-6} \text{ K kg}^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$).

In this report, we present some results of study PV streamers and cutoffs near the extratropical tropopause based on reanalysis and model climatology (modeling climate, using PlaSim-ICMMG-v.1.0 model, under RCP-8.5 scenario) of their seasonal frequency distributions on different isentropic surfaces.

We are grateful for support from RFBR № 16-05-00558, and RFBR № 17-05-00382.

Моделирование речного стока в бассейне р. Лены на основе гидрологически-корректной цифровой модели рельефа

А. И. Крылова¹, Н. А. Лаптева²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²ФБУН ГНЦ ВБ "Вектор" Роспотребнадзора

Email: alla@climate.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10143

Построена гидрологически-корректная цифровая модель рельефа бассейна р. Лены на основе данных радарной топографической съемки SRTM с разрешением 30 секунд. Проведен анализ методов пространственной интерполяции и геостатистики. Рассмотрены пять наиболее известных в научной литературе методов: IDW-метод обратных взвешенных расстояний, геостатистический метод Криге (кригинг), метод минимальной кривизны, метод естественной окрестности, метод Шепарда. Проведен морфометрический анализ рельефа на основе топографических карт всего бассейна. Для проведения модельных расчетов речного стока на основе линейной модели водного баланса в русле реки выполнена схематизация бассейна и ее речной сети с притоками.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиГ СО РАН (проект № 0315-2019-0004) и программы Президиума РАН (проект № 0315-2018-0016).

Список литературы

1. Zhang W., Montgomery D.R. Digital elevation model grid size, landscape, representation, and hydrologic simulations // Water Resources Research. 1994. T.30. P.1019-1028.
2. Planchon O., Darboux F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models // Catena. 2002. T.46.2. P.159-176..

Математическое моделирование турбулентных течений в устойчиво стратифицированной среде: циркуляция над городским островом тепла

Л. И. Курбацкая

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: L.Kurbatskaya@ommgp.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10144

Математическая модель городского острова тепла построена на основе RANS приближения второго порядка замыкания [1] для численного моделирования структурных особенностей проникающей турбулентной конвекции над городским островом тепла малого относительного удлинения в устойчиво стратифицированной атмосфере при слабом ветре. Турбулентные потоки импульса и тепла, зависящие от трех параметров – кинетической энергии турбулентности, скорости ее спектрального расходования и дисперсии температурных флуктуаций – находятся из решения замкнутых дифференциальных уравнений баланса. Вычисленные по трехпараметрическому RANS приближению вертикальные распределения температуры над островом тепла показывают, что профили температуры внутри факела имеют характерное “вздутие”: температура внутри факела оказывается ниже температуры вне его на той же высоте, фиксируя тем самым область отрицательной плавучести, вследствие возвышения факела в центре [2]. Такое поведение температуры с высотой относится к реальным ночным пограничным слоям, когда преобладает неустойчивая термическая стратификация (развитие конвекции), вследствие восходящего потока тепла, при слабом окружающем ветре в устойчиво стратифицированной окружающей атмосфере.

Работа была выполнена в рамках госзадания Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН № 0315-2019-0004 и при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта 18-48-540005.

Список литературы

1. Курбацкий А.Ф., Курбацкая Л.И. О турбулентном числе Прандтля в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46, № 2. С.187-196.

2. A. F. Kurbatskii and L. I. Kurbatskaya Urban aeromechanics: Turbulent circulation and contaminant dispersion above city in stably stratified environment AIP Conference Proceedings 2027, 030024 (2018); <https://doi.org/10.1063/1.5065118>

Экспериментальные и численные исследования процессов распространения примесей от высотных источников

А. А. Леженин¹, В. Ф. Рипута¹, Т. В. Ярославцева²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский институт гигиены

Email: lezhenin@ommfao.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10145

Спутниковые снимки позволяют проследить траектории дымовых шлейфов от высотных труб ТЭЦ и промышленных предприятий. При определенных метеорологических условиях на снимках отчетливо видна активная фаза подъема дымового факела, а его распространение происходит по направлению ветра на высотах выбросов [1].

В докладе изложен способ вычисления вертикальных профилей ветра и коэффициента турбулентного обмена в пограничном слое атмосферы. Метод основан на использовании спутниковых снимков дымовых факелов от высотных труб промышленных предприятий, данных метеорологических и агрологических наблюдений. Модель оценивания базируется на решениях уравнений экмановского пограничного слоя. Для г. Барнаула приведен анализ распространения дымового шлейфа ТЭЦ-3 и представлены расчеты компонентов скорости ветра в нижней атмосфере.

Показана возможность применения предложенного подхода для исследования загрязнения атмосферы города.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004) и программы РАН № 51 (№ 0315-2018-0016).

Список литературы

1. Obolkin V. A., Potemkin V. L., Makukhin V. L., Chiparina Y. V., Marinayte I. I. Low-level atmospheric jets as main mechanism of long-range transport of power plant plumes in the Lake Baikal Region // Int. J. Environ. Studies. 2014. Vol. 71 (3). P. 391–397.

Исследование спектральной методики оценки частоты появления аномально высоких океанических волн

К. В. Литвенко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: litchristina@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10146

Экспериментальные данные о статистических свойствах ветрового волнения водной поверхности свидетельствуют о том, что оно с высокой точностью может быть описано однородным гауссовским полем случайным полем возвышений относительно среднего уровня [1]. Результаты теории выбросов гауссовских случайных процессов и полей позволяют вычислять среднее число выбросов за заданный уровень на определенном участке или за фиксированный промежуток времени [2, 3]. В нашей работе мы используем эти результаты для оценки появления аномально высоких волн-убийц [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00159).

Список литературы

1. Крылов Ю.М. Спектральные методы исследования и расчета ветровых волн. Л.: Гидрометеиздат, 1966.
2. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных процессов – М.: Наука, 1968
3. Тихонов В.И., Хименко В.И. Выбросы траекторий случайных процессов -М.: Наука, 1987.
4. Сайт Моделирование морского волнения и гигантских волн-убийц. [Электрон. ресурс]. URL: <http://osmf.sccc.ru/~smp/RogueWaves.WEB/RogueWavesICMMG.htm> (дата обращения: 27.03.2019).

Исследование отклика газогидратов донных отложений Северного Ледовитого океана на естественные и антропогенные изменения климата

В. В. Малахова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: malax@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10147

В данной работе исследуется состояние зоны стабильности метангидратов Северного Ледовитого океана (СЛО) и изменение температуры придонной воды в качестве потенциального фактора диссоциации гидратов и выделения метана [1]. Мы рассматриваем два вида газовых гидратов: 1) глубоководные метангидраты СЛО, которые формируются при благоприятных термобарических условиях, начиная с морских глубин 250 м [1]; 2) метангидраты, существующие в условиях многолетнемерзлых пород (ММП) при глубине воды менее 120 м [2]. Получены оценки чувствительности зоны стабильности метангидратов (ЗСМ) к климатическим изменениям за прошедшие несколько десятилетий для всей области СЛО.

Проведенный анализ не подтверждает, что деградация метангидратов, существующих в условиях ММП, и рост эмиссии метана из этих областей обусловлены современными изменениями климата. Деградации подводной мерзлоты происходит в результате океанической трансгрессии, а ее интенсификация проявляется в областях разломов и рифтов [3]. Как следствие, наблюдаемое выделение метана с шельфа морей Восточной Арктики в современный период связано не с потеплением XX-XXI века, а с окончанием последнего ледникового цикла. По результатам численных расчетов глубоководные газогидраты, присутствующие на морских глубинах 250-500 м реагирует на изменения температуры придонной воды более быстро. Потепление в слое атлантических водных масс оказывает основное влияние на состояние глубоководных арктических газовых гидратов. По нашим оценкам, повышение температуры придонной воды в этих областях привело к сокращению ЗСМ на 20–40 м в период 1990-2015 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов №17-05-00396, 18-05-00382, 18-05-60111).

Список литературы

1. Ruppel, C. D., and Kessler, J. D.: The interaction of climate change and methane hydrates // *Reviews of Geophysics*. 2017. V.55. P. 126-168.
2. Malakhova V.V., Eliseev A.V. The role of heat transfer time scale in the evolution of the subsea permafrost and associated methane hydrates stability zone during glacial cycles // *Glob. Planet. Change*. 2017. V. 157. P. 18-25.
3. Малахова В.В., Елисеев А.В. Влияние рифтовых зон и термокарстовых озер на формирование субаквальной мерзлоты и зоны стабильности метаногидратов шельфа моря Лаптевых в плейстоцене // *Лед и снег*. 2018. Т. 58. № 2. С. 231-242.

Волновая энергия цунами

Ан. Г. Марчук

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: mag@omzg.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10148

В работе рассматриваются вопросы перехода энергии из одного состояния в другое при распространении длинной волны. В рамках модели мелкой воды выводятся основные энергетические соотношения при движении волны в океане. Выводы подтверждены одномерными и двумерными численными расчетами процессов генерации и распространения цунами на модельных рельефах дна.

На основе энергетических соотношений разработан и реализован метод численного моделирования частичного отражения длинной волны от затопленного вертикального барьера. Суть метода заключается в постановке внутренних граничных условий за подводным барьером на каждом временном шаге разностной схемы. Метод протестирован на результатах лабораторного моделирования в гидродинамическом лотке. При помощи такого подхода проведена оценка способности снижать высоту цунами у берега путем постановки подводных вертикальных барьеров у входов в бухты и морские порты. Преимуществом подводных барьеров перед морскими стенами, возвышающимися над водой, является значительно их большая устойчивость к опрокидыванию.

Численное решение обратных коэффициентных задач для моделей химии атмосферы

Ж. С. Мукатова^{1,2}, А. В. Пененко^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: zmukatova@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10149

В работе рассматривается обратная коэффициентная задача для динамических моделей продукции-деструкции. Такие модели используются в исследованиях процессов химической трансформации. Коэффициентные обратные задачи нелинейного характера требуют разработки эффективных численных алгоритмов с использованием современных технологий параллельных вычислений. Для численного решения таких задач часто применяются вариационные алгоритмы. Они основаны на минимизации некоторого целевого функционала, но плохо поддаются распараллеливанию. Целью работы является применение другого подхода, основанного на сведении обратной задачи к матричному уравнению с помощью операторов чувствительности, построенных из ансамбля решений сопряженных задач [1,2]. Работа алгоритма изучается численно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-07-01135), Российского научного фонда (код проекта 17-71-10184).

Список литературы

1. Г. И. Марчук О постановке некоторых обратных задач // Доклады Академии Наук СССР/ Изд. Наука. 1964 Т.156, №3. С.503–506.
2. Пененко А.В. Согласованные численные схемы для решения нелинейных обратных задач идентификации источников градиентными алгоритмами и методами Ньютона–Канторовича // Сиб. журн. вычисл. матем. 2018. Т.21, №1. С.99–116.

Клеточно-автоматное моделирование пространственных процессов на триангуляционных сетках

А. В. Павлова, С. Е. Рубцов, П. Р. Родионов

Кубанский государственный университет

Email: pavlova@math.kubsu.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10150

При разработке клеточно-автоматных моделей прямоугольные сетки получили наибольшее распространение. Но зачастую при моделировании того или иного процесса требуется учет формы поверхности. В таких случаях применение триангуляционных сеток, позволяющих строить системы непересекающихся треугольников с вершинами в опорных точках поверхности, является более предпочтительным. Альтернатива в виде триангуляционных сеток имеет преимущества, так как алгоритмы разбиения на треугольники имеют меньшую вычислительную сложность, нежели при использовании других полигонов [1].

Работа посвящена реализации пространственных КА-моделей диффузии для различных природных процессов [2]. Полученные результаты могут быть применены для построения более сложных композиционных КА, в которых одним из правил перехода будет диффузия. Реализована КА-модель распространения фронта (поверхности, до которой дошел процесс распространения частиц). Для этого применен так называемый композиционный клеточный автомат, обычно используемый при моделировании явлений, включающих несколько различных процессов. Явление, называемое агрегацией (агрегацией, ограниченной диффузией) может служить также для моделирования таких процессов как: кристаллизация, электрогальванизация и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-41-230175_p).

Список литературы

1. Евсеев А.А., Нечаева О.И. Клеточно-автоматное моделирование диффузионных процессов на триангуляционных сетках // Прикладная дискретная математика. 2009. №4. С. 72–83.

2. Рубцов С.Е., Павлова А.В., Родионов П.Р. К клеточно-автоматным моделям на триангуляционных сетках // Экологический вестн. науч. центров Черноморского экономического сотрудничества. 2018, № 2. С. 5–11

Методы усвоения данных для моделей адвекции – диффузии – реакции

А. В. Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: aleks@ommgp.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10151

Задачу усвоения данных для моделей адвекции – диффузии – реакции будем рассматривать как последовательность связанных обратных задач с увеличивающимися наборами данных измерений, которые поступают в процессе работы алгоритма. Требуется оценить функцию состояния модели. Усвоение данных осуществляется за счет поиска функции неопределенности, имеющих смысл источников примесей. Изучаются алгоритмы, в которых последовательные обратные задачи формулируются на отдельных временных шагах численной схемы, а также на последовательных временных интервалах. В первом случае для процессов переноса используются алгоритмы с квазинезависимым усвоением данных на отдельных стадиях схемы расщепления [1,2], а во втором для решения обратных задач применяются алгоритмы на основе ансамблей решений сопряженных уравнений [3]. Производится сравнение результатов решения в режиме усвоения и с "финальным" набором данных. Алгоритмы применяются в сценарии усвоения данных мониторинга в городских условиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) в части применения к городским сценариям и Российского научного фонда (код проекта 17-71-10184) в части алгоритмов для работы с данными типа изображений на основе операторов чувствительности.

Список литературы

1. Пененко А., Пененко В., Цветова Е. Последовательные алгоритмы усвоения данных в моделях мониторинга качества атмосферы на базе вариационного принципа со слабыми ограничениями // Сиб. журн. вычисл. матем., 2016. Т. 19, С. 401-418.
2. Пененко А., Мукатова Ж., Пененко В., Гочаков А., Антохин, П. Численное исследование прямого вариационного алгоритма усвоения данных в городских условиях // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31, С. 456–462.
3. Penenko, A. V. Algorithms for the inverse modelling of transport and transformation of atmospheric pollutants // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing. 2018. V. 211, P. 012052

Применение параметризаций обратного перераспределения энергии в модели океана NEMO на примере конфигурации Double Gyre

П. А. Пережогин

Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН

Email: pperezhogin@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10152

В данной работе исследуется применение параметризаций обратного перераспределения энергии (kinetic energy backscatter, КЕВ, [1], [2]) для того, чтобы усилить мезомасштабную динамику в модели океана NEMO, на примере конфигурации Double Gyre [3]. Выбранная нами модель является "вихредопускающей" (1/4 градуса), т.е. мезомасштабная динамика слабо разрешается на сетке. Параметризации КЕВ моделируют воздействие неразрешаемых на расчетной сетке вихрей. Нами были исследованы два типа КЕВ параметризаций: стохастическая и модель отрицательной вязкости. Для того чтобы оценить качество КЕВ параметризаций, мы сравниваем вихредопускающие модели с моделью более высокого разрешения (1/9 градуса). Применение параметризаций позволяет приблизить вихревой поток тепла, среднюю по времени ТПО и термохалинную функцию тока к соответствующим характеристикам модели высокого разрешения.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского научного фонда (грант № 17-17-01210, разработка моделей подсеточной турбулентности) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-05-60184, расчеты с идеализированной моделью океана и анализ результатов).

Список литературы

1. Jansen M. F., Held I. M. Parameterizing subgrid-scale eddy effects using energetically consistent backscatter // Ocean Modelling. 2014. Т. 80, С. 36-48.
2. Jansen M. F., Held I. M., Adcroft A., Hallberg R. Energy budget-based backscatter in an eddy permitting primitive equation model // Ocean Modelling. 2015. Т. 94, С. 15-26.
3. Lévy M., Klein P., Tréguier A. M., Iovino D., Madec G., Masson S., Takahashi K. Modifications of gyre circulation by sub-mesoscale physics // Ocean Modelling. 2010. Т. 34, №. 1-2, С. 1-15.

Численное моделирование и параметризация процесса каскадинга на шельфе Арктики

Г. А. Платов, Е. Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: Platov.G@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10153

Численное описание мезомасштабных процессов на шельфе арктических морей имеет важное значение для понимания процессов формирования водных масс Северного Ледовитого океана и северной Атлантики. Для этого создана серия моделей окраинных морей с подробным пространственным описанием, вложенных в крупномасштабную модель океана и льда SibCIOM. Особое место в исследовании отводилось описанию процесса каскадинга – движению плотных водных масс, формирующихся на мелководных участках шельфа, вдоль наклонного дна шельфа в сторону открытого океана. Наиболее ярко процесс проявляет себя в районе западного побережья Новой Земли в море Баренца и в районе трога Св. Анны в Карском море. Анализируются дополнительные потоки тепла, соли, компонент импульса и вихревой энергии, связанные с каскадингом в этих районах.

Сценарии моделирования распространения выбросов от промышленно-энергетических объектов Байкальского региона

Э. А. Пьянова¹, В. В. Пененко¹, Л. М. Фалейчик²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

Email: pyanova@ommgp.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10154

Озеро Байкал и его акватория, как неотъемлемая часть Всемирного природного наследия, охраняются государством: здесь запрещены многие виды деятельности, способные негативно воздействовать на экосистему озера. Тем не менее, загрязняющие вещества поступают в озеро: как по руслам водотоков, так и с атмосферным переносом выбросов от промышленных и энергетических объектов, расположенных на достаточном удалении от береговой линии. При преобладающем западном переносе воздушных масс основным антропогенным источником загрязнений атмосферы над Байкалом выступает Иркутско-Черемховский промышленный узел. Кроме того, вдоль побережья озера расположено значительное количество котельных, чьи выбросы также могут достигать акватории Байкала. На основе математического сценарного моделирования проводятся оценки влияния различных метеорологических ситуаций на перенос и рассеивание загрязнений от источников Иркутско-Черемховского промышленного комплекса и котельных вдоль побережья Байкала. Представлены результаты модельных расчетов, выполненных по летним сценариям на расчетных сетках различного масштаба.

Работа в части развития базовых математических моделей выполняется в рамках темы № 0315-2019-0004 государственного задания ИВМиМГ СО РАН, а проведение исследований для Байкальского региона – при поддержке РФФИ, проект № 17-29-05044. Совершенствование технологии геоинформационного сопровождения исследования – в рамках темы № 0386-2017-0008 госзадания ИПРЭК СО РАН.

Задача оценивания поля концентрации примеси от площадного источника

В. Ф. Репута¹, Т. В. Ярославцева², Р. А. Амикишиева¹

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский институт гигиены

Email: raputa@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10155

В докладе рассматриваются постановки задач оценивания по данным наблюдений локального и регионального атмосферного загрязнения территорий площадными источниками. В основу задач оценивания положены различные асимптотики решений полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии в приземном и пограничном слоях атмосферы. Для решения поставленных задач необходимо, чтобы существующая система мониторинга обеспечивала достоверные и репрезентативные сведения о содержании примесей в атмосферном воздухе.

Обсуждаются методы восстановления полей загрязнения городских и около городских территорий, обусловленных совокупностью выбросов примеси от большого числа распределенных источников с учетом их пространственно-временной структуры. При построении алгоритмов оценивания используются асимптотические методы теории потенциала и общие закономерности атмосферной диффузии примеси в атмосфере. Проведена апробация предложенных алгоритмов применительно к данным мониторинга загрязнения снегового покрова городов Новосибирска, Кемерово, Барнаула.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004) и программы РАН № 51 (№ 0315-2018-0016).

Идентификация источника в уравнении Смолуховского с использованием ансамбля решений сопряженного уравнения

А. Б. Салимова^{1,2}, А. В. Пененко^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: aksalimova@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10156

В работе рассматривается дискретизованное по размерам частиц уравнение Смолуховского, которое применяется для моделирования динамики аэрозольных популяций. Для оценок пространственного распределения аэрозолей по данным разовых измерений и для прогнозирования последствий такого распределения необходимо идентифицировать источник выбросов частиц. Поэтому при обработке данных мониторинга состава атмосферы возникают подобные обратные задачи для таких моделей.

В первую очередь, для численного решения прямых и сопряженных уравнений используются дискретно-аналитические численные схемы, согласованные в смысле тождества Лагранжа [2]. Далее, на основе ансамбля решений сопряженных уравнений моделей продукции – деструкции, строится оператор чувствительности, позволяющий свести обратную задачу к семейству квазилинейных операторных уравнений. Решая обратную задачу в таком виде, можно применить спектральный метод анализа операторов. Для решения операторных уравнений используется метод типа Ньютона-Канторовича [1]. В работе проведены численное исследование этого алгоритма и его эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-07-01135), Российского научного фонда (код проекта 17-71-10184).

Список литературы

1. Пененко А.В. Метод Ньютона – Канторовича для решения обратных задач идентификации источников в моделях продукции-деструкции с данными типа временных рядов. // Сиб. журн. вычисл. Математики / РАН. Сиб. отд-ние. Новосибирск, 2019. Т.22, № 1, С. 57-79.
2. Пененко А.В. Согласованные численные схемы для решения нелинейных обратных задач идентификации источников градиентными алгоритмами и методами Ньютона-Кантаровича // Сиб. журн. вычисл. Математики / РАН. Сиб. отд-ние. Новосибирск, 2018. Т.21, №1. С. 99-116.

"Будущее Земли": глобальные проблемы и радиационное поле, радиационный форсинг и дистанционное зондирование Земли

Т. А. Сушкевич¹, С. А. Стрелков¹, С. В. Максакова¹, В. В. Белов², А. В. Зимовая², В. В. Козодеров³, С. М. Пригарин⁴, В. А. Фалалеева⁵, Л. Д. Краснокутская⁵, Б. А. Фомин⁶, Г. Э. Колокутин⁶, А. С. Кузьмичев⁷, А. А. Николенко⁷, П. В. Страхов⁷, Б. М. Шурыгин⁷

¹Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН

²Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН

³Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

⁴Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

⁵Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

⁶Центральная аэрологическая обсерватория

⁷Московский физико-технический институт

Email: tamaras@keldysh.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10157

Не имеющая аналогов в истории важнейшая для всего человечества ГЛОБАЛЬНАЯ программа "Повестки XXI-го века" – это всемирная программа "Будущее Земли" [1, 2], фундаментальные основы для реализации которой были заложены в XX-м веке благодаря изобретению компьютера и выхода человека в космос. Сложнейшие задачи эволюции, климата, экологии, глобального мониторинга и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с гиперспектральными подходами и нанодиагностикой природной среды и объектов предлагается рассматривать как сопряженные. Электромагнитное излучение – единое физическое поле, объединяющее радиационное поле Земли с радиационно-активными компонентами. Непреодолимая сложность проблемы состоит в том, что для исследований планеты не допустимы натуральные эксперименты и возможны только мониторинг и наблюдения разными средствами, с одной стороны, а с другой стороны на момент измерений радиации невозможно восстановить весь набор оптико-геофизических и оптико-метеорологических параметров системы "атмосфера-суша-океан", от которых зависит радиация, и невозможно повторить условия наблюдений, так как среда непрерывно изменяется и никогда не повторяется. И только математическое моделирование "больших" прямых и обратных задач теории переноса излучения с параллельным суперкомпьютерингом позволяет провести теоретико-расчетные исследования столь сложных проблем и получить качественные и количественные оценки для анализа и прогнозов, а также для разных тематических приложений на основе "сценариев" [3].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проектов 18-01-00609, 17-01-00220).

Список литературы

1. Future Earth. Global Research Projects. <http://futureearth.org> (дата обращения: 25.03.2019).
2. Постановление Президиума РАН № 103 от 29.05.2018 О создании Комитета РАН по международной программе "Будущее Земли". <http://www.ras.ru/presidium/documents/directions.aspx?ID=de903350-994f-4474-ad66-3aеc0db3dd44> (дата обращения: 25.03.2019).
3. Сушкевич Т. А. Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 661 с. (при поддержке РФФИ).

Геометрические аспекты гидродинамики когерентных структур

Н. Н. Фимин

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН Москва

Email: oberon@kiam.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10158

Описание динамики вихревых систем возможно основе введения потенциалов Монжа, чего строим лагранжиан (используя скалярные потенциалы Монжа и термодинамические соотношения). Далее преобразуем лагранжиан с помощью преобразования Лежандра в функцию Гамильтона и введем обобщенные импульсы, канонически сопряженные с переменными конфигурации. Далее, используя полученную гамильтонову функцию, определим гамильтоново пространство над многообразием Монжа. Получим коэффициенты фундаментального тензора гамильтонова пространства, далее определим коэффициенты

Кристоффеля для N –линейной связности. Рассматривая уравнения Эйлера–Лагранжа с полученными коэффициентами связности, приходим к геодезическим уравнениям в гамильтоновом пространстве. Анализируя полученную систему уравнений геодезического движения с точки зрения устойчивости решений, можно получить важные физические выводы относительно исходной гидродинамической системы [1]. Для этого мы исследуем возможное увеличение или уменьшение расстояния между геодезическими траекториями. В результате можно сформулировать общие критерии распада и разрушения вихревой континуальной системы.

Список литературы

1. Fimin N. N., Chechetkin V. M. The Possibility of Introducing of Metric Structure in Vortex Hydrodynamic Systems // 2018. V. 14. N. 4. P. 495-501.

Результаты, проблемы и перспективы математического моделирования гидротермодинамики вод озера Байкал

Е. А. Цветова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: e.tsvetova@ommgp.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10159

Тематика исследования региона озера Байкал с помощью численного моделирования начала развиваться в ВЦ СО АН СССР по инициативе Г. И. Марчука в конце 60-х годов прошлого века. Результатом одной из первых работ, в которой участвовали сотрудники нашего института, был атлас волнения и ветра озера Байкал. Он обобщал большой практический опыт иркутских метеорологов и содержал обработанную математиками типизированную информацию о структуре полей давления, волнения и ветра и их статистических характеристиках. Исследование гидротермодинамики самого озера началось позже, с работ автора в 70-х годах прошлого века. К настоящему времени создан и продолжает развиваться комплекс математических моделей различной степени сложности для изучения процессов в глобальном и локальном масштабах. Для его реализации разработаны алгоритмы, программы и технология моделирования. В настоящее время базовой моделью является трехмерная нестационарная модель в негидростатическом приближении. Поскольку гидродинамика ответственна за распространение примесей, загрязняющих озеро, естественным дополнением к комплексу является набор моделей переноса и трансформации примесей.

В докладе обсуждаются основные трудности развития направления и его перспективы в связи с новыми планами по созданию Центра цифрового мониторинга озера. Перспективы мы связываем с использованием данных мониторинга и решением тематических задач в рамках сценарного подхода, которые предоставляются методами математического моделирования в рамках виртуальной лаборатории на основе численных моделей.

Работа выполняется по тематике государственного задания ИВМиМГ СО РАН № 0315–2019–0004 при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137).

The generalized Leith model of wave turbulence

Yu. A. Chirkunov

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering

Email: chr101@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10160

The generalization of Leith's model of the phenomenological theory of wave turbulence with non-stationary inhomogeneous viscosity is investigated. With the help of the special method of group classification [1], basic models with non-trivial symmetries are obtained. Invariant solutions describing invariant submodels are found either explicitly, or finding them reduces to solving integral equations. The physical meaning of these decisions is indicated. With the help of these solutions, turbulent processes are described for which "destructive waves" exist, which have a very high kinetic energy. Turbulent processes are also investigated, for which, at the initial moment of time and at a fixed value of the wave number, either the energy of turbulence and its rate of change, or the energy of turbulence and its gradient are given. Under certain conditions, the existence and uniqueness of solutions of boundary value problems describing these processes is established.

The reported study was funded by Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), project N-4.

References

1. Yu. A. Chirkunov. Generalized Equivalence Transformations and group classification of systems of differential equations. *J. Appl. Mech. Techn. Phys.* 2012. V. 53. No 2. P. 147–155.
2. Yu. A. Chirkunov. Invariant submodels and exact solutions of the generalization of the Leith model of the wave turbulence. *Acta Mech.* 2018. V. 229. No 10. P. 4045–4056.

Exact solutions of the nonlinear Khokhlova-Zabolotskaya-Kuznetsov hydroacoustics model

Yu. A. Chirkunov¹, N. F. Belmetsev²

¹*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*

²*Tyumen State University*

Email: chr101@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10161

A three-dimensional Khokhlov-Zabolotskaya-Kuznetsov (KZK) model of the nonlinear hydroacoustics with dissipation is described by third order nonlinear differential equation. We obtained that the (KZK) equation admits an infinite Lie group of the transformations. We studied the submodels of rank 0 and 1, described by the invariant solutions of the (KZK) equation. These solutions are found either explicitly, or their search is reduced to the solution of the nonlinear integro-differential equations. For example, we obtained the solutions that we called by "Ultrasonic knife" and "Ultrasonic destroyer". For the submodel "Ultrasonic knife" at each fixed moment of the time in the field of the existence of the solution near a some plane the pressure increases indefinitely and becomes infinite on this plane. The submodel "Ultrasonic destroyer" contains a countable number of "Ultrasonic knives". With a help of the invariant solutions we researched a propagation of the intensive acoustic waves (one-dimensional, axisymmetric and planar) for which the acoustic pressure, speed and acceleration of its change, or the acoustic pressure, speed and acceleration of its change in the radial direction, or the acoustic pressure, speed and acceleration of its change in the direction of one of the axes are specified at the initial moment of the time at a fixed point. Under the certain additional conditions, we established the existence and the uniqueness of the solutions of boundary value problems, describing these wave processes.

The reported study was funded by Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), project N-4.

References

1. Yu. A. Chirkunov, N. F. Belmetsev. Invariant submodels and exact solutions of Khokhlov-Zabolotskaya-Kuznetsov model of nonlinear hydroacoustics with dissipation. *Int. J. Non-Linear Mech.* 2017. V. 95. P. 216–223.

A nonlinear model of the motion of a liquid or gas in a porous medium in the presence of a source or absorption with maximum symmetry

Yu. A. Chirkunov, Yu. L. Skolubovich

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering

Email: chr101@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10162

For a three-dimensional nonlinear diffusion model of a porous medium with a non-stationary source or absorption admitting a 9-parameter Lie group of transformations, all invariant solutions of rank 0 were obtained. In particular, we obtained the solutions, which we called "a layered circular pie", "a layered spiral pie", "a layered plane pie" and "a layered spherical pie". The solution "a layered circular pie" describes a motion of the liquid or gas in a porous medium, for which at each fixed moment of a time at all points of each circle from the family of concentric circles a pressure is the same. The solution "a layered spiral pie" describes a motion of the liquid or gas in a porous medium, for which at each fixed moment of a time at all points of each logarithmic spiral, from the obtained family of logarithmic spirals a pressure is the same. The solution "a layered spherical pie" describes a motion of the liquid or gas in a porous medium, for which at each fixed moment of a time at all points of each sphere, from the family of concentric spheres a pressure is the same. A set of the solutions "a layered circular pie", "a layered spiral pie" and "a layered spherical pie" contains the solutions describing a distribution of the pressure in a porous medium after a point blast or a point hydraulic shock. Also this set

contains the solutions describing a stratified with respect to the pressure a motion of liquid or gas in a porous medium, with a very high pressure at infinity in a presence of a very strong absorption at a point. The solution "a layered plane pie" describes a motion of the liquid or gas in a porous medium, for which at each fixed moment of a time at all points of each plane, from the family of parallel planes a pressure is the same. A set of the solutions "a layered plane pie" contains the solutions describing a motion of the liquid or gas in a porous medium with a very high pressure near a fixed plane in a presence of a very strong absorption at infinity. Also this set contains the solutions describing a motion of the liquid or gas in a porous medium with a very high pressure at infinity in a presence of a very strong absorption on a fixed plane.

References

1. Yu. A. Chirkunov, Yu. L. Skolubovich. Nonlinear three-dimensional diffusion models of porous medium in the presence of non-stationary source or absorption and some exact solutions. *Int. J. Non-Linear Mech.* 2018. V. 106. Pp. 29 – 37.

Сценарий формирования искажений волнового фронта в широком поле зрения астрономического телескопа

А. Ю. Шиховцев, П. Г. Ковadlo, А. В. Киселев, И. В. Русских

Институт солнечно-земной физики СО РАН

Email: artempochta2009@rambler.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10163

В работе разработана методика измерений искажений волнового фронта в широком поле зрения. Суть методики заключается в том, что искажения волновых фронтов на заданном удалении от измерителя определяются по анализу локальных наклонов от разнесенных в пространстве источников света. Пространственное положение атмосферных возмущений на луче зрения оценивается в скрещенных оптических пучках. Проведен кросс-корреляционный анализ волновых фронтов от разнесенных в пространстве источников света.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (номер гранта МК-1234.2019.1).

Численные алгоритмы моделирования гравитационных течений в атмосфере

М. С. Юдин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: m.yudin@ommgp.sgcc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10164

Работа является продолжением исследования [1]. Численная математическая модель сжимаемой атмосферы используется для расчета важных характеристик движения гравитационных потоков, например, скорости фронта и давления на поверхности за орографическими препятствиями различной формы и крутизны. В данной работе скорость фронта моделируется негидростатической конечно-элементной моделью динамики атмосферы [2]. Модель основана на сжимаемых уравнениях Навье – Стокса в декартовой системе координат. Искусственная сжимаемость вводится для того, чтобы сделать основные уравнения гиперболическими.

Проводится тестирование модели в пространственном мезо-масштабе: распространение гравитационного потока в нейтрально стратифицированной атмосфере. В этом тесте рассчитанные значения скорости фронта сравниваются с эмпирической формулой, впервые введенной Т. фон Карманом, а затем модифицированной для атмосферных гравитационных течений несколькими авторами [3]. Приводятся также результаты расчетов по обтеканию препятствий различной формы в устойчиво стратифицированной атмосфере. Результаты моделирования сравниваются с доступными данными наблюдения и расчетами, выполненными по другим моделям. В целом получено хорошее согласие между результатами тестовых расчетов и теорией.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137: численное моделирование), а также ИВМиМГ СО РАН (государственное задание 0315-2019-0004: разработка эффективных вычислительных алгоритмов).

Список литературы

1. Yudin, M.S., Front speed simulation with a hyperbolic model of atmospheric dynamics // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, V. 211, N.1, 2018 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/211/1/012020>
2. Yudin, M.S., Wilderotter, K., Simulating atmospheric flows in the vicinity of a water basin // Computational Technologies. 2006. V. 11, N.3. P. 128–134.
3. Schultz, D. M., 2005 A Review of Cold Fronts with Prefrontal Troughs and Wind Shifts // Mon. Wea. Rev., 133, 2449–2472

Численная реконструкция полей аэрозольных выпадений примесей по данным наземного и спутникового мониторинга

Т. В. Ярославцева¹, Р. А. Амикишиева², В. Ф. Рипута²

¹Новосибирский институт гигиены

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: tani-ta@list.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10165

В докладе обсуждаются экспериментальные и численные исследования полей выпадений примесей в окрестностях промышленных предприятий. В основу исследования положены результаты мониторинга загрязнения снежного покрова в окрестностях Новосибирского электродного и Искитимского цементного заводов, крупных угольных ТЭЦ.

Предложены модели реконструкции полей аэрозольных выпадений примесей в моно и полидисперсном приближении с использованием редкой сети точек отбора проб снега. На данных натурных наблюдений выполнены оценки параметров моделей реконструкции применительно к рассматриваемым источникам. На спутниковых снимках ореолов загрязнения снежного покрова окрестностей этих предприятий проведен количественный анализ функциональных связей с полями наземных выпадений примесей. Очаги загрязнения от этих источников были проиндексированы с помощью дискретной шкалы оттенков серого цвета по направлениям доминирующих выносов примесей. В зависимости от типов источников было установлено наличие функциональных связей между данными наземного и спутникового мониторинга.

Работа выполнена в рамках Госзадания (№ 0315-2019-0004) и программы РАН № 51 (№ 0315-2018-0016).

Секция 5. ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ

О решении обратных задач численной оптимизации композитных конструкций

Е. В. Амелина¹, С. К. Голушко^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительных технологий СО РАН

Email: amelina.evgenia@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10166

Предложен и реализован эффективный подход к решению задач численной оптимизации композитных конструкций. Решена задача условной оптимизации многослойного композитного бака высокого давления при заданных ограничениях на прочность и внутренний объем конструкции. Параметрами проектирования являются толщина стенки, форма бака и угол укладки армирующих волокон. Проведено сравнение эффективности полученных оптимальных проектов с решениями прямых задач расчета напряженно-деформированного состояния гибридных баков с фиксированными значениями используемых параметров проектирования [1-3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 18-29-18029).

Список литературы

1. Amelina E., Golushko S., Yurchenko A. Analysis and design of hybrid pressure vessels // CEUR Workshop Proceedings / "MIT 2016 – Proc. of the Int. Conf. Math. and Inf. Tech.". 2017. С. 244–257.
2. Амелина Е. В., Буров А. Е., Голушко С. К., Лепихин А. М., Москвичев В. В., Юрченко А. В. Расчетно-экспериментальная оценка прочности металлокомпозитного бака высокого давления // Вычислительные технологии. 2016. Т. 21, № 5. С. 3–21.
3. Амелина Е. В., Голушко С. К., Горнов А. Ю., Юрченко А. В. Задачи проектирования многослойных гибридных сосудов давления // Безопасность и живучесть технических систем: материалы и доклады / V Всероссийская конференция, Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2015. Т. 1. С. 34–40.

Некоторые вопросы теории идентификации

Ю. Е. Аниконов¹, Н. Б. Аюпова^{1,2}

¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: anikon@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10167

Изучаются задачи для операторных уравнений с данными предыстории, в частности, задача, когда известна не только субстанция в начальный момент времени, но также и тенденция, т.е. скорость изменения субстанции. В этом случае знание оператора нужно только в начальный момент, а в остальном зависимость от времени его неизвестна. При этом необходима дополнительная информация о решении. Подобные постановки задачи характерны при исследовании задач управления, контроля, прогноза и прочее.

Кроме того изучается уравнение акустики общего вида – уравнение Блохинцева. Данное уравнение представляется в виде неоднородного гиперболического уравнения при зависимости коэффициентов и решения от параметров среды, скорости потока, давления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00057).

Об одном классе линейных интегральных уравнений Стильтьеса первого рода с двумя независимыми переменными

А. Асанов¹, З. Каденова²

¹Кыргызско-Турецкий университет Манас

²Институт математики НАН КР

Email: avyt.asanov@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10168

Различные вопросы интегральных уравнений первого и третьего рода исследовались в [1-8] и [10-11]. Но основополагающие результаты для интегральных уравнений Фредгольма первого рода получены в [2,3], где для решения линейных интегральных уравнений Фредгольма первого рода построены регуляризирующие операторы по М. М. Лаврентьеву. В [1] для линейных интегральных уравнений Вольтерры первого и третьего рода с гладкими ядрами доказано существование многопараметрического семейства решений. В [4] изучены вопросы регуляризации и единственности решений нелинейных интегральных уравнений Вольтерра третьего рода. В работах [10-11] с помощью понятия производной по возрастающей функции [9] изучены скалярные и системы интегральных уравнений Вольтерра-Стильтьеса первого и третьего рода. В данной работе, с помощью понятия производной по возрастающей функции и методом неотрицательных квадратичных форм доказывается единственность решений для одного класса линейных интегральных уравнений Стильтьеса первого рода с двумя независимыми переменными.

Список литературы

1. Магницкий Н.А. Линейные интегральные уравнения Вольтерра первого и третьего рода. // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1979. Т.19. №4. С. 970-989.
2. Лаврентьев М.М. Об интегральных уравнениях первого рода. // ДАН СССР. 1959. Т.127. №1. с. 31-33.
3. Лаврентьев М.М., Романов В.Г., Шишатский С.П. Некорректные задачи математической физики и анализа. М.: Наука, 1980, 286 с.
4. Иманалиев М.И., Асанов А. О решениях систем нелинейных интегральных уравнений Вольтерра третьего рода. // ДАН 2007, Т. 415, №1. с. 14-17.
5. Иманалиев М.И., Асанов А., Каденова З.А. Один класс линейных интегральных уравнений первого рода с двумя независимыми переменными // ДАН 2014. Т. 454. №5. С. 518-522.
6. Aparstyn A.S. Nonclassical linear Volterra Equations of the First Kind. Utrecht, VSP, 2003. 168 p.
7. Asanov A. Regularization, Uniqueness and Existence of Solutions of Volterra Equations of the First Kind. Utrecht, VSP, 1998. 276 p.
8. Bukhgeim A. L. Volterra Equations and Inverse Problems, Utrecht, VSP, 1999. 204 p.
9. Асанов А. Производная функции по возрастающей функции. // Журнал Естественных наук, КТУМ, Бишкек, 2001, №1, С.18-64.
10. Асанов А. Интегральные уравнения Вольтерра-Стильтьеса второго и первого рода. // Журнал Естественных наук, КТУМ, Бишкек, 2002, №2, С.79-95.
11. Асанов А. Система интегральных уравнений Вольтерра-Стильтьеса. // Журнал Естественных наук, КТУМ, Бишкек, 2003, №4. С.65-78.

Регуляризация и единственность решений линейных интегральных уравнений Фредгольма – Стильтьеса первого рода двумя независимыми переменными.

А. Асанов¹, З. А. Каденова², Д. Бекешова²

¹ Кыргызско-Турецкий университет Манас

²Институт математики НАН КР

Email: avyt.asanov@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10169

Многие вопросы интегральных уравнений первого и третьего рода исследовались в [1-7] и [9]. Но основополагающие результаты для интегральных уравнений Фредгольма первого рода получены в [1-2], где для решения линейных интегральных уравнений Фредгольма первого рода построены регуляризирующие операторы по М.М. Лаврентьеву. В [4] исследованы вопросы регуляризации и единственности решений нелинейных интегральных уравнений Вольтерра третьего рода. В работе [9] с помощью понятия производной по возрастающей функции [8] изучены интегральные уравнения Вольтерра-Стильтьеса первого и третьего рода. В данной работе, с помощью понятия производной по возрастающей функции, методом неотрицательных квадратичных форм и методом функционального анализа

исследуются вопросы единственности, устойчивости и регуляризации решений для одного класса линейных интегральных уравнений Фредгольма-Стильтьеса первого рода с двумя независимыми переменными.

Список литературы

1. Лаврентьев М.М. Об интегральных уравнениях первого рода. // ДАН СССР. 1959. Т.127. №1. с. 31-33.
2. Лаврентьев М.М., Романов В.Г., Шишатский С.П. Некорректные задачи математической физики и анализа. М.: Наука, 1980, 286 с.
3. Иманалиев М.И., Асанов А. О решениях систем нелинейных интегральных уравнений Вольтерра первого рода. // ДАН 2007, Т. 415, №1. с. 14-17.
4. Иманалиев М.И., Асанов А., Каденова З.А. Один класс линейных интегральных уравнений первого рода с двумя независимыми переменными // ДАН 2014. Т. 454. №5. С. 518-522.
5. Aparstyn A.S. Nonclassical linear Volterra Equations of the First Kind. Utrecht, VSP, 2003. 168 p.
6. Asanov A. Regularization, Uniqueness and Existence of Solutions of Volterra Equations of the First Kind. Utrecht, VSP, 1998. 276 p.
7. Bukhgeim A. L. Volterra Equations and Inverse Problems, Utrecht, VSP, 1999. 204 p.
8. Асанов А. Производная функции по возрастающей функции // Журнал Естественных наук, КТУМ, Бишкек, 2001, №1, С.18-64.
9. Асанов А. Интегральные уравнения Вольтерра-Стильтьеса второго и первого рода // Журнал Естественных наук, КТУМ, Бишкек, 2002, №2, С.79-95.

Моделирование реактора получения бензилиденбензиламина

И. В. Ахметов¹, А. В. Балаев¹, И. М. Губайдуллин^{1,2}

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет

²Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН

Email: ilnurakhmetov@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10170

Каталитическая реакция синтеза ароматического соединения N-бензилиденбензиламина обладает широким спектром применения. N-бензилиденбензиламин известен как индикатор количественного определения литийорганических соединений титриметрическим методом и является исходным соединением для синтеза ряда гетероциклов [1]. В данной работе построена кинетическая модель синтеза бензилиденбензиламина [2]. Определены оптимальные условия проведения данной реакции, при которых достигается максимальный выход целевого продукта [3].

Список литературы

1. Ахметов И.В. Многоядерность в обратных кинетических задачах // Научный сервис в сети Интернет: поиск новых решений: Труды международной суперкомпьютерной конференции (Новороссийск, 17-22 сентября 2012 г.). М.: Изд-во МГУ, 2012. С. 656-661.
2. Ахметов И.В. Разработка кинетических моделей реакций синтеза ароматических и гетероциклических соединений на основе многоядерных вычислительных систем // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2013): Труды международной научной конференции (Челябинск, 1 апреля – 5 апреля 2013 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. С. 268–277.
3. Ахметов И.В., Губайдуллин И.М., Сафин Р.Р. Моделирование реакционной способности химических реакций на основе многоядерных вычислительных систем // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2014): Труды международной научной конференции (Ростов-на-Дону, 1 апреля – 3 апреля 2014 г.). Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. С. 203–212.

Об обратной задаче первого достижения для винеровского процесса

Д. Н. Безбатько¹

¹Ульяновский государственный университет

Email: bezbatko.dmitry@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10171

В работе рассматривается обратная задача первого достижения для одномерного винеровского процесса, т.е. задача нахождения функции, определяющей поглощающую границу по известному распределению времен первого достижения [1]. Рассматриваются несколько приближенных методов,

основанных на численном решении серии интегральных уравнений полученных в [2], а также их несингулярных аналогах. Производится сравнение и оценка точности данных методов.

Список литературы

1. Abundo M. An overview on inverse first-passage-time problem for one-dimensional diffusion processes // Seminario Interdisciplinare di Matematica. 2015, Vol. 12, pp. 1 – 44.
2. Peskir G. On integral equations arising in the first-passage problem for Brownian motion // Journal of Integral Equations and Applications, 2002, Vol 14, №4, pp. 397-423.
3. Манжиров А.В., Полянин А.Д. Справочник по интегральным уравнениям. Методы решения. М.: Факториал Пресс, 2000.

Оптимизационный метод решения одной обратной задачи для кинетического уравнения переноса

К. С. Бобоев

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

Email: boboev@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10172

Рассматривается оптимизационный способ решения одной обратной задачи для нестационарного кинетического уравнения переноса нейтронов [1]. С учетом сопряженной задачи строится градиент функционала, выбирая некоторое начальное приближение, на основе градиентного метода строится сходящаяся последовательность решения [2,3]. Получены оценки скорости сходимости предложенного метода.

Список литературы

1. Бобоев К.С. Обоснование сходимости для конечно-разностного решения одной обратной задачи для P_n -приближения кинетического уравнения переноса. В сб. "Марчуковские научные чтения-2018".
2. Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Румянцев С.В. Экстремальные методы решения некорректных задач и их приложения к обратным задачам теплообмена. М.: Наука, 1988.
3. Васильев Ф.П. Методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1981.

Численное решение задачи векторной томографии в ограниченной области полупространства

В. В. Богданов^{1,2}, Е. Ю. Деревцов^{1,2}

¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: bogdanov@math.nsc.ru, dert@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10173

Рассматриваются задачи интегральной геометрии по восстановлению скалярных и векторных полей, поставленные в полупространстве $R^3_+ = \{(x,y,z), z \geq 0\}$ с заданной на нем римановой метрикой $ds^2 = n^2(z)(dx^2 + dy^2 + dz^2)$, где $n(z) = 1/(az+b)$, $a, b > 0$. Путем выбора специальной системы наблюдения трехмерная задача сводится к серии двумерных.

Предложены приближенные методы и алгоритмы численного решения поставленных задач. Проведены численные эксперименты на тестовом материале.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Немецкого научно-исследовательского общества (код проекта 19-51-12008).

Список литературы

1. Anikonov Yu.E., Bogdanov V.V., Derevtsov E.Yu., Miroshnichenko V.L., Pivovarova N.B., Slavina L.B. Some approaches to a numerical solution for the multidimensional inverse kinematic problem of seismic with inner sources. J. Inverse Ill-Posed Problems, 2009, Vol. 17, No. 3, pp. 209-238.

Сплайновый метод определения скоростного строения среды в фокальных зонах Земли

В. В. Богданов^{1,2}, В. Л. Мирошниченко^{1,2}

¹*Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: miroshn@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10174

Фокальная зона – это область Земли, где концентрируются очаги землетрясений. Информация о происходящих землетрясениях регистрируется на станциях наблюдения, расположенных в окрестности фокальной зоны. Исходными данными для решения обратной кинематической задачи о скоростном строении фокальной зоны служат координаты очагов землетрясений и прихода продольных или поперечных волн, порожденных землетрясениями, на станции наблюдения. Предложен и программно реализован метод решения трехмерной кинематической задачи сейсмоки, основанный на комбинированном использовании уравнения эйконала и методов аппроксимации трехмерных хаотических исходных данных с помощью сглаживающих ДММ-сплайнов. Эффективность метода демонстрируется на примере фокальной зоны Камчатки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Немецкого научно-исследовательского общества (код проекта 19-51-12008).

Список литературы

1. Anikonov Yu.E., Bogdanov V.V., Derevtsov E.Yu., Miroshnichenko V.L., Pivovarova N.B., Slavina L.B. Some approaches to a numerical solution for the multidimensional inverse kinematic problem of seismic with inner sources. *J. Inverse Ill-Posed Problems*, 2009, Vol. 17, No. 3, pp. 209-238.

Magnetic permeability evaluation from toroidal coil impedance measurements using artificial neural networks

A. V. Bondarenko¹, N. N. Velker¹, M. Folberth²

¹*Baker Hughes, Russia*

²*Baker Hughes, GE*

Email: alexey.bondarenko@bakerhughes.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10175

We propose a novel method for evaluation of magnetic permeability spectrum of the yoke placed in a toroidal coil. The common approach uses the explicit formula valid only for non-conductive yokes in order to calculate the magnetic permeability from the impedance values. We generalize this technique for the case of conductive yokes. In the suggested approach we use artificial neural networks (ANNs) for calculation of the toroid impedance and then evaluate the magnetic permeability by solving the inverse problem. ANNs are trained on a synthetic database including the electromagnetic and geometric parameters of the coil and the appropriate impedance values. Approach is validated by the test measurement of the coil with nickel alloy yoke with known complex permeability and conductivity.

Нейросетевой подход к численному решению обратных задач

Т. В. Бугуева, В. А. Дедок

¹*Институт математики СО РАН*

Email: bugueva@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10176

Работа посвящена продолжению исследований, начатых в работах [1, 2]. Рассматривается подход, при котором в качестве инструмента решения обратных задач математической физики используются искусственные нейронные сети. Для решения задачи восстановления коэффициента среды уравнения аномальной диффузии используются более сложные нейронные сети, чем ранее рассмотренные многослойные перцептроны. Предлагаются новые конфигурации нейронных сетей, сравниваются точность и скорость решения с классическими методами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-41-540007).

Список литературы

1. Dedok V. A. Neural Network Solution of the Inverse Anomalous Diffusion Problem // 2017 Siberian Symposium on Data Science and Engineering (SSDSE). Proceedings, 93-98.
2. Бондаренко А.Н., Бугуева Т.В., Дедок В.А. Нейросетевой подход к решению обратных задач теории аномальной диффузии // Сибирский журнал индустриальной математики, 2016, том XIX, №3(67), С.3–14.

Some inverse problems for elliptic equations*A. Bukhgeim**Wichita State University**Email: bukhgeym@math.wichita.edu*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10177

We plan to consider several inverse problems for elliptic systems and equations.

Итерационный метод идентификации правой части параболического уравнения, зависящей от пространственных переменных*В. И. Васильев, Л. Су**Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова**Email: vasvasil@mail.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10178

В работе для многомерного параболического уравнения рассмотрена обратная задача определения правой части, зависящей только от пространственных переменных. Для численного решения поставленной обратной начально-краевой задачи используется метод сопряженных градиентов в сочетании с методом конечных разностей с неявной аппроксимацией по времени с весовым множителем $\sigma \in [0, 1]$. Обсуждаются результаты вычислительного эксперимента для модельных задач с квазиреальными решениями, включая и задачи с условиями переопределения имеющими случайные ошибки.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ (договор №14.Y26.31.0013) и Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00732).

Использование математических методов для решения систем дифференциальных уравнений описывающих процесс окисления изопропилбензола*М. К. Вовденко, И. М. Губайдуллин**Институт нефтехимии и катализа СО РАН**Email: Mikhail_vovdenko@rambler.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10179

Окисление изопропилбензола кислородом воздуха является одной из стадий технологического процесса получения фенола и ацетона в т.н. кумольном методе [1]. В ходе данной стадии происходит химическое превращение изопропилбензола (ИПБ) в гидроперекись изопропилбензола (ГП ИПБ), которая впоследствии распадается на фенол и ацетон на следующей технологической стадии.

Процесс окисления является радикально-цепным процессом, соответственно в данной реакции можно выделить определенные элементарные стадии [2, 3]. Для составления математической модели и описания протекания реакции можно применить закон действующих масс, и на его основе записать систему дифференциальных уравнений, для решения которой необходимо применение специальных математических методов [4]. Также описание кинетической модели осложняется тем, что процесс окисления является гетерофазным (газ-жидкость), и для большей точности модели необходимо включение в ее состав слагаемых, описывающих массообменную составляющую [5].

Список литературы

1. Закошанский В.М. Фенол и ацетон: анализ технологий, кинетики и механизма основных реакций. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. – 608 с.:ил.
2. Kazuo Hattori, Yuxi Tanaka, Hiroyuki Suzuki, Tsuneo Ikawa and Hiroshi Kubota. Kinetics of liquid phase oxidation of cumene in bubble column// Journal of chemical Engineering of Japan – 1970 – P.72-78.
3. Макалец Б.И., Кириченко Г.С., Стрыгин Е.И. и др. Кинетическая модель жидкофазного окисления кумола в гидроперекись// Нефтехимия. – 1978- Т 18 № 2 – С 250-255.

4. Губайдуллин И.М., Сайфуллина Л.В., Еникеев М.Р. "Информационно-аналитическая система обратных задач химической кинетики". Учебное пособие. Изд-е Башкирск. Ун-та.- Уфа, 2003. – 89 с.
5. Bhattacharya, A. Kinetic modeling of liquid phase autoxidation of cumene / Bhattacharya, A // Chemical Engineering Journal – 2008 – P. 308–319

Об одном алгоритме статистической регуляризации

Ю. В. Гласко

Научно-исследовательский вычислительный центр

Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Email: glaskoyv@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10180

В докладе рассматривается обратная задача определения источника в заданной области в рамках математической модели диффузии [1, 3]. Ищется функция распределения плотности в источнике. Ее точечная оценка [2] основана на случайной выборке из равномерного распределения. Мощность выборки варьируется от 1 до 16. Значения выборки зависят от граничного условия плотности. Для каждой модели граничного условия проводим по 3 численных эксперимента для N опытов метода Монте-Карло ($N=300$).

Решая обратную задачу для граничного условия при заданном источнике [3], мы ищем точечную оценку функции распределения плотности в источнике, которая минимизирует квадрат невязки между рассчитанным и заданным значениями плотности на границе. Расчеты проведены и для сглаживающего функционала.

Список литературы

1. Glasko V.B. Inverse Problems of Mathematical Physics. New York: AIP. 1988.
2. Пытьев Ю.П., Шишмарев И.А. Курс теории вероятностей и математической статистики для физиков. М.: МГУ. 1983.
2. Glasko Yuri V. Interpretation Algorithms for Hydrocarbon Deposits // Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields. Switzerland: Springer. 2019. P. 113-125.

Численный алгоритм восстановления диэлектрической проницаемости среды

В. А. Дедок

Институт математики СО РАН

Email: dedok@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10181

В работе исследуется численный метод решения обратной задачи по восстановлению коэффициента диэлектрической проницаемости среды [1]. В качестве исходных данных обратной задачи используется модуль вектора электромагнитной напряженности электромагнитного поля, являющегося результатом интерференции двух полей с точечными источниками. Восстанавливаемые неоднородности диэлектрической проницаемости имеют точечный характер. Для указанной обратной задачи предложен численный алгоритм решения, приводятся тестовые расчеты на симулированных данных, исследуются варианты ослабления требований к форме неоднородностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00120), интеграционным проектом СО РАН 0314-2018-0009.

Список литературы

1. А. Л. Карчевский, В. А. Дедок, "Восстановление коэффициента диэлектрической проницаемости по модулю рассеянного электрического поля", Сиб. журн. индустр. матем., 21:3 (2018), 50–59; J. Appl. Industr. Math., 12:3 (2018), 470–478.

Алгоритм выделения угловых структур на изображениях с помощью масштабируемого иерархического детектора

И. Г. Казанцев¹, Б. О. Мухаметжанова², К. Т. Исаков²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева (Астана, Казахстан)

Email: kig@ooi.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10182

В работе рассматриваются новые маски выделения углов на изображениях для применения в традиционном методе скользящих фрагментов [1]. Угловые точки являются важной локальной особенностью изображения и принадлежат к классу так называемых доминантных, или точек интереса. Углы инвариантны к вращению и изменению условий освещения. Они используются как опорные точки в работе со стереопарами, как признаки в распознавании лиц (уголки глаз), отпечатков пальцев и букв в текстах. Важные приложения включают также калибровку камер, отслеживание движущихся объектов в робототехнике и машинном зрении. Семейство матриц для выделения произвольных углов конструируются рекурсивно добавлением строк и столбцов к меньшим маскам, оставляя подматрицы неизменными, по предлагаемому в работе алгоритму.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2019-0003).

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006.

Оценки точности методов регуляризации и корректность невыпуклых экстремальных задач

М. Ю. Кокурин

Марийский государственный университет

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10183

Для класса некорректных условных экстремальных задач с точно заданным допустимым множеством и минимизируемым функционалом, доступным с погрешностью, ставится вопрос о существовании регуляризующих алгоритмов с равномерной на классе оценкой точности. При естественных дополнительных условиях установлено, что такое возможно лишь в том случае, когда исходный класс экстремальных проблем состоит исключительно из корректных задач. Аналогичное утверждение хорошо известно в теории некорректных обратных задач [1, с.18].

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (проект 1.5420.2017/8.9)

Список литературы

1. Бакушинский А.Б., Гончарский А.В. Итеративные методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1989.

Конечномерные итеративно регуляризованные методы решения нерегулярных нелинейных уравнений

М. Ю. Кокурин, О. В. Лобанова

Марийский государственный университет

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10184

Для приближенного решения нерегулярных нелинейных операторных уравнений с гладким оператором в гильбертовом пространстве строится и изучается класс численно реализуемых итеративно регуляризованных методов типа Гаусса-Ньютона. Методы включают общую конечномерную аппроксимацию для рассматриваемых уравнений и охватывают проекционную схему [1, 2], а также схемы коллокации и квадратурной дискретизации. Исследуются итерационные процессы с априорным и апостериорным правилами останова. С использованием стандартного условия истокпредставимости устанавливаются оценки точности для аппроксимаций, генерируемых методами. Представлены результаты численных экспериментов с модельной обратной 2D задачей гравиметрии.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (проект 1.5420.2017/8.9)

Список литературы

1. Карабанова О.В., Козлов А.И., Кокурин М.Ю. Устойчивые конечномерные итерационные процессы для решения нелинейных некорректных операторных уравнений // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2002. Т. 42. №8. С.1115-1128.
2. Кокурин М.Ю., Карабанова О.В. Конечномерный регуляризованный градиентный метод для решения нерегулярных нелинейных операторных уравнений // Вычислительные методы и программирование. 2007. Т.8. С.88-94.

Эффективные алгоритмы решения некоторых обратных задач иммунологии, социальных процессов и экономики

О. И. Криворотко^{1,2}, С. И. Кабанихин^{1,2}

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: olga.krivorotko@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10185

В работе изучаются совмещенные алгоритмы решения задач минимизации целевых функционалов в смысле наименьших квадратов на примерах задач идентификации коэффициентов и начальных условий для математических моделей иммунологии [1], социальных процессов [2] и экономики [3], описываемых системами обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных. Предлагаемые алгоритмы основаны на методах машинного обучения и стохастических методах оптимизации. Проведена верификация численных расчетов на реальных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-20019) и Российского научного фонда (код проекта 18-71-10044).

Список литературы

1. H.Th. Banks, S.I. Kabanikhin, O.I. Krivorotko, D.V. Yermolenko. A numerical algorithm for constructing an individual mathematical model of HIV dynamics at cellular level // J. Inverse Ill-Posed Probl. 2018. V. 26, No. 6. P. 859–873.
2. G. Dai, R. Ma, H. Wang, F. Wang, K. Xu. Partial differential equations with Robin boundary condition in online social networks // Discrete and Continuous Dynamical Systems Series B. 2015. V. 20, No. 6. P. 1609–1624.
3. R. Engbers, M. Burger, V. Capasso. Inverse problems in geographical economics: parameter identification in the spatial Solow model // Phil. Trans. R. Soc. A. 2014. V. 372. P. 20130402.

Вложение двух выпуклых многоугольников в выпуклый многоугольник

А. И. Куликов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: kulikovai12@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10186

В настоящей работе рассматриваются две задачи размещения в неподвижном выпуклом многоугольнике двух выпуклых подвижных многоугольников без взаимного пересечения [1].

Первая задача заключается в том, чтобы найти все возможные положения подвижных выпуклых многоугольников, при которых они находятся внутри неподвижного многоугольника, касаясь его и друг друга. При этом перемещение подвижных многоугольников осуществляется посредством параллельного переноса. Вторая задача отличается от первой тем, что при перемещении подвижных многоугольников имеет место не только параллельный перенос, но и вращение.

При решении этих задач используется метод характеристических множеств, который позволяет свести задачу размещения одного многоугольника в другом, к задаче простого геометрического поиска о нахождении определенной точки внутри характеристического множества [2]. С целью оптимизации в обеих задачах используется аппарат предвычислений.

Список литературы

1. H. T. Croft, K. J. Falconer, and R. K. Guy. Unsolved Problems in Geometry. Springer, New York, – 1990.
2. Куликов А.И. Некоторые задачи вычислительной геометрии. Изогометрическое сглаживание и геометрический поиск. International Conference Graphicon, Novosibirsk Akademgorodok, 2005.

Новые методы глобальной и локальной апостериорной оценки точности решений линейных некорректных задач*А. С. Леонов**Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ"**Email: asleonov@mephi.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10187

Рассматриваются экстремальные задачи вычисления глобальной и локальной апостериорной оценки точности приближенных решений некорректно поставленных обратных задач (см. [1,2]). Для линейных обратных задач в гильбертовых пространствах они состоят в максимизации квадратичных функционалов с двумя квадратичными ограничениями. В докладе показано, как при определенных условиях эти задачи можно свести к новой задаче максимизации специальных, выписанных аналитически, дифференцируемых функционалов с одним ограничением. Предлагаются алгоритмы вычисления глобальной и локальной апостериорной оценки точности, основанные на решении таких новых задач. Эффективность алгоритмов иллюстрируется численными экспериментами по апостериорной оценке точности решений модельной трехмерной обратной задачи продолжения потенциала. Эксперименты показывают, что предлагаемые алгоритмы дают апостериорные оценки, близкие к истинным величинам глобальной и локальной точности, и оказываются более быстродействующими (в 3–5 раз), чем ранее разработанные алгоритмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00159-а) и Программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского ядерного университета МИФИ (Московского инженерно-физического Института) проект №02.а03.21.0005 от 27.08.2013.

Список литературы

1. Leonov A. S.. Extra-optimal methods for solving ill-posed problems // J. of Inverse and III-posed Problems. 2012. V. 20, Issue 5-6. P.637-665.
2. Leonov A.S. Locally extra-optimal regularizing algorithms // J. of Inverse and III-posed Problems. 2014. V.22, Issue 5. P.713–737.

Решение трехмерной обратной задачи эластографии на параметрическом классе включений*А. С. Леонов¹, А. Н. Шаров², А. Г. Ягола²**¹Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ)**²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова**Email: asleonov@mephi.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10188

В работе представлено решение трехмерной обратной задачи эластографии. Эластография – это совокупность методов онкологического исследования тканей в медицине, основывающихся на различиях в упругих свойствах здоровой и опухолевой тканей [1]. Обратная задача заключается в вычислении упругих свойств ткани, в частности распределения модуля Юнга, по измеренным значениям вертикальных смещений ткани. Найденные включения в ткани, имеющие модуль Юнга, существенно превышающий модуль Юнга известного фонового значения, могут быть интерпретированы как опухоли. В настоящей работе принимается квазистатическая модель в эластографии, в которой прямая задача ставится для изотропного линейно-упругого тела, подвергаемого малым поверхностным сжатиям. Она сводится к системе стационарных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих связь между смещениями ткани и упругими характеристиками ткани – модулем Юнга и коэффициентом Пуассона, который считается известным и постоянным. Дополнительно предполагается, что геометрия искомых включений задается параметрически, а модуль Юнга внутри и вне включений является постоянной функцией. Тогда обратная задача состоит в нахождении неизвестных: числа включений, их геометрических параметров и модулей Юнга, и решается с помощью модификации метода расширяющихся компактов В. К. Иванова и И. Н. Домбровской, предложенной в [2]. Для найденных решений проводится апостериорная оценка точности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта N 17-01-00159).

Список литературы

1. Oberai A. A., Gokhale N. H. and Feijoo G. R. Solution of inverse problems in elasticity imaging using the adjoint method. 2003. Inverse Problems, V.19, pp. 297–313.
2. Alexander S. Leonov, Alexander N. Sharov and Anatoly G. Yagola Solution of the inverse elastography problem for parametric classes of inclusions with a posteriori error estimate. J. Inverse Ill-Posed Probl. 2017. 26. 1-7.

Построение приближенного решения уравнения типа свертки по близкому уравнению

В. А. Лукьяненко

ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского

Email: art-inf@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10189

В работе рассматривается задача нахождения приближенного решения уравнения типа свертки на основе близкого к нему уравнения. Близость понимается по решению. Данный подход продолжает исследования, изложенные Ю.И. Черским и Ф.Д. Гаховым в работе [1]. Он успешно применен к сингулярным интегральным уравнениям, уравнениям типа плавного перехода, краевым задачам Римана и Карлемана теории аналитических функций и др. В случае уравнений типа свертки первого рода предлагается в качестве близких уравнений использовать уравнения второго рода, возникающие в результате применения необходимого условия экстремума для соответствующих регуляризирующих функционалов, в которых учитывается априорная и другая информация о решении. Строятся итерационные алгоритмы с оценкой погрешности, как в исходных пространствах, так и в более узких подпространствах. Заметим, что близкие уравнения могут отличаться по структуре от исходных. Решения должны содержать одни и те же особенности или быть асимптотически близкими (близкими по некоторой норме). Приведены случаи явных решений для соответствующих итерационных процессов.

Список литературы

1. Гахов Ф.Д., Черский Ю.И. Уравнения типа свертки. М.: Наука, 1978. – 288 с.

Частичная регуляризация плохо обусловленных матриц

В. Н. Лутай

Южный федеральный университет

Email: vlutay@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10190

Регуляризация плохо обусловленных матриц систем ЛАУ и мультиколлинеарных матриц в регрессионном анализе (гребневая регрессия) заключается в добавлении ко всем диагональным членам исходной симметричной матрицы некоторого числового параметра [1,2]. В докладе рассматривается возможность добавления регулирующих параметров не ко всем диагональным членам, а только к нескольким или одному из них. С этой целью выполняется разложение исходной матрицы по Холецкому и в процессе разложения к меньшим диагональным элементам треугольной матрицы прибавляются некоторые числовые значения, вследствие чего число обусловленности треугольной матрицы уменьшается. Такое неполное разложение совпадает с полным разложением матрицы, которая соответствует исходной после увеличения ее некоторых диагональных элементов. Добавляемые значения можно делать или одинаковыми для всех изменяемых элементов или зависящими от величины элемента, к которому она прибавляется. В результате точное решение ЛАУ состоит из двух частей. Первая – решение системы с параметризованной исходной матрицей, треугольное разложение которой уже выполнено. Это решение может быть использовано для получения коэффициентов регрессионного уравнения с теми же особенностями, что и в гребневой регрессии. Вторая – решение линейной системы, размерность которой меньше размерности исходной матрицы и равна количеству параметризованных элементов. В докладе приводятся результаты вычислительных экспериментов.

Список литературы

1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979.
2. Драйпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Финансы и статистика, 1986.

Обратная задача с финальным переопределением для сверхустойчивой гиперболической системы*Н. А. Люлько**Институт математики имени С. Л. Соболева СО РАН**Новосибирский государственный университет**Email: natlyl@mail.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10191

Линейная динамическая система называется сверхустойчивой, если все решения этой системы убывают быстрее экспоненты в любой степени [1]. Для линейной гиперболической системы первого порядка с двумя независимыми переменными выделен класс сверхустойчивых смешанных задач в полуполосе с граничными условиями отражениями [2]. Доказано, что свойство сверхустойчивости гиперболической системы эквивалентно тому, что все решения рассматриваемой задачи стабилизируются к нулю за конечное время, не зависящее от начальных данных. Это позволяет для рассматриваемой задачи поставить корректную обратную задачу с финальным переопределением, для решения которой используется метод, предложенный в [3].

Список литературы

1. Balakrishnan A. V. Superstability of systems, *Applied Mathematics and Computation*, 2005. V. 164, № 2, P. 321–326.
2. Kmit I., Lyul'ko N. Perturbation of superstable linear hyperbolic systems, *J. Math. Anal. Appl.* 2018. V. 460, № 2, P. 838–862.
3. Тихонов В. И., Ву Нгуен Шон Тунг, Разрешимость линейной обратной задачи для эволюционного уравнения с суперустойчивой полугруппой. *Вестник РУДН, Серия МИФ*, 2018. Т.26, № 2, с. 103–118.

Восстановление векторного поля по совместно заданным ЯМР-изображениям и лучевым преобразованиям*С. В. Мальцева^{1,2}, Е. Ю. Деревцов^{1,2}**¹Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН**²Новосибирский государственный университет**Email: sv_maltseva@mail.ru; dert@math.nsc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10192

Подход, состоящий в сведении трехмерных задач восстановления функции к серии двумерных, в томографии хорошо известен, а его суть отражена уже в самом термине. В последние годы этот подход получил развитие и при решении задач векторной и тензорной томографии [1, 2], поставленных в том числе и в средах с рефракцией [3]. При этом в качестве томографических данных могут выступать не только лучевые преобразования векторных и тензорных полей, но и их ЯМР-изображения [4]. Рассматривается задача восстановления 3D векторного поля по совместно заданным ЯМР-изображениям, продольным и поперечным лучевым преобразованиям, известным вдоль всех прямых, принадлежащих ортогональным оси цилиндра сечениям.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Немецкого научно-исследовательского общества (код проекта 19-51-12008).

Список литературы

1. Sharafutdinov V.A. Slice-by-slice reconstruction algorithm for vector tomography with incomplete data. *Inverse Problems*. 2007. Vol. 23. P. 2603-2627.
2. Svetov I.E. Reconstruction of the solenoidal part of a three-dimensional vector field by its ray transforms along straight lines parallel to coordinate planes. *Numerical Analysis and Applications*. 2012. Vol. 5, No. 3, P. 271-283.
3. Деревцов Е.Ю. Численное решение задачи рефракционной томографии в цилиндрической области. *Сиб. Ж. Индустриальной матем.* 2015. Т. 18, № 4(64). С. 30-41.
4. Maltseva S. V., Cherevko A. A., Khe A. K., Akulov A. E., Savelov A. A., Tulupov A. A., Derevtsov E. Yu., Moshkin M. P., Chupakhin A. P. Reconstruction of Complex Vasculature by Varying the Slope of the Scan Plane in High-Field Magnetic Resonance Imaging. *Applied Magnetic Resonance*. 2016. Vol. 47, No. 1. P. 23-39.

О задачах векторной томографии с ограниченными данными

С. В. Мальцева^{1,2}, И. Е. Светов^{1,2}, В. В. Богданов^{1,2}

¹*Институт математики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: maltsevasv@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10193

Проблема ограничения данных по углам возникает в некоторых постановках задач зондирования объектов физическим полем. В рамках математических моделей томографии это означает, что исходные данные задачи известны не на всей боковой поверхности цилиндра, как в классических постановках томографии, а только на ее части [4]. Такое ограничение данных приводит к увеличению степени некорректности задачи – по сравнению с классической задачей обращения преобразования Радона, – и необходимости разработки специальных методов и алгоритмов ее решения. В задачах скалярной томографии определенных успехов удастся достичь с помощью метода сингулярного разложения [1-3], применение которого представляется перспективным и при численном решении ряда задач векторной томографии с ограниченными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Немецкого научно-исследовательского общества (код проекта 19-51-12008).

Список литературы

1. Louis A.K. Picture reconstruction from projections in restricted range, *Math. Meth. in the Appl. Sci.*, 1980, V. 2, pp. 209-220.
2. Davison M.E., The ill-conditioned nature of the limited angle tomography problem, *SIAM J. Appl. Math.*, 1981, V. 43, pp. 428-448.
3. Louis A.K. Incomplete Data Problems in X-Ray Computerized Tomography I: Singular Value Decomposition of the Limited Angle Transform, *Numer. Math.*, 1986, V. 48, pp. 251-262.
4. Ф. Наттерер. Математические аспекты компьютерной томографии. Москва "Мир", 1990.

Численный метод решения задачи рефракционной векторной томографии в цилиндре

С. В. Мальцева, И. Е. Светов, А. П. Полякова

Институт математики СО РАН

Email: maltsevasv@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10194

Рассматривается задача восстановления трехмерного векторного поля в цилиндре. Предполагается, что в цилиндре задана риманова метрика специального вида [2]. Данными для задачи являются лучевые преобразования искомого векторного поля, заданные на плоскостях, выбранных определенным образом [1]. Для численного решения задачи обращения лучевого преобразования строится алгоритм, заключающийся в послойном восстановлении соленоидальной части искомого поля.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00392 мол_a).

Список литературы

1. Sharafutdinov V.A. Slice-by-slice reconstruction algorithm for vector tomography with incomplete data, *Inverse Problems*. 2007. Vol. 23. pp. 2603-2627.
2. Е. Ю. Деревцов, Численное решение задачи рефракционной томографии в цилиндрической области, *Сиб. журн. индустр. матем.*, 18:4 (2015), с. 30–41.

Dynamic approach to classical moments problem

A. S. Mikhaylov, V. S. Mikhaylov

St. Petersburg Department of V. A. Steklov Institute of Mathematics RAS

Email: mikhaylov@pdmi.ras.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10195

We consider the problem of the construction of a measure supported on a real line or on a half-line from prescribed moments. The main idea is to use the auxiliary dynamical system with the discrete time associated

with a semi-infinite Jacobi matrix [1,2,3,4]. Then the inverse dynamic data for this system so called response operator (discrete analog of a dynamic Dirichet-to-Neumann map) is given in terms of moments, and we can use ideas of the Boundary Control method [5] to recover the spectral data, i.e. the measure of a truncated moments problem, from dynamic one. The remarkable fact is that in our procedure we do not use the Jacobi matrix itself. We also formulate the results on the uniqueness of the solution of Hamburger and Stieltjes moments problems.

This work was partially supported by the RFBR (grant 18-01-00269).

References

1. A. S. Mikhaylov, V. S. Mikhaylov. Dynamic inverse problem for Jacobi matrices, *Inverse Problems and Imaging*, 13, no. 3, 431-447, 2019.
2. A. S. Mikhaylov, V. S. Mikhaylov. Boundary Control method and de Branges spaces. Schredinger operator, Dirac system, discrete Schredinger operator. *J. of Math. Analysis and Applications*, 460, no. 2, 927-953, 2018.
3. A. S. Mikhaylov, V. S. Mikhaylov, S.A. Simonov. On the relationship between Weyl functions of Jacobi matrices and response vectors for special dynamical systems with discrete time, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 41, no. 16, 6401-6408, 2018.
4. A. S. Mikhaylov, V. S. Mikhaylov. Dynamical inverse problem for the discrete Schredinger operator. *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics.*, 7, (5), 842-854, 2016.
5. M.I. Belishev. Boundary control and tomography of Riemannian manifolds (the BC-method), *Uspekhi Matem. Nauk.* 72, no. 4 (2017), 3-66, (in Russian).

Метод приближенного обращения при решении задачи динамической векторной томографии

А. П. Полякова, И. Е. Светов

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Email: anna.polyakova@ngs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10196

Будем называть задачу томографии динамической, если изучаемый объект движется во время процесса сбора данных. Подобные постановки возникают, например, в медицине при исследовании сердца или легких. Однако большинство известных методов восстановления основаны на предположении, что объект неподвижен, поэтому применение этих методов в динамическом случае, как правило, не дает удовлетворительных результатов [1].

В данной работе предлагается алгоритм восстановления двумерного векторного поля, которое вместе с носителем изменяется во времени по известному закону. В качестве исходных данных используются значения лучевых преобразований этого поля вдоль прямых, параллельных направлению, зависящему от постоянной угловой скорости источника излучения и времени. Алгоритм основан на методе приближенного обращения, который ранее был успешно применен при решении двумерной задачи векторной томографии в стационарном случае [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и ННИО (проект 19-51-12008).

Список литературы

1. Hahn B. N. Efficient algorithms for linear dynamic inverse problems with known motion // *Inverse Problems*. 2014. Vol. 30, No 3. Art. no 035008.
2. Светов И.Е., Мальцева С.В., Полякова А.П. Приближенное обращение операторов двумерной векторной томографии // *Сибирские электронные математические известия*. 2016. Т. 13. С. 607-623.

Задача о сопряжении тонких упругих включений в упругом теле

Т. С. Попова

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

Email: ptsokt@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10197

В работе рассмотрены задачи сопряжения тонких включений различного характера в двумерных упругих телах. Предполагается, что тонкие включения изготовлены из разных по физическим характеристикам материалов: одно из включений моделируются как балка Бернулли-Эйлера, а другое – как балка Тимошенко. Исследованы случаи как отслоившихся с образованием трещин включений, так и

включений без отслоения. В случаях с наличием трещины задача ставится в области с разрезом, на берегах которого задаются условия взаимного непроникания. Такая постановка приводит к вариационному неравенству, соответствующему задаче о минимизации функционала энергии на выпуклом множестве допустимых функций. В работе выводится полная система краевых условий вида равенств и неравенств, выполняющихся на границе, а также условия сопряжения в точке контакта включений. Таким образом, рассматриваются задачи с неизвестными граничными условиями. Вариационная и полученная дифференциальная постановки являются в определенном смысле эквивалентными. Доказана однозначная разрешимость поставленных задач.

Методы решения коэффициентной обратной задачи для нелинейной системы ОДУ по экспериментальным данным пиролиза этана

А. Ю. Приходько^{1,2}, М. А. Шишленин^{1,2,3}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

³Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

Email: Prikhodko1997@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10198

Исследуется коэффициентная обратная задача для нелинейной системы ОДУ, которая определяет математическую модель химических реакций [1]. Имеются экспериментальные зависимости концентраций отдельных соединений от времени для нескольких значений температуры. Обратная задача состоит в определении скоростей химических реакций.

Решение обратной задачи сводится к минимизации целевого функционала градиентными, Ньютоновскими и метаэвристическими методами.

В работе проведен сравнительный анализ алгоритмов решения коэффициентной обратной задачи определения параметров химических реакций по экспериментальным данным. Приведены результаты расчетов.

Список литературы

1. L. F. Nurislamova et al.: Kinetic Model of Gaseous Autocatalytic Ethane Pyrolysis DOI 10.1515/cppm-2014-0008 Chemical Product and Process Modeling 2014; 9(2): 143–154

Построение регуляризирующего оператора при обратном анализе ошибок численных решений

А. Н. Рогалев

Институт вычислительной математики СО РАН

Email: rogalyov@icm.krasn.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10199

Большинство методов оценки ошибок численных решений приводит к сильному росту границ этих ошибок. Обратный анализ ошибок успешно применялся при оценке ошибок решений для систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) [1]. На основе приведенных фактов в докладе исследуется регуляризация алгоритмов оценки ошибок численных решений дифференциальных уравнений, при регуляризации изменяется дефект (невязка) численного решения, строятся численные решения задач с возмущенной правой частью, а также применяются методы преобразований исходных уравнений. Чтобы выбирать границы регуляризируемого алгоритма, исследуется асимптотическая связь между локальной погрешностью, часто используемой для подбора величины шага численных методов решений задач с начальными данными и дефектом (невязкой), а также разность между точным решением возмущенной задачи и ее численным решением. Приводятся примеры численных расчетов.

Список литературы

1. Рогалев А. Н. Обратные задачи оценки ошибки численных решений // Труды Международной конференции по вычислительной и прикладной математике "ВПМ'17" в рамках "Марчуковских научных чтений", Новосибирск, 25 июня – 14 июля [Электрон. ресурс]. <http://conf.nsc.ru/cam17/ru/proceedings>. Стр. 739-743.

Применение спектральных методов к обратной динамической задаче сейсмологии для слоистой среды*А. А. Седипков**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**Email: sedipkov@gmail.com*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10200

Изучается вопрос разрешимости прямой и обратной динамических задач для упругой слоистой среды, связанных с прикладной задачей об определении механических параметров межскважинного пространства по результатам измерений волновых полей, порожденных скважинными источниками.

Рассматривается процесс распространения волн в упругой среде, заполняющей полупространство декартовой системы координат. Параметры среды разрывны и зависят только от глубины. Волновой процесс вызван внешним источником возмущений, который порождает плоскую волну, падающую из глубины.

Доказана однозначная разрешимость прямой динамической задачи для полной системы упругости в соответствующем функциональном пространстве и получено специальное представление для ее решения. С помощью спектральных методов теории дифференциальных операторов исследован вопрос об определении акустического импеданса среды по результатам измерений волновых полей на поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00649).

On a weakly ill-posed problem of integral geometry with a perturbation on a family of broken lines*A. K. Seidullaev**Karakalpak state university**Email: abat_1984@inbox.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10201

We study the problem of recovering a function in a strip from known integrals from it with a given weight function along the broken lines. Which integration is performed is uniquely parameterized by the coordinates of its vertices over the broken line. Inversion formula is received. Uniqueness theorem to solution of considered problem of integral geometry with perturbation in a class of smooth functions compactly supported in a strip is proved. Estimates of stability of solution to the problem in Sobolev's spaces shows its weak ill posedness.

Analytical and numerical regularization solution of the problem of integral geometry on the families of parabolic and broken lines*A. K. Seidullaev¹, G. M. Djaykov²*¹*Karakalpak state university*²*Nukus branch of Tashkent university of information technologies**Email: abat_1984@inbox.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10202

We study problems of reconstruction of a function in a strip from their given integrals with known weight function along parabolic family and polygonal lines. We obtained analytic inversion formulas for the solutions to the problems in the class of smooth finite functions. Using these representations, we proved uniqueness and existence theorems to solutions in the class of finite functions with support in a strip. We obtain stability estimates of solutions to the problems in Sobolev's spaces and thus show weak ill-posedness of these problems. Using these theoretical results, we restore a function from given tabular integral data. We construct regularization procedures based on obtained analytical representations for considered problems with noisy data. Analyzing results of numerical experiments, we make a conclusion that applied algorithms are sufficiently effective.

Обусловленность обратных задач и итерационные методы их решения*С. Б. Сорокин^{1,2}*¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*²*Новосибирский государственный университет**Email: sorokin@sscc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10203

При численном решении задачи Коши для эллиптических уравнений одним из широко используемых подходов является сведение ее к обратной задаче (см., например, [1, 2]). Некорректность исходной задачи отражается на свойствах оператора обратной задачи в виде очень большой обусловленности его дискретного аналога. Как следствие, применение явных стационарных итерационных методов для нахождения решения соответствующего операторного уравнения с заданной точностью требует выполнения очень большого числа итераций (пропорционального значению обусловленности) [3].

С другой стороны, как показывают проведенные в [4] исследования, в случае стандартных расчетных областей (прямоугольник, круг) при решении задачи Коши для уравнения Лапласа метод разделения переменных позволяет строить экономичные прямые численные алгоритмы. Применение такого сорта алгоритмов в качестве предобуславливателей приводит к неявным двухслойным итерационным методам нахождения решения дискретного аналога обратной задачи. Приводятся результаты вычислительных экспериментов, реализующих неявные двухслойные итерационные методы решения задачи Коши для эллиптических уравнений.

Список литературы

1. S.I. Kabanikhin, A.L. Karchevsky, Method for solving the Cauchy Problem for an Elliptic Equation, *Journal of Inverse and Ill-posed Problems*, 3. 1 (1995), 21-46.
2. Кабанихин С.И. Обратные и некорректные задачи, Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009. 457с.
3. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука. 1978. 529с.
4. Сорокин С.Б. Экономичный прямой метод численного решения задачи Коши для уравнения Лапласа // Сиб. журн. вычисл. математики / РАН. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2019. – Т. 22, № 1, – С. 99–117

Численное решение задачи электроимпедансной томографии*А. В. Старченко, Е. В. Семёнов**Томский государственный университет**Email: starch@math.tsu.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10204

В работе рассматривается двумерная стационарная задача электроимпедансной томографии, математическая постановка которой включает уравнение эллиптического типа с переменной электрической проводимостью с граничными условиями, соответствующими полной электродной модели [1, 2]. Задача решается численно с применением метода конечного объема и неструктурированных сеток, сгущающихся к поверхностям электродов. Выбор параметров численного решения задачи производится путем сопоставления результатов с приближенным аналитическим решением [2]. Для восстановления распределения коэффициента электрической проводимости внутри области по значениям силы тока и напряжения на электродах применяется нейросетевой подход [3].

Список литературы

1. Boyle A., Adler A. Electrode Models under Shape Deformation in Electrical Impedance Tomography // *J. of Physics. Conference Series*, 2010, Vol. 224.
2. Demidenko E. Analytic solution to homogeneous EIT problem on the 2D disk and its application of electrode contact impedances // *Physiol. Meas.*, September 2011. – Volume 32. – Pages 1453–1471.
3. Корженевский А.В. Использование искусственных нейронных сетей для решения обратных задач электроимпедансной и магнитоиндукционной томографии // *Журнал радиоэлектроники*, 2001, №11.

Identification of a space-wise dependent right-hand side in two dimensional parabolic equation

L. D. Su, V. I. Vasil'ev

¹Institute of Mathematics and Information Science, North-Eastern Federal University

Email: sulingde@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10205

In this paper numerical solution of the inverse problem of determining a spacewise dependent right-hand side in two dimensional parabolic equation is considered. Usually, the source function dependent on spatial variable is obtained from measured data of the solution at the final time point. Many mathematical modeling problems in the field of physics and engineering will encounter the inverse problems to identify the right-hand side. When studying an inverse problem of identifying the spacewise dependent source term, iterative methods are often used, we propose a new conjugate gradient method based on the adjoint problem of the original equation for numerical solution of the source function. Numerical examples illustrate the ability and accuracy of this algorithm.

This work was supported by the mega-grant of Russian Federation Government (14.Y26.31.0013) and RFBR (17-01-00689) .

References

1. P. N. Vabishchevich and M. V. Klibanov. Numerical identification of the leading coefficient of a parabolic equation. // *Differential Equations*. 2016. 52 (7): 855–862.
2. P. N. Vabishchevich. Computational identification of the lowest space-wise dependent coefficient of a parabolic equation. // *Applied Mathematical Modelling*. 2019. 65: 361–376.
3. P. N. Vabishchevich and V. I. Vasil'ev. Computational algorithms for solving the coefficient inverse problem for parabolic equations. // *Inverse Problems in Science and Engineering*. 2016. 24 (1): 42–59.
4. T. Johansson and D. Lesnic. Determination of a spacewise dependent heat source. // *Journal of computational and applied mathematics*. 2007. 209: 76–80.
5. K. Cao and D. Lesnic. Reconstruction of the space-dependent perfusion coefficient from final time or time average temperature measurements. // *Journal of computational and applied mathematics*. 2018. 337: 150–165.
6. V. L. Kamynin. On the unique solvability of an inverse problem for parabolic equations under a final overdetermination condition. // *Mathematical Notes*. 2003. 73 (1): 202–211.
7. A. G. Fatullayev and S. Cula. An iterative procedure for determining an unknown spacewise dependent coefficient in a parabolic equation. // *Applied mathematics letters*. 2009. 22: 1033–1037.
8. A. A. Samarskii and P. N. Vabishchevich. *Numerical Methods for Solving Inverse Problems of Mathematical Physics*. De Gruyter, 2007.

О решении обратной задачи для уравнения теплопроводности с интегральным краевым условием

Е. В. Табаринцева

Южно-Уральский государственный университет

Email: eltab@rambler.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10206

Рассматривается задача восстановления начального условия в смешанной краевой задаче для уравнения теплопроводности с интегральным граничным условием по дополнительной информации о решении в момент времени $t = T$. Получена оценка условной устойчивости данной задачи на одном из классов равномерной регуляризации. Устойчивые приближенные решения задачи строятся с помощью одной из модификаций метода квазиобращения. Рассмотрен выбор параметра регуляризации по схеме М. М. Лаврентьева и по принципу невязки. Получена оценка погрешности метода на рассмотренном классе равномерной регуляризации. Полученные оценки дают возможность исследовать метод приближенного решения на оптимальность.

Работа выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление №211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

Список литературы

1. Иванов В. К., Васин В.В., Танана В.П. Теория линейных некорректных задач и ее приложения. М.: Наука, 1978.
2. Латтес Р., Лионс Ж.-Л. Метод квазиобращения и его приложения. М.: Мир, 1970.
3. Алексеева С. М., Юрчук Н.И. Метод квазиобращения для задачи управления начальным условием для уравнения теплопроводности с интегральным краевым условием // Дифференциальные уравнения. 1998. Т. 34, № 4. С. 495–502.
4. Табаринцева Е. В. Об оценке погрешности метода квазиобращения при решении задачи Коши для полулинейного дифференциального уравнения// Сибирский журнал вычислительной математики. 2005. Т. 8, № 3. С. 259–271.

О решении обратной граничной задачи теплопроводности для шара, состоящего из композитных материалов

В. П. Танана¹, Б. А. Марков²

¹Южно-Уральский государственный университет

²Челябинское высшее военное авиационное училище штурманов

Email: tyra@susu.ac.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10207

В работе предлагается постановка обратной граничной задачи теплопроводности композитных материалов для шара. Впервые обратная граничная задача для уравнения теплопроводности была рассмотрена в [1].

Сложность решения задачи состоит в том, что не удастся использовать классическое решение, так как, в силу композитности материала, производная решения терпит разрыв на границе раздела сред.

Для обратной задачи приведена оценка погрешности [2–4] приближенного решения.

Список литературы

1. Тихонов А.Н., Гласко В.Б. К вопросу о методах определения температуры поверхности тела. 1967 ЖВМиМФ. Т. 7. № 4. С. 267–273.
2. Иванов В.К., Васин В.В., Танана В.П. Теория линейных некорректных задач и ее приложения. М.: Наука, 1978.
3. Танана В.П. Об оптимальности методов решения нелинейных неустойчивых задач // ДАН СССР. 1975. Т. 220. № 5. С. 1035–1037.
4. Иванов В.К., Королук Т.И. Об оценке погрешности при решении линейных некорректно поставленных задач. // ЖВМиМФ. 1969. Т. 9. № 1. С. 30–41.

О решении обратной граничной задачи теплообмена для цилиндрической области

В. П. Танана, А. И. Сидикова

Южно-Уральский государственный университет

Email: tanana@vpr@susu.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10208

В работе исследуется и решается обратная задача об определении температуры на внутренней стенке полого цилиндра, состоящего из композитных материалов. Данная задача представляет известный интерес в связи с теорией термопар и приборов для измерения тока. В работе проведено аналитическое исследование прямой задачи, которое позволило дать строгую постановку обратной задачи и определить функциональные пространства, в которых будет решаться обратная задача. Для получения оценки погрешности решения обратной задачи использован метод проекционной регуляризации [1].

Список литературы

1. Танана В. П., Данилин А.Р. Об оптимальности регуляризующих алгоритмов при решении некорректных задач // Дифференциальные уравнения. 1976. Т. 12, № 7. С. 1323–1326.

Экстраполяция волновых полей с поверхности в глубину на основе решения трехмерного одностороннего волнового уравнения

А. В. Терехов

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный технический университет*

Email: andrew.terekhov@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10209

Разработаны новые спектрально-разностные алгоритмы высоких порядков точности для решения трехмерного одностороннего волнового уравнения. Замена преобразования Фурье на преобразование Лагерра позволяет после разностной аппроксимации пространственных производных получить хорошо обусловленную систему линейных алгебраических уравнений. Численные эксперименты показали, что разностные схемы, сохраняющие дисперсионное соотношение, позволяют уменьшить шаг сетки в горизонтальном направлении приблизительно два раза по сравнению с классическими разностными схемами. Для стабилизации неустойчивости математической модели была разработана стабилизирующая процедура на основе сплайн-фильтрации, что позволило реализовать методы типа предиктор-корректор высоких порядков точности. Использование схем предиктор-корректор позволило перейти от решения системы эллиптических уравнений к решению отдельных эллиптических уравнений. Такой подход обеспечивает экономичное решение трехмерных задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-41-543002).

Метод последовательного конструирования потенциала в задаче рассеяния для уравнения Шрёдингера на квантовых сетях

С. А. Фадеев¹

Новосибирский государственный университет

Email: stepan-fadeev@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10210

В работе рассматривается задача рассеяния на квантовых сетях. Основным интерес представляет спектр энергий уравнения Шрёдингера, определенного на каждом ребре, а также спектр энергий гамильтониана для всей квантовой сети. Используемый в работе подход основан на последовательном приближении рассеивающего потенциала более простыми функциями, а также изменении данных рассеяния при подобных приближениях. Для решения задачи использован метод последовательного конструирования потенциала на графах специального вида: петлях с n полубесконечными ребрами, кольцах с n полубесконечными ребрами.

Список литературы

1. Kottos T., Smilansky U. Periodic Orbit Theory and Spectral Statistics for Quantum Graphs // *Annals of Physics*, 1999, Volume 274, Issue 1, p. 76-124
2. Kostrykin V., Schrader R. Kirchhoff's rule for quantum wires // *J. Phys. A: Math. Gen.* 32 (1999) 595-630.

Применение методов "Последовательные приближения по характерным взаимодействиям" при интерпретации (усвоении) данных измерений ядерно-геофизических технологий

А. И. Хисамутдинов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

Email: KhisamutdinovAI@ipgg.sbras.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10211

В докладе речь идет об уравнениях переноса и о соответствующих марковских скачкообразных процессах в условиях, типичных при применениях ядерно-геофизических технологий для определения параметров горных пород и пластов. Формулируются проблемы интерпретации данных измерений; последние представляются как заданные функции выборочных значений математических ожиданий по траекториям пучков частиц. Уравнения "измерений" дополняются системой уравнений ограничений на неизвестную совокупность параметров, и численное решение именно двух этих систем трактуется как

восстановление параметров. Дается описание основных составляющих предложенных численных итерационных методов "Последовательные приближения по характерным взаимодействиям". Общая теоретическая схема конкретизируется для задач восстановлений: коэффициента пористости пласта по данным нейтрон-нейтронного каротажа, плотности – посредством гамма-гамма каротажа и коэффициента водо- нефтенасыщенности – по данным импульсного нейтрон – гамма каротажа(радиационного захвата).

Список литературы

1. Хисамутдинов А.И. Характерные взаимодействия и последовательные приближения в двух задачах о восстановлении коэффициентов уравнений переноса (и состава среды). -Новосибирск: Академическое издательство "Гео", 2009. 48с.
2. Khisamutdinov A.I. Characteristic interactions and successive approximations in problems on evaluating coefficients of transport equation and elemental content of a medium. J. of Inverse problems, 2011, No.2, p.189-222.
3. Khisamutdinov A.I. The approach of 'successive approximations over characteristic interactions' for inverse problems of nuclear-geophysical technologies. Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling 2018; 33(4); p.211-223.

Оценка варибельности решения, полученного с помощью интервальной регуляризации

С. П. Шарый

Институт вычислительных технологий СО РАН

Email: shary@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10212

Цель этой работы – представить одну из возможных конструкций количественной меры чувствительности и варибельности для решения системы линейных алгебраических уравнений, полученного с помощью так называемой интервальной регуляризации [1].

Термином "варибельность" мы называем степень изменчивости и неоднозначности оценки, и необходимость ее введения диктуется тем обстоятельством, что в условиях неточности входных данных ответ, как правило, неединствен. Обычно мы получаем целое множество различных решений, одинаково пригодных в качестве ответов к задаче и согласующихся с ее данными. То, насколько мало или обширно это множество, характеризуется термином "варибельность". Показано, что эта же величина может служить аналогом дисперсии оценки в статистике интервальных данных [2].

Список литературы

1. Шарый С. П. Интервальная регуляризация для решения систем линейных алгебраических уравнений // Труды Международной конференции "МАРЧУКОВСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2017", Академгородок, Новосибирск, Россия, 25 июня – 14 июля 2017 г. Новосибирск, 2017. С. 975–982. [Электрон. ресурс] URL: <http://conf.nsc.ru/files/conferences/cam17/427967/ProceedingsCAM2017.pdf> (дата обращения: 30.03.2019).
2. Шарый С. П. Сильная согласованность в задаче восстановления зависимостей при интервальной неопределенности данных // Вычислительные Технологии. 2017. Т. 22, №2. С. 150–172.

Алгоритмы расчета модуля непрерывности обратного оператора и его модификаций с использованием методов Монте-Карло в приложении к геоэлектрике

М. И. Шимелевич

Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе

Email: shimelevich-m@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10213

Модуль непрерывности обратного оператора [1] и его модификации [2-4] определяют априорные оценки неоднозначности (погрешности) приближенных решений условно-корректной обратной задачи. На основе этих оценок решается задача выделения подмножества решений, погрешность которых при заданном уровне погрешности данных не превышает заданной величины [3]. Приводятся схемы алгоритмов расчета модуля непрерывности обратного оператора и его модификаций с использованием алгоритмов Монте-Карло. Рассматриваются некоторые вопросы сходимости алгоритмов. Приводятся численные примеры расчета оценок модуля непрерывности и их использования в обратных задачах геоэлектрики.

Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН). Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект №19-01-00738 и за счет гранта Российского научного фонда проект № 19-11-00333.

Список литературы

1. Лаврентьев М.М. О некоторых некорректных задачах математической физики. Новосибирск, Изд-во АН СССР. 1962. 92 с.
2. Иванов В.К., Васин В.В., Танана В.П. Теория линейных некорректных задач и ее приложения. М.: Наука. 1978. 200 с.
3. Шимелевич М.И. Численные методы оценки степени практической устойчивости обратных задач геоэлектрики / М.И. Шимелевич, Е.А. Оборнев, И.Е. Оборнев, Е.А. Родионов // Физика Земли. 2013. № 3. С. 58-64.
4. Шимелевич М.И. Аппроксимационный нейросетевой метод решения многомерных нелинейных обратных задач геофизики / М.И. Шимелевич, Е.А. Оборнев, И.Е. Оборнев, Е.А. Родионов // Физика Земли. 2017. № 4. С. 100-109.

Аппроксимационно-нейросетевой подход к решению обратных задач геоэлектрики и гравиметрии

М. И. Шимелевич¹, Е. А. Оборнев¹, И. Е. Оборнев^{1,2}, Е. А. Родионов¹

¹*Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе*

²*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына*

Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Email: shimelevich-m@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10214

В работе представлен аппроксимационно-нейросетевой (АНС) метод решения условно-корректных нелинейных обратных задач геофизики, который основан на аппроксимации обратного оператора с помощью нейронных сетей [1]. АНС метод и его модификации позволяют формализовано находить устойчивые приближенные решения обратных коэффициентных 2D, 3D задач геоэлектрики в классе сеточных моделей сред на регуляризованной сетке параметризации с приемлемой для практики точностью при минимальной априорной информации без задания первого приближения. Работа метода иллюстрируется на примере 3D инверсии синтезированных площадных данных и 2D натурных данных геоэлектрики методом МТЗ [2]. Показана принципиальная возможность применения АНС метода для решения условно-корректной обратной нелинейной 3D задачи гравиразведки (определение геометрии нижней границы исследуемого геолого-геофизического объекта с известной избыточной плотностью) [3].

Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН). Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект №19-01-00738 и за счет гранта Российского научного фонда проект № 19-11-00333.

Список литературы

1. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А. Аппроксимационный метод решения обратной задачи МТЗ с использованием нейронных сетей. Физика Земли, 2009, т.45, №12, с.22-38
2. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Оборнев И.Е., Родионов Е.А. Алгоритм решения обратной задачи геоэлектрики на основе нейросетевой аппроксимации // Сибирский журнал вычислительной математики. 2018. № 4. С. 437-452.
3. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Оборнев И.Е. Применение аппроксимационного нейросетевого метода для решения обратной задачи гравиразведки // Функциональные пространства. Дифференциальные операторы. Проблемы математического образования: тезисы докладов Пятой Международной конференции, посвященной 95-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН, академика Европейской академии наук Л. Д. Кудрявцева. Москва, РУДН, 26-29 ноября 2018 г. М.: РУДН, 2018. С. 314-315

Численный метод решения обратной задачи тепловой диагностики*Н. М. Япарова**Южно-Уральский государственный университет**Email: iaparovnm@susu.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10215

В работе рассмотрена проблема определения температуры во внутренних точках тела по результатам измерений температур в граничной области объекта в ситуации, когда начальная температура тела неизвестна. Математическая модель теплопереноса представлена обратной граничной задачей теплопроводности с неизвестными начальными условиями. Предложен численный метод определения температуры во внутренних точках объекта, основанный на использовании конечно-разностных уравнений и регуляризующих функционалов. С целью получения экспериментальных оценок погрешностей предложенного метода был проведен вычислительный эксперимент. В эксперименте был осуществлен сравнительный анализ построенных решений, тестовых функций и численных решений рассматриваемой обратной задачи, полученных с помощью оптимального по порядку метода при дополнительно известных начальных условиях. Результаты вычислительного эксперимента о достаточной точности метода в некоторой подобласти.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания (ТЗ 8.9692.2017/8.9 от 17.02.2017)

Численный метод прогнозирования температуры с помощью уравнения Вольтерра*Н. М. Япарова, Т. П. Гаврилова**Южно-Уральский государственный университет**Email: iaparovnm@susu.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10216

Рассматривается обратная граничная задача для уравнения параболического типа с начальными и граничными условиями, известными на части границы, связанная с задачей определения температуры на одной из границ и внутри линейного объекта по результатам измерения температурных функций, проводимых вблизи другой границы. С помощью преобразования Лапласа обратная задача сводится к интегральному уравнению, характеризующему прямую зависимость неизвестной граничной функции от исходных данных. В работе предложен численный метод решения интегрального уравнения, основанный на методе регуляризации с апостериорным выбором параметров регуляризации. Решение этого уравнения послужило основой для прогнозирования температуры внутри всего линейного объекта. С целью проверки эффективности предложенного подхода и получения экспериментальных оценок погрешностей был осуществлен вычислительный эксперимент, результаты которого представлены в работе и свидетельствуют о достаточной точности полученных численных решений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации прикладных научных исследований в рамках базовой части Государственного задания "Разработка, исследование и реализация алгоритмов обработки данных динамических измерений пространственно-распределенных объектов", техническое задание 8.9692.2017/8.9 от 17.02.2017.

Секция 6. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ ГЕОФИЗИКИ И ЭЛЕКТРОФИЗИКИ

Декомпозиция и распараллеливание вычислительно-емких функций обработки данных микросейсмического мониторинга

К. С. Алсынбаев

НИИ прикладной информатики и математической геофизики Балтийского федерального
университета им. И. Канта

Email: KAlsynbaev@kantiana.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10217

Программное обеспечение обработки данных микросейсмического мониторинга может включать функции распознавания и геометрического моделирования объектов в нерегулярном облаке точек, использующие алгоритмы с быстро растущим временем счета при увеличении объема облака (кластеризацию, тетраэдризацию и др.).

Предлагаемые подходы для ускорения выполнения функций основываются на декомпозиции и распараллеливании. Одни из них базируются на классических методах разбиения векторных данных и декомпозиции алгоритмов, другие используют переход к воксельной модели данных.

Так, построение дерева обрабатываемых точек для алгоритма кластеризации и оригинальный механизм параллельной каскадной склейки позволили достичь эффективности по времени не хуже $O(n \log n)$. Для облака в 800 тысяч точек исходный однопроцессорный алгоритм выполнил кластеризацию за 3.5 часа, модифицированный с распараллеливанием на 8 ядер – за 20 секунд.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-29-15090).

Об одном методе моделирования низкочастотной турбулентной плазмы

Н. С. Аркашов¹

¹Новосибирский государственный технический университет

Email: nicky1978@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10218

В настоящей работе оценивается адекватность модели нестационарного шума, полученной в работе [1]. Оценка адекватности выполняется на выборке значений плотности низкочастотной турбулентной плазмы, измеренной в периферийной области удержания плазмы термоядерной установки Токамак Т-10 (выборка предоставлена профессором В. П. Будаевым. Российский научный центр "Курчатовский институт"). В работе [2] к аналогичным выборочным данным применяется мультифрактальный подход, при этом получен закон изменения дисперсии для процесса блуждания частиц, причем этот закон имеет степенной характер с параметром степенного изменения в диапазоне (1.2, 1.8), что говорит о супердиффузионном режиме переноса. В настоящей работе получен супердиффузионный режим переноса для модели блуждания с параметром степенного изменения также в диапазоне (1.2, 1.8).

Список литературы

1. Аркашов Н. С., Селезнев В. А. О формировании соотношения нелокальностей в модели аномальной диффузии // ТМФ. 2017. Т. 193, № 1. С. 115–132.
2. Будаев В. П., Савин С. П., Зеленый Л. М. Наблюдения перемежаемости и обобщенного самоподобия в турбулентных пограничных слоях лабораторной магнитосферной плазмы: на пути к определению количественных характеристик переноса // УФН. 2011. Т. 189, № 9. С. 905–952.

Численное моделирование широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера

В. Т. Астрелин^{1,2}, М. С. Воробьев³, А. Н. Козырев⁴, В. М. Свешников^{2,4}

¹*Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

³*Институт сильноточной электроники СО РАН*

⁴*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

Email: V.T.Astrelin@inp.nsk.su

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10219

Проведено численное моделирование физических процессов широкоапертурного источника электронного пучка на основе сеточного плазменного эмиттера. Исследуемая область характеризуется сильной разномасштабностью и протяженностью. Расчеты проводились на адаптивных квазиструктурированных локально-модифицированных сетках. Предложена математическая модель нахождения свободной поверхности эмиссионной плазмы, согласно которой задача рассматривается в двумерном осесимметричном приближении и поверхность входа электронов в расчетную область представляется в виде совокупности дуг окружностей, соединяемых перешейками. Для повышения точности расчетов предложено разбить разномасштабную протяженную область на две подобласти и решение находить альтернирующим методом Шварца, поочередно проводя решение самосогласованных задач в подобластях. Пучки моделируются методом трубок тока, потенциал электрического поля рассчитывается методом конечных объемов.

Проведено сравнение полученных характеристик пучка с данными эксперимента. Показано, что при рабочих параметрах пучка его потери на элементах источника минимальны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования и Президиума СО РАН (Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН № 10).

Численное моделирование столкновений в методе частиц-в-ячейках для задач генерации электромагнитного излучения в плазме

Е. А. Берендеев¹, А. А. Ефимова¹, В. В. Анненков²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт ядерной физики СО РАН*

Email: evgeny.berendeev@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10220

Перспективным методом генерации терагерцового электромагнитного (ЭМ) излучения является инжекция в плазму лазерных импульсов или электронных пучков. Для поисков оптимальных параметров плазменной системы, обеспечивающих высокую эффективность генерации ЭМ-излучения, используется численное моделирование методом частиц-в-ячейках. В этом методе плазма представляется набором достаточно большого числа модельных частиц, которые взаимодействуют между собой через электромагнитные поля. Однако в некоторых задачах необходимо учитывать статистические процессы ионизации газа и кулоновские столкновения.

В работе рассмотрено два основных подхода к моделированию столкновений в методе частиц применительно к задаче моделирования генерации терагерцового излучения— это метод нулевых столкновений и метод парных столкновений Такизуке и Абе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-32-00107, 19-07-00446).

Параллельный алгоритм моделирования полей давления в коллекторах с двойной пористостью

Ю. О. Бобренёва¹, И. Г. Черных², И. М. Губайдуллин^{1,3}

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

³Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения УФИЦ РАН

Email: yu.o.bobreneva@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10221

Коллектора с двойной пористостью являются достаточно сложным объектом разработки, поскольку характеризуются высокой неоднородностью [1]. Задачи массопереноса для коллекторов таких типов представляют большой интерес [2]. В работе рассматривается математическая модель процесса массопереноса в коллекторе с двойной пористостью. Модель представлена системой, состоящей из двух уравнений, описывающих фильтрацию жидкости в трещинах и в матрице [3]. Для исследуемой задачи разработан численный метод и параллельный вычислительный алгоритм для многоядерных архитектур с общей памятью [4, 5]. Для распараллеливания алгоритма используется технология OpenMP и векторные инструкции, доступные в процессорах Intel и AMD. В результате расчетов смоделировано давление в процессе исследования скважины для различных геометрических размеров блоков. Проведен анализ эффективности алгоритма в случае разного количества задействованных в расчете процессоров.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (код проекта 16-29-15116).

Список литературы

1. Черницкий А.В. Геологическое моделирование нефтяных залежей массивного типа в карбонатных трещиноватых коллекторах. М.: ОАО "РМНТК"Нефтеотдача", 2002.
2. Голф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов. [ред.] Ковалева А.Г. [перев.] Голованова П.К., Власенова В.В., Покровский В.В. Бардина Н.А. М.: Недра, 1986.
3. Aguileria R., Ng M.e. Decline-curve analysis of hydraulically fractured wells in dual-porosity reservoirs. [SPE-22938] Dallas, TX : 66th Annual Technical Conf. and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers held, 1991.
4. Вахитов Г.Г. Разностные методы решения задач разработки нефтяных месторождений. М.: Недра, 1970.
5. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989 г.

Численное моделирование массопереноса в коллекторе с применением высокопроизводительных вычислений

Ю. О. Бобренёва¹, В. А. Протасов², И. М. Куликов³, И. М. Губайдуллин^{1,4}

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет

²Новосибирский государственный технический университет

³Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

⁴Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения УФИЦ РАН

Email: yu.o.bobreneva@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10222

Для рациональной разработки нефтяных залежей важным является наличие качественной информации о фильтрационно-емкостных характеристиках коллектора, что напрямую связано с изучением особенностей фильтрации жидкостей в пластах [1]. Рассматривается модель двойной пористости Уоррена-Рута [2], которая представлена системой уравнений, описывающих процесс фильтрации в трещинах и в коллекторе. Две поровые системы – система трещин и система матриц описываются различными значениями фильтрационно-емкостных свойств [3]. В связи с тем, что аналитическое решение системы не может быть получено в общем виде, а существует лишь приближенное решение для частных случаев, возникает необходимость в численном решении [4]. В работе представлен сравнительный анализ вычислительных затрат при решении уравнений модели Уоррена-Рута с использованием неявной разностной схемы и вычислительных методов [5], адаптированных под использование многоядерных архитектур с общей памятью с применением технологии OpenMP и векторных инструкций, поддерживаемых процессорами Intel и AMD.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ (код проекта 16-29-15116).

Список литературы

1. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М.: Недра, 1984.
2. Warren J.E., Root P.J. The behaviour of naturally fractured reservoirs. б.м.: Soc.Petrol.Eng.J., 1963, p. 245-255.
3. Abdullah Al-Ghamdi, Iraj Ershaghi. Pressure Transient Analysis of Dually Fractured Reservoirs. [SPE 26959] б.м.: SPE Journal, 1996.
4. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. [ред.] Максимов М.М. [перев.] Кестнер В.П. Королев А.В. Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004 г.
5. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука, 1978.

Численное решение начально-краевой задачи с вакуумными граничными условиями для уравнения индукции магнитного поля

И. В. Бычин^{1,2}, А. В. Гореликов^{1,2}, А. В. Ряховский²

¹Обособленное подразделение ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН в г. Сургуте

²Сургутский государственный университет

Email: gorelikov_a@list.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10223

В рамках метода контрольного объема разработан алгоритм численного решения начально-краевых задач для уравнения индукции магнитного поля с вакуумными граничными условиями в произвольных ортогональных координатах. Использована процедура дискретизации уравнения индукции магнитного поля на смещенных сетках [1-3], которая позволяет получать решение, с заданной точностью удовлетворяющее сеточному уравнению неразрывности. Разработано программное обеспечение для численного решения задач с вакуумными граничными условиями для уравнения индукции магнитного поля в шаре. Внешняя задача Неймана для уравнения Лапласа на потенциал магнитного поля в вакууме решается с использованием преобразования обратных радиусов. Представлены результаты тестирования на задаче с вакуумными граничными условиями о диффузии магнитного поля в проводящем шаре.

Работа выполнена при поддержке Программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2020 гг., проект № 0065-2019-0007.

Список литературы

1. Куликовский, А.Г., Н.В. Погорелов и А.Ю. Семенов, 2001. Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений. ФИЗМАТЛИТ, 608 с.
2. Toth G., 2000. The constraint in shock-capturing magnetohydrodynamics codes. J. Comput. Phys., 161: 605.
3. Колмычков, В.В., О.С. Мажорова и Е.Э. Федосеев, 2009. Численный метод решения уравнений МГД. Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, № 30. 28 с.

Математическое моделирование реакции синтеза бензилбутилового эфира

А. Г. Вовденко¹, К. Ф. Коледина^{1,2}, И. М. Губайдуллин^{1,2}

¹Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН

²Уфимский государственный нефтяной технический университет

Email: vovdenkoann@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10224

В работе рассматривается реакция получения бензилбутилового эфира межмолекулярной дегидратацией бензилового и н-бутилового спиртов под действием катализатора CuBr₂. На основе экспериментальных данных предложена математическая модель данной реакции, которая позволяет адекватно описать экспериментальные данные при различных мольных соотношениях и температурах с помощью нахождения значений констант скоростей и энергий активации стадий.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в соответствии с исследовательскими проектами № 17-43-020155 p_a, № 18-07-00341 и стипендиями Президента РФ SP-669.2018.5.

Список литературы

1. Байгузина А.Р., Гималетдинова Л.И., Хуснутдинов Л.И. Синтез бензилалкиловых эфиров межмолекулярной дегидратацией бензилового спирта с алифатическими спиртами под действием медьсодержащих катализаторов М.: Наука, 2018.

2. Губайдуллин И.М., Сайфуллина Л.В., Еникеев М.Р. "Информационно-аналитическая система обратных задач химической кинетики". Учебное пособие. Изд-е Башкирск. Ун-та.- Уфа, 2003. – 89 с.
3. Ахметов И.В., Губайдуллин И.М., Коледина К.Ф., Сафин Р.Р. Математическое моделирование и оптимизация реакций синтеза ароматических соединений. Электротехнические и информационные комплексы и системы. Уфимский государственный университет экономики и сервиса. Уфа. № 2, т. 11, 2015. С. 53-58
4. K.F. Koledina, S.N. Koledin, I.M. Gubaydullin Optimization of chemical reactions by economic criteria based on kinetics of the process // CEUR Workshop Proceedings, Volume 1966, 2017, P.5-9.DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.18287/1613-0073-2017-1966-5-9.

Гибридные алгоритмы для моделирования двумерных течений плазмы

В. А. Вишников, Л. В. Вишкова, Г. И. Дудникова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: vsh@ssd.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10225

Известно, что для моделирования разреженной плазмы лучше всего подходит математическая модель, состоящая из уравнений Власова для каждой компоненты плазмы и уравнений Максвелла для электромагнитных полей. Для численного решения задач с использованием этой модели наиболее подходит метод частиц-в-ячейках в связи с его универсальностью для широкого диапазона физических параметров. Однако применение метода частиц требует больших вычислительных ресурсов – памяти и быстродействия ЭВМ. Но еще большее ограничение на эффективность численной модели накладывает разномасштабность физических явлений, определяемых поведением легких (электроны) и тяжелых (ионы) частиц плазмы. Если при этом изучаемые эффекты определяются движением ионных компонент, то существенное ограничение при использовании модели будет связанным с большим временем счёта.

Для уменьшения требований к быстродействию и памяти ЭВМ, по сравнению с полностью кинетическими моделями, используются комбинированные (гибридные) модели. В докладе на примере задачи о разлете плазменного облака будут рассмотрены двумерные гибридные модели, основанные на гидродинамическом приближении для электронной компоненты плазмы и кинетическом приближении для ионов. Условия и возможности их применения, полученные на основе существующих теоретических оценок, будут проверены и уточнены при численном моделировании.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-29-21025-мк).

Численное моделирование динамики взаимодействия плазменных потоков в магнитном поле

К. В. Вишников¹, Л. В. Вишкова², Г. И. Дудникова²

¹Институт лазерной физики СО РАН

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: vkv76ru@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10226

В работе представлена 3-мерная модель распространения плазменного сгустка в фоновой плазме, основанная на использовании кинетического уравнения Власова для ионной компоненты плазмы. Для описания электронной компоненты плазмы используются уравнения магнитной гидродинамики. Уравнения Власова решаются на основе метода частиц в ячейках. Конечно-разностные схемы используются для решения системы уравнений Максвелла и динамики электронов. Проведена серия вычислительных экспериментов для исследования бесстолкновительных механизмов взаимодействия плазменных потоков и структуры генерируемых волн применительно к условиям лабораторных экспериментов на установке КИ-1 ИЛФ СОРАН [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-29-21025).

Список литературы

1. Тищенко В.Н., Захаров Ю.П., Шайхисламов И.Ф. и др. Торсионная Альфвеновская и медленная магнитозвуковая волны, создаваемые плазмой в магнитном поле. Письма ЖЭТФ. 2016. Т. 104, № 5-6. С. 303-305.

Численное исследование поглощения альфвеновской волны диссипативной плазмой с учетом различных видов излучения

М. Б. Гавриков, А. А. Таюрский

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Email: mbgavrikov@yandex.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10227

В работе рассмотрена модель затухания альфвеновской волны, падающей на границу с диссипативной плазмой. В качестве диссипаций учитывались магнитная вязкость, релаксация температур, гидродинамические вязкости и теплопроводности электронов и ионов, потери на излучение. В основу исследований положены уравнения двухжидкостной электромагнитной гидродинамики с полным учетом инерции электронов. Была предложена неявная разностная схема численного расчета плоских течений двухжидкостной плазмы. Выполненные исследования учитывали различные излучения, в том числе тормозное и фоторекомбинационные излучения. Выявлены такие факты, как выход на квазистационарный режим затухания альфвеновской волны в диссипативной плазме и эффект запираания альфвеновской волны в диссипативной плазме.

Список литературы

1. Гавриков М.Б., Таюрский А.А. Пространственное нелинейное затухание альфвеновских волн в диссипативной плазме // Математическое моделирование, 2013, т. 25, № 8, с. 65-79.

Моделирование слоистого течения жидкости в изменяющейся во времени области

В. А. Галкин¹, А. О. Дубовик²

¹ Научно-исследовательский институт системных исследований РАН

² Сургутский государственный университет

Email: val-gal@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10228

Рассматривается течение вязкой проводящей жидкости в области изменяющейся во времени. В рамках модели слоистого течения жидкости [1] исследуется изменение параметров жидкости в результате объемного воздействия магнитным полем и движения границы области течения. Представлено точное решение задачи, используемое для верификации результатов расчетов. Моделирование изменения структуры течения из-за воздействия различных типов при изменении во времени области течения связано с решением более общего класса задач – задач управления параметрами несжимаемой жидкости. Примером такой задачи для нефтегазовой отрасли является задача моделирования отклика месторождения на динамические воздействия с целью повышения нефтеотдачи, что является особо важным в связи с необходимостью создания отечественной технологии “цифровое месторождение” [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-01-00343, 18-47-860004).

Список литературы

1. Бетелин В.Б., Галкин В.А., Дубовик А.О. Об управляемом слоистом течении вязкой несжимаемой жидкости в модели МГД // ДАН. 2016. Т. 470. № 2. С. 150-152.

2. Бетелин В.Б., Галкин В.А. Задачи управления параметрами несжимаемой жидкости при изменении во времени геометрии течения // ДАН. М.: Изд-во Академиздатцентр "Наука". 2015. Т.463. №2. С. 149-151.

Гибридная численная модель формирования конфигурации магнитного поля в открытой ловушке

Е. А. Генрих, М. А. Боронина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: mesyats@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10229

Режим диамагнитного удержания плазмы, предложенный недавно в ИЯФ СО РАН [1], в случае успешной реализации дает возможность улучшения параметров плазмы в линейных магнитных системах для термоядерного синтеза. В этом режиме магнитное поле полностью вытесняется из занятой

плазмой области, что значительно увеличивает эффективное пробочное отношение ловушки и радикально увеличивает время удержания частиц и энергии. При термоядерных параметрах плазмы длина свободного пробега ионов велика по сравнению с длиной ловушки. Более того, ларморовский радиус ионов превышает ширину найденного в МГД-приближении переходного слоя "пузыря". Таким образом, для описания динамики ионов становятся существенными кинетические эффекты, а значит необходимы модели, основанные на уравнении Власова. Ввиду сложности системы для ее исследования требуется создание численных моделей, адекватных исследуемым процессам.

В докладе представлена разработанная двумерная осесимметричная гибридная численная модель формирования диамагнитного "пузыря" в пробочной ловушке, основанная на кинетическом приближении для ионной компоненты плазмы и МГД-приближении для электронов. На основе гибридной модели разработан двумерный алгоритм исследования динамики инжектированных частиц в поле ловушек. Движение ионной компоненты рассчитывается методом частиц в ячейке (PIC), и для расчета магнитного поля и электронной компоненты плазмы используются конечно-разностные схемы. На основе разработанного алгоритма создан программный код для изучения процессов формирования согласованной с движением плазмы конфигурации магнитного поля. Получены предварительные результаты зависимости динамики течения плазмы в диамагнитном режиме открытых ловушек от параметров плазмы и магнитной системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00314).

Список литературы

1. Beklemishev A.D. Diamagnetic "bubble" equilibria in linear traps // *Physics of Plasmas*. 2016. 23. 082506.

Алгоритмы построения квазиструктурированных сеточных моделей для программного комплекса на основе концепции БСМ

В. С. Горишунув^{1,2}, Л. А. Голубева^{1,2}, В. П. Ильин^{1,2}

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: basil.gorshunov@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10230

При численном решении задач математической физики важной частью процесса является этап построения сеточной модели. Для этого существует множество различных алгоритмов и методов, обладающих своими преимуществами и недостатками при применении к областям различной формы [1–4]. Например, некоторый алгоритм позволяет получить более качественную сетку и использовать меньше вычислительных и временных ресурсов при построении сеточной модели в областях прямоугольной формы, но может давать посредственный результат при применении к криволинейным областям либо быть вообще неприменимым к областям иной формы. Основной и наиболее точный метод оценки качества сетки предлагает последовательное уменьшение размера элементов до тех пор, пока какой-нибудь значимый результат, такой как, например, максимальное напряжение в определенной зоне, не сойдется к некоторому значению.

Если физическая задача подразумевает получение решения в сложной геометрической области, то это значительно сужает набор методов для построения сеточной модели для всей геометрической области. Решением такой проблемы может послужить декомпозиция исходной расчетной области на подобласти таким образом, что для каждой из подобластей можно подобрать алгоритм построения сеточной модели, которая бы обладала необходимыми качественными характеристиками. Таким образом, приходим к определению квазиструктурированной сеточной модели, которая будет описана в настоящей работе. Такой подход используется в Программном комплексе для решения 3-мерных задач математической физики на основе концепции БСМ [3, 5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00485)

Список литературы

1. Ильин В.П. Фундаментальные вопросы математического моделирования. // *Вестник Российской Академии Наук*, т. 86, № 4, 2016, 26–36.

2. Голубева Л.А., Ильин В.П., Козырев А.Н. О программных технологиях в геометрических аспектах математического моделирования. – Вестник НГУ, серия Информационные технологии, т. 10, N 2, 2012, 25-33.
3. Ильин В.П., Гладких В.С. Базовая система моделирования (БСМ): концепция, архитектура и методология "Современные проблемы математического моделирования, обработки изображений и параллельных вычислений 2017" (СПММОИиПВ-2017), Ростов-на-Дону издательство ДГТУ, 2017, 151-158.
4. <http://tflex.ru/about/publications/detail/index.php?ID=3846>
5. Голубева Л.А., Горшунов В.С., Ильин В.П., Эрдыниев Э.Б. Программный комплекс для решения 3-мерных задач математической физики на основе концепции БСМ. //Труды Международной конференции "Вычислительная математика и математическая геофизика" посвященная 90-летию со дня рождения академика А. С. Алексеева. 2018. С. 126-132.

Развитие мантийных плюмов и их взаимодействие с верхней границей при наличии фазовых переходов

О. О. Гусельникова¹, В. С. Бердников^{1,2}, В. А. Гришков²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе

Email: cersimbod@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10231

Для процессов развития мантийных плюмов характерны большие размеры и низкие скорости течения, поэтому актуальны задачи физического и численного моделирования. Исследованы процессы развития свободноконвективных струй в зависимости от высоты слоя жидкости [1] и мощности источника тепла при дискретном наборе чисел Прандтля. Решалась система уравнений свободной конвекции, аппроксимация которой выполнена методом конечных элементов. В области взаимодействия головной части струи с верхней границей учитывалась теплота фазового перехода. Для воды учтено свойство инверсной зависимости плотности. Изучена эволюция во времени полей скорости, температуры и тепловых потоков в зависимости от высоты слоя и мощности источника.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН (проект III.18.2.5., Гос. рег. АААА-А17-117022850021-3).

Список литературы

1. П.В. Антонов, В.А. Арбузов, В.С. Бердников, В.А. Гришков, О.Н. Новоселова, В.В. Тихоненко Экспериментальные и численные исследования нестационарных плавучих струй // Автометрия, 2012, т. 48, № 3, с. 90-100.

Расчет ионосферных электрических полей, замыкающих глобальную электрическую цепь

В. В. Денисенко

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Email: denisen@icm.krasn.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10232

Глобальная электрическая цепь порождена грозами, которые выносят заряды в ионосферу. Поскольку назад на землю заряды стекают по всей атмосфере, необходимо некоторое электрическое поле в ионосфере, которое обеспечивает существование токов из областей над грозами в удаленные части ионосферы. В рамках квазистационарной модели проводника, состоящего из атмосферы и ионосферы, построена математическая модель распределения электрического потенциала, который порождает эти ионосферные токи. Используется двумерная модель ионосферного проводника, основанная на высокой проводимости среды в направлении геомагнитного поля. Для решения возникающей при этом эллиптической краевой задачи с несимметричным оператором применен многосеточный вариационно-разностный метод, основанный на принципе минимума квадратичного функционала энергии [1]. В нашей модели за счет более адекватного описания ионосферы электрические поля получаются на порядок меньшими, чем это полагалось до настоящего времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-05-00195).

Список литературы

1. Денисенко В.В. Энергетические методы для эллиптических уравнений с несимметричными коэффициентами. Новосибирск: Издательство СО РАН, 1995.

Нелинейный закон Гука в теории упругости неоднородных и анизотропных тел

К. Б. Джакупов

Институт математики и математического моделирования МОН РК

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

Email: jakupovkb@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10233

Тезисы печатаются в авторской редакции

Непосредственно из физической связи с нелинейным законом Гука выводятся компоненты тензора напряжений твердого деформируемого тела и новые нелинейные уравнения теории упругости с несимметричным тензором напряжений, как частный случай получаются уравнения с линейным законом Гука. Гипотеза Ламе и уравнения Ламе не имеют физической связи с законом Гука, в этом заключается их фальшивость. Ламе взял за основу приближенную формулу неполного дифференциала и предположил в своей гипотезе пропорциональность компонент тензора напряжений симметричной половине данного неполного дифференциала смещения, причем антисимметричная половина дифференциала отбрасывается, следствием чего является фальшивая симметричность тензора напряжений Ламе. Новые нелинейные уравнения аппроксимируются явной схемой, с применением которой численно рассчитано упругое состояние плоского бруска при действующих на верхней грани нормальном и касательном напряжениях. Такая же схема применена для уравнений Ламе. Полученные картины распределения смещений наглядно демонстрируют различие решений сравниваемых систем уравнений упругости, а также несоответствие решения уравнений Ламе данному состоянию деформируемого тела. Теоретически и физически подтверждена фальшивость уравнений Ламе.

Список литературы

1. Тимошенко С.П.- Киев: Изд-во "Наукова Думка", 1972г. С.506.
2. Джакупов К.Б. Ликвидация фальсификаций и модернизация основ механики сплошной среды. –Алматы.: Типография "Гылым ордасы", 2018г. С.431.
3. Джакупов К.Б. Моделирование по закону Гука в теории упругости. несимметричность тензора напряжений // Известия НАН РК, серия физ.-мат., 6(310), ноябрь -декабрь 2016 г.с.96-103

Разработка схем аппроксимации по времени для трехмерных нестационарных геоэлектромагнитных полей, возбуждаемых контролируемым источником

П. А. Домников¹

¹Новосибирский государственный технический университет

Email: p_domnikov@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10234

Проводится математическое моделирование процесса становления электромагнитного поля, возбуждаемого незаземленной круговой петлей в трехмерной среде. Используется векторное дифференциальное уравнение параболического типа, содержащее rot-rot оператор. Для аппроксимации по пространству используется векторный метод конечных элементов [1-2]. Сравнивается вычислительная эффективность нескольких вариантов неявных схем аппроксимации по времени, среди которых двухслойная и трехслойная схемы с неравномерным шагом по времени во всей временной области и с равномерным шагом по времени на подынтервалах. Также сравнивается вычислительная эффективность прямых и итерационных методов решения конечноэлементных систем линейных алгебраических уравнений, образующихся на каждом временном слое.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (номер гранта МК-6811.2018.5).

Список литературы

1. Ю.Г. Соловейчик, М.Э. Рояк, М.Г. Персова. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 899 с.
2. Bossavit A. Computational Electromagnetism: Variational Formulations, Complementarity, Edge Elements. Academic Press, 1998, 352pp.

Гибридные численные модели ионно-звуковых ударных волн в многокомпонентной плазме

А. А. Ефимова, Г. И. Дудникова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: efimova@ssd.sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10235

Генерация продольных электростатических ионно-звуковых волн в плазме возможна только в том случае, когда температура электронов значительно превышает температуру ионов [1]. Подобные условия являются типичными для плазмы солнечного ветра и часто реализуются в лабораторных экспериментах как по нагреву и удержанию плазмы, так и по ускорению частиц при взаимодействии лазерного импульса с плазмой [2]. В реальности в плазме обычно присутствуют ионы различных сортов. Многокомпонентный состав ионов приводит к существенному изменению структуры ударной волны и механизмов ускорения заряженных частиц во фронте волны. В данной работе представлены одномерные гибридные численные модели генерации ионно-звуковых ударных волн в многокомпонентной плазме, основанные на кинетическом приближении только для ионной компоненты плазмы. Для решения уравнений Власова используется метод частиц-в-ячейках. Исследована эволюция локализованного возмущения плотности плазмы произвольной амплитуды в зависимости от типа и процентного содержания ионных компонент и функции распределения электронов. Получены оценки применимости гибридных моделей для описания закритических режимов генерируемых ударных волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-29-21025).

Список литературы

1. Сагдеев Р. З. Коллективные процессы и ударные волны в разреженной плазме. / Вопросы теории плазмы. Под редакцией М. А. Леонтовича. Москва: Атомиздат, 1964. — Выпуск 4., С. 20-80.
2. Malkov M. A., Sagdeev R. Z., Dudnikova, G. I., et al. Ion-acoustic shocks with self-regulated ion reflection and acceleration // Physics of Plasmas, 2016. — Volume 23, Issue 4, P. 043105.

Boundary element method in 3D problems of mathematical physics

V. Ya. Ivanov

Institute of Computational Technologies SB RAS

Email: vivanov.48@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10236

Numerical algorithms of the boundary problems described by Laplace, Poisson, Helmholtz and Maxwell equations based on the integral representations are described. Combinations of single-layer, double-layer and volume potentials are used to represent the solution. Analytical technique of singularity extraction is used to obtain precision and stable numerical solutions for a potential and its high-order derivatives [1]. The numerous examples of test problems and applications to the precision problems of electron optics, accelerator physics and plasma-beam interaction are demonstrated [2-7]. The original algorithms can be used for the problems of analysis, optimization and synthesis of physical electronic devices [8]. Decomposition algorithms to solve complex three-dimensional problems are presented [9].

References

1. Ivanov V, Kriklivyy V. Numerical algorithms for boundary problems with disturbed axial symmetry. NIM A. 2004; 519: 96-116.
2. Ivanov V, Teryaev V, Karliner M, Yakovlev V. Application of the method of boundary integral equations for the calculation of high-frequency resonators. Zhurnal Vychislitelnoi Matematiki I Matematicheskoi Fiziki. 1986; 12 :1900-1905. In Russian.

3. Ivanov V. Green's Function Technique in Forming of Intensive Beams. *Int. J. of Modern Physics A*, 2009; 24(5): 869-878.
4. Ivanov V. Analytical Technique in the Boundary Element Method for 3D Problems of Electron Optics. *Microscopy & Microanalysis*. 2015; 21(4): 236-241.
5. Ivanov V. The method of analysis of three-dimensional non stationary flows of charged particle. In: *Numerical analysis*. In: *Proc. Inst. of Mathematics SB RAS. Novosibirsk, Nauka*. 1989; 15: 172-187. In Russian.
6. Ivanov V, Krasnykh A. Analytical computations in solution of 3D problems of physical electronics by BEM. In: *Proceedings of the ACES-2002, March 18-22, 2002, Monterey, CA*.
7. Ivanov V, Krasnykh A, Scheitrum G, Sprehn D, Ives L, Miram G. 3D modeling activity for novel high power electron guns at SLAC. In: *Proceedings of the Particle Accelerator Conference (PAC 03), Portland, Oregon, 12-16 May 2003*: 3312-3314.
8. V. Ivanov. *Computational methods, optimization and synthesis in electron optics*. - Hmbg: Palmarium Academic Publishing, 2016.-525 pp.
9. Ivanov V. Decomposition method for complex 3D problems in electron optics. *J. of Physical Science & Applications*. 2015; 5(2): 96-100.

Micrichannel amplifier behavior in strong magnetic field

V. Ya. Ivanov

Institute of Computational Technologies SB RAS

Email: vivanov.48@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10237

Microchannel plate photomultiplier tubes (MCP PMT) can work in a high magnetic field and have an excellent time resolution. The influence of the magnetic fields up to 4.5 T on the parameters of several MCP PMTs of different designs was investigated. PMTs with two, three and four MCPs were simulated and tested in magnetic fields. Description of mathematical models for fast photo detectors based on microchannel plates (MCP) in three-dimensional formulation is given [1-6]. The models include calculations of photoelectron collection efficiency in the gap photo cathode – MCP, gain factor of secondary electron cascades in the channels, the particle scattering in the gaps between the plates, taking into account the fringe fields and strong external magnetic fields. Comparisons of numerical and experimental data are given [7-11]. The dependencies of major device parameters vs. of applied voltage, pore size, and magnetic field magnitude have been studied. Dependencies of the time resolution, the gain and the photoelectron collection efficiency on the magnetic field are presented.

This work was (partially) supported by the Russian Science Foundation (Project no.16-12-10221).

References

1. B.Adams, K.Attenkofer, H.Frish, Z.Insepov, V.Ivanov et al. A Brief Technical History of the Large-Area Picosecond Photodetector (LAPPD) Collaboration. 2016.- 45 pp.
2. V.Ivanov et al. Numerical simulations of fast photo detectors based on microchannel plates //12th International Conf. "Instrumentation for Colliding Beam Physics" INSTR-2017, February 27 – March 3, 2017, Novosibirsk..
3. V.Ivanov. The review of mathematical models for three-dimensional problems of electron optics. *Int. Conf. on Atomic and Nuclear Physics*, July 23-25, 2018, Osaka, Japan.
4. V.Ivanov. *Computer design of microchannel amplifiers*. Scholars' Press, 2018, 220 pp.
5. V.Ivanov.. Taking into account the fringe fields in microchannel amplifier design//*Open Academic J. of Advanced Science and Technology*, 1, N1 (2017). P.42-44.
6. V.Ivanov., I. Turchanovsky. Influence of the fringe fields in microchannel amplifier design// *American J. of Modern Physics*, 7, 1(2017) pp.31-33.
7. V. Ivanov, A. Barnyakov, M. Barnyakov, V. Bobrovnikov, I. Ovtin. Numerical simulations of fast photo detectors based on microchannel plates // *J of Instrumentation*, 12 (2017) P09024.
8. A. Barnyakov et al. On measurements of photoelectron collection efficiency in MCP based PMTs // *J of Instrumentation*, 12 (2017) P09036.
9. V.Ivanov, A.Barnyakov, M.Barnyakov. Calibration procedure in microchannel amplifiers design, *NIM A* 903 (2018) 170-174.
10. V.Ivanov, A.Barnyakov, M.Barnyakov, V.Blinov, V.Bobrovsky, I.Ovtin. Methodology of computer design of photodetectors based on microchannel plates. *Int. Conf. on Atomic and Nuclear Physics*, July 23-25, 2018, Osaka, Japan.
11. M. Barnyakov, A. Barnyakov, V. Blinov, V. Bobrovnikov, A. Bykov; V. Ivanov, A. Katcin, E. Mamoshkina, I. Ovtin, K. Petrukhin, S. Pivovarov, V. Prisekin, E. Pyata. Development of a picosecond MCP based particle detector, *NIM A* (2018) 01 057.

Полоидально–тороидальное разложение соленоидальных векторных полей в шаре

С. Г. Казанцев¹, В. Б. Кардаков²

¹*Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН*

²*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет*

Email: kazan@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10238

В настоящей работе предложена полиномиальная система тороидальных и полоидальных полей в шаре [1], которую можно использовать, в частности, для представления геомагнитного поля в ядре Земли. В работе используется, построенный ранее в [2], ортогональный полиномиальный базис основного пространства L_2 , который соответствует разложению Гельмгольца и подразделяется на три части: потенциальную, гармоническую и соленоидальную. Показано, что разложение соленоидального векторного поля по этому базису является полоидально–тороидальным разложением. Построение других полоидально–тороидальных базисов в шаре предполагает использование различных спектральных задач, связанных с векторным лапласианом [3, 4].

Список литературы

1. Моффат Г. Возбуждение магнитного поля в проводящей среде. М.: Мир, 1980.
2. Derevtsov E. Yu., Kazantsev S. G., Schuster Th. Polynomial bases for subspaces of vector fields in the unit ball. Method of ridge functions//J. Inverse and Ill-Posed Problem. 2007. V. 15, № 1. P. 19–55.
3. Водинчар Г. М., Крутьева Л. К. Базисные системы для геомагнитного поля//Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2010, выпуск 1(1), С. 24–30.
4. Rummel B. The eigenfunctions of the Stokes operator in the open unit ball and in the open spherical annulus//The 8th Asian Computational Fluid Dynamics Conf. Hong Kong, 10-14 January, 2010. ACFD0163-T001-A-001-3.

Численное моделирование радиационно-конвективной теплоотдачи от цилиндрических и плоских тел

С. А. Кислицын, К. А. Митин, В. С. Бердников

Институт теплофизики СО РАН

Email: mitin@ngs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10239

Численно методом конечных элементов исследована радиационно-конвективная теплоотдача от плоских и цилиндрических тел. Для учета радиационного теплообмена использован метод на основе угловых коэффициентов. При фиксированной геометрии расчетной области, исследованы эволюция структуры течения и сопряженный конвективный теплообмен в режимах теплопроводности, термогравитационной конвекции и радиационно-конвективного теплообмена с ростом перепада температуры. Исследованы относительные роли теплопроводности, радиационной теплоотдачи и конвективного теплообмена. Показано, что в исследованном диапазоне перепадов температуры роль конвективного теплообмена остается существенной. Радиационная теплоотдача понижает температуру поверхности тела и снижает перепад температуры между образующими тела и стенками расчетной области. В результате снижается интенсивность конвективного движения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН (проект III.18.2.5., Гос. рег. AAAA-A17-117022850021-3).

О применении оператора Лизеганга к моделированию тока в плоском диоде

М. Е. Коржова¹, Б. А. Марков², А. С. Фадеева¹

¹*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)*

²*Челябинское высшее военное авиационное училище штурманов*

Email: korzhovame@susu.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10240

В работе применен оператор Лизеганга к решению задачи о пучке электронов в полуограниченной области. Пучок электронов вытягивается из катода, область решения закрыта мембраной, проницаемой для электрического поля, но не для электронов.

Полуограниченная задача для электрического поля сведена к ограниченной с помощью условия типа условия излучения [1].

Движение электронов рассмотрено с помощью квазилинейных уравнений [2], решение выписано в виде неявных функций.

Для введения оператора Лизеганга [3] область решения разбита на участки с подвижными границами, которые определяются условием необратимости неявного решения квазилинейного уравнения.

Список литературы

1. Майков А.Р., Поезд А.Д., Свешников А.Г., Якунин С.А. Разностные схемы для уравнений Максвелла в неограниченной области. // ЖВМиМФ. 1989. Т. 29. № 2. С. 239-250.
2. Гринберг Г.А. Избранные вопросы математической теории электрических магнитных явлений. М.-Л. 1948.
3. Ильин А.М., Марков Б.А. Нелинейное уравнение диффузии и кольца Лизеганга // Доклады РАН. 2011. Т. 440. № 2. С. 164-167.

Исследование погрешности конечномерной аппроксимации задачи баланса электронов высокочастотного индукционного разряда

Д. М. Коростелева¹, С. И. Соловьев², П. С. Соловьев²

¹Казанский государственный энергетический университет

²Казанский (Приволжский) федеральный университет

Email: diana.korosteleva.kpfu@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10241

Моделирование баланса заряженных частиц высокочастотного индукционного разряда пониженного давления сводится к нахождению минимального собственного значения, отвечающего положительной собственной функции, дифференциальной задачи на собственные значения второго порядка с коэффициентами, нелинейно зависящими от спектрального параметра. Задача аппроксимируется сеточной схемой метода конечных элементов с лагранжевыми конечными элементами произвольного порядка с численным интегрированием. Исследована сходимость и погрешность приближенных решений задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта №18-41-160029. Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (коды проектов 18-41-160014, 19-08-01184).

Математическое моделирование взрыва сверхновой типа Ia на суперЭВМ

И. М. Куликов, И. Г. Черных, А. Ф. Сапетина, Д. А. Караваев, Е. А. Берендеев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: kulikov@ssd.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10242

В докладе будут представлены результаты математического моделирования процесса взрыва сверхновой типа Ia на массивно-параллельных суперкомпьютерах с использованием технологии адаптивных вложенных сеток. Построена гидродинамическая модель белых карликов, замкнутая звездным уравнением состояния и дополненная уравнением Пуассона для гравитационного потенциала. В модели учтено ядерное горение углерода, для которого построено аналитическое решение. Для решения используется многоуровневая организация вычислений на основе вложенных сеток. На основе метода Годунова, схемы Русанова и кусочно-параболического метода на локальном шаблоне построен новый численный метод высокого порядка точности, адаптированный для организации вычислений на вложенных сетках. Параллельная реализация основана на идее распределенных вычислений, где на архитектуре с общей памятью происходит счет гидродинамической эволюции белых карликов (базовые вычисления), при достижении критических значений температуры и плотности происходит запуск новой задачи на архитектуре с распределенной памятью, в которой моделируется развитие гидродинамической турбулентности, приводящей к сверхзвуковому ядерному горению углерода (спутниковые вычисления). Проведено моделирование взрыва сверхновых типа Ia на основе сценариев слияния двух белых карликов и турбулизации отдельного белого карлика. В основе обоих сценариев лежит достижение критических температур

и плотностей на периферии звезды с последующим ядерным горением углерода – источником взрыва звезды как сверхновая типа Ia (SNIa).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 18-11-00044).

Моделирование смещений в окрестности трещин, образованных под действием тепловых нагрузок

А. Г. Максимова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: maksimova@oapmg.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10243

В настоящее время ведутся работы по созданию международного экспериментального термоядерного реактора (ITER). Во время работы реактора его стенки будут подвержены постоянным нагрузкам, при этом наиболее сильное влияние оказывают импульсные нагрузки. Под их воздействием материал стенок нагревается и расширяется, что приводит к образованию трещин. Данная работа посвящена расчету смещений вокруг трещин. Построена двумерная модель для нахождения двухкомпонентного вектора, соответствующего смещениям в материале. За основу расчетов взято уравнение Ламе в терминах коэффициента Пуассона. Для дискретной реализации была выбрана схема стабилизирующей поправки, производящая расчет в два этапа. Модель предполагает размещение трещины на границе расчетной области.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00303).

Interference head wave. Nonstationary model problem

A. A. Matskovskiy¹, G. L. Zavorokhin²

¹St. Petersburg State University

²Steklov Mathematical Institute (PDMI RAS)

Email: androbasrm@rambler.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10244

Statement of the nonstationary problem [1] in diffraction of waves from a point source at the rectilinear interface of two acoustic media with positive effective curvature is given [2]. We propose a method for constructing exact solutions in the integral representation of the problem stated. A method for studying set of solutions for the dispersion diagram of the considered "waveguide" medium is proposed.

The work is supported by RFBR 18-31-00481.

References

1. Zavorokhin G. L., Matskovskiy A. A. Nonstationary problem in diffraction of waves from a point source at the interface of two half-planes with positive effective curvature, in preparation.
2. V. S. Buldyrev, "Short-wave interference in diffraction by a nonuniform cylinder of arbitrary cross section," Radiophys. Quantum Electron. **10**, 383–389 (1967).

Нестационарная задача дифракции волн точечного источника на границе раздела двух полуплоскостей с положительной эффективной кривизной

А. А. Мацковский¹, Г. Л. Заворохин²

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В. А. Стеклова РАН

Email: androbasrm@rambler.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10245

Дана постановка нестационарной задачи [1] дифракции волн точечного источника на прямолинейной границе раздела двух акустических сред с положительной эффективной кривизной [2]. Это эталонная задача, моделирующая волновые процессы, возникающие вблизи дна океана в приближении модели "жидкого дна". Применяя теорию функций комплексного переменного, мы предложили метод на-

хождения точного решения исследуемого класса задач. Найдено интегральное представление точного решения поставленной эталонной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-31-00481).

Список литературы

1. Заворохин Г. Л., Мацковский А. А. Нестационарная задача дифракции волн точечного источника на границе раздела двух полуплоскостей с положительной эффективной кривизной, in preparation.
2. В. С. Булдырев. Интерференция коротких волн в задаче дифракции на неоднородном цилиндре произвольного сечения, Изв. ВУЗ. Радиофизика. 1967. 10:5, С. 699–711.

On symmetric wedge mode of an elastic solid

A. I. Nazarov¹, S. A. Nazarov¹, G. L. Zavorokhin²

¹*St. Petersburg State University*

²*Steklov Mathematical Institute (PDMI RAS)*

Email: al.il.nazarov@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10246

The existence of a symmetric mode in an elastic solid wedge for all admissible values of the Poisson ratio and arbitrary openings close to flat angle has been proven. A radically new phenomenon – the presence of a wave localized in a vicinity of the edge of a wedge with an opening larger than a flat angle – has been found [1].

References

1. G.L. Zavorokhin, A.I. Nazarov, S.A. Nazarov, The Symmetric Mode of an Elastic Solid Wedge with the Opening Close to a Flat Angle, Doklady Physics, 63. (2018), N12, 526–529.

Цифровой керн: разработка численного метода восстановления событий акустической эмиссии для реальных образцов керна

Г. В. Решетова¹, А. В. Анчугов²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*АО "Геология"*

Email: kgv@nmsf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10247

Одним из способов исследования свойств крнвого материала в лабораторных условиях, является проведение физического эксперимента, при котором образец горной породы подвергается различным механическим воздействиям. В результате такого воздействия, в образце возникает напряженно-деформированное состояние, сопровождаемое деформацией и частичным (или полным) разрушением. Одним из индикаторов изменяющегося во времени поля упругих напряжений в образце являются сигналы акустической эмиссии (АЭ) [1-4], возникающие за счет схлопывания микропор, образования трещин и плоскостей разлома и др. С помощью измерительной системы есть возможность записывать сигналы АЭ и использовать эту ценную информацию для восстановления произошедших в образце событий. Цель моделирования, которую мы перед собой ставим, состоит в создании программного продукта, нацеленного на восстановление событий АЭ по записям реального физического эксперимента. Были проведены пробные расчеты для модели среды, описываемой системой уравнений динамической теории упругости в полярной системе координат. Для решения обратной задачи применялся метод Зеркального Обращения Времени. В русскоязычных публикациях еще нет устоявшегося названия этого подхода, в англоязычной литературе он называется Time Reversal Mirror (TRM) [5-7]. Этот подход позволил локализовать в пространстве и времени источники возбуждения акустических волн.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00347 А.

Список литературы

1. Kaiser J. Untersuchung über das Auftreten von Geräuschen beim Zugversuch // Dr.-Ing. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen und Elektrotechnik der Technischen Universität München (TUM); 15.2.1950.

2. Шайко-Шайковский А. Г., Богорош А. Т., Воронов С. А., Марченко К. В. Обзор применения акустической эмиссии для выявления микро- и нанодфектов // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 1 (13). – С. 47-57.
3. Кретов Е. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении. М.: СВЕН, 2014. – 312 с.
4. Иванов В.И., Барат В.А. Акустико-эмиссионная диагностика. М.: Спектр, 2017. – 362 с.
5. Fink M. Acoustic Time-Reversal Mirrors // Topics Appl. Phys. – 2002. – 84. –P. 17-43.
6. José M. F. M., Yuanwei J. Detection by Time Reversal: Single Antenna // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2007. – 55(1). – P. 187-201.
7. Parvasi, S. M., Ho, Siu Chun M., Kong, Q., Mousavi, R., Song, G. Real time bolt preload monitoring using piezoceramic transducers and time reversal technique – a numerical study with experimental verification // Smart Materials and Structures. -2016. – 25(8).

Трехмерное моделирование разломных структур в Курайской впадине Горного Алтая по данным метода становления электромагнитного поля

А. М. Санчаа, Н. Н. Неведрова, Н. В. Штабель

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

Email: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10248

В работе представлены результаты трехмерного моделирования разломной структуры в южной части Курайской впадины в зоне сочленения юго-западного и Ештыкельского прогибов. На этом участке выполнены электромагнитные зондирования становлением поля с соосными квадратными петлями, и по результатам интерпретации полевых данных в виде горизонтально-слоистой модели получено крайне сложное разломно-блоковое глубинное строение. Сопоставление геоэлектрических и сейсмологических данных показало совпадение выделенных предполагаемых разломов с зонами распределения эпицентров землетрясений. Для верификации и уточнения структурных особенностей было выполнено трехмерное моделирование. Стартовые 3D модели формировались из набора 7-слойных геоэлектрических моделей, полученных на первом этапе интерпретации. Моделирование сигналов ЭДС в приемных петлях выполнено с помощью программы ImpSound3D, которая позволяет рассчитать электрическое поле для трехмерных моделей среды на базе векторного метода конечных элементов во временной области на тетраэдральных сетках. В ходе моделирования изменялись размеры выделенных блоков, размещение разломных структур. В результате сопоставления полевых и модельных данных 3С была выбрана оптимальная модель.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0015.

Численное моделирование волновых процессов в геологических средах с газовыми карманами в зоне Арктического шельфа с помощью сеточно-характеристического метода

П. В. Стогний¹, Н. И. Хохлов^{1,2}, И. Б. Петров^{1,2}

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

²Научно-исследовательский институт системных исследований РАН

Email: stognii@phystech.edu

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10249

Газовые карманы — широко распространенные в Северных морях залежи газа с аномально высоким пластовым давлением [1]. В случае вскрытия таких залежей, газ начинает подниматься к поверхности воды и грозит выбросом в атмосферу. С целью прогнозирования распространения газа с течением времени, проводится численное моделирование территории с газовыми залежами, что позволяет снизить стоимость проведения геологоразведочных работ по мониторингу данной территории.

В работе представлены результаты численного моделирования газонасыщенных сред в течение четырех лет. Моделирование проводилось с помощью сеточно-характеристического метода [2] на основе схемы Русанова для трехмерного случая. Представлены волновые картины [3] сейсмических откликов от газонасыщенных сред, а также сейсмограммы изменений сейсмических отражений от различных геологических слоев с течением времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00366 .

Список литературы

1. Judd A., Hovland M. Seabed Fluid Flow. The Impact on Geology, Biology, and the Marine Environment. Cambridge, 2007.
2. Магомедов К.М., Холодов А.С. Сеточно-характеристические численные методы, М.:Наука, 1988.
3. Фаворская А. В., Петров И.Б. Исследование особенностей трещиноватых зон путем полноволнового численного моделирования // Матем. моделирование. 2018. Т. 30, № 11. С. 105–126.

К исследованию волновых и деформационных процессов в грунтовой среде при наличии поверхностных и заглубленных источников

И. С. Телятников¹, М. С. Капустин², А. В. Павлова², С. Е. Рубцов²

¹Южный научный центр Российской академии наук

²Кубанский государственный университет

Email: ilux_t@list.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10250

Проблемы изучения динамики геологических материалов при вибрационных воздействиях различной природы имеют большое значение для разнообразных направлений хозяйственной деятельности. Цель работы – исследование волнового и деформационного полей, возникающих в упругом основании, возбуждаемом поверхностной нагрузкой, анкерно сцепленной с грунтом, изучение влияния характеристик заданных нагрузок на поверхности и вертикально ориентированных включениях на свойства возбуждаемых полей.

Рассмотрена задача о вибрации упругого основания под действием вертикально ориентированных внутренних нагрузок и поверхностной плиты в осесимметричной постановке [1, 2]. Проведено исследование влияния на свойства создаваемого волнового поля и отдельные характеристики излучаемых волн анкерного сцепления виброплатформы с грунтом. Полученные результаты анализа характеристик оттока волновой энергии из зоны нагружения могут найти приложения в геофизике, геологии и сейсмологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 18-01-00124).

Список литературы

1. Капустин М.С. К моделям расчета напряженно-деформированного состояния комплекса основание–фундамент при динамических воздействиях / М.С. Капустин, А.В. Павлова, С.Е. Рубцов, И.С. Телятников // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2013. № 4. С. 33–35.
2. Kapustin M. Model of foundation-base system under vibration load / M. Kapustin, A. Pavlova, S. Rubtsov, I. Telyatnikov // Communications in Computer and Information Science (CCIS). 2014. V. 487. P. 168–173.

Влияние самоорганизации поверхностных зарядов на квантовый микроконтакт

О. А. Ткаченко¹, Д. Г. Бакшеев², О. П. Сушков³, В. А. Ткаченко^{1,2}

¹Институт физики полупроводников СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³University of New South Wales, Австралия

Email: vtkach@isp.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10251

В настоящее время исследуются микроконтакты, создаваемые в затворно-индуцированном двумерном газе электронов, либо дырок [1]. При близком расположении двумерного газа к поверхности полупроводника и к затвору (30, 60 нм) необходимо учитывать влияние беспорядочно расположенных на границе полупроводника с диэлектриком локализованных зарядов. Расчетom найдено, что при полном беспорядке в координатах зарядов квантование кондактанса достаточно длинных контактов (>400 нм) искажается резонансами, которые возникают из-за когерентного рассеяния носителей на флуктуациях потенциала. Самоорганизация поверхностных зарядов подавляет эти флуктуации даже при большой эффективной температуре беспорядка (500 К). Проведено сравнение расчетов и измерений кондактанса дырочных микроконтактов длиной 100 и 600 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 19-72-30023).

Список литературы

1. Chen J. C. H., Klochian O., Micoliich A. P., Das Gupta K., Sfigakis F., Ritchie D. A., Trunov K., Reuter D., Wieck, A. D., Hamilton A. R. Fabrication and characterisation of gallium arsenide ambipolar quantum point contacts// Appl. Phys. Lett. 2015. V.106. P.183504.

Исследование нелинейных колебаний в микрогенераторе тактовой частоты с различными вариантами импульсного электростатического воздействия.

С. И. Фадеев

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

Email: fadeev@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10252

Рассматривается математическая модель микрогенератора тактовой частоты, в котором возбуждение колебаний подвижного элемента происходит в среде с сопротивлением под воздействием последовательности электростатических импульсов постоянной длительности. При этом моменты воздействия импульсов согласуются с колебаниями. Модель представлена задачей Коши для дифференциального уравнения второго порядка с разрывной правой частью, описывающей импульсное воздействие с различными вариантами согласования.

При исследовании периодических колебаний используется представление периодического решения задачи Коши в виде решения краевой задачи для уравнения с разрывной правой частью. Согласование импульсного воздействия с колебаниями потребовало преобразования, после которого краевая задача формулируется для системы из пяти дифференциальных уравнений первого порядка с непрерывными правыми частями, что позволяет применить при численном исследовании метод продолжения решения по параметру. Этим способом определена область в пространстве параметров модели с устойчивыми к внешним возмущениям предельными циклами. Полученные результаты могут быть полезны для оценок параметров приборов при разработке микрогенераторов указанного типа.

Автор выражает благодарность Э. Г. Косцову [1], который предложил рассмотреть модель микрогенератора по аналогии с моделью простейшей схемы часов со спусковым ударным механизмом [2], а также В. В. Когаю, принимавшему участие в проведении численных экспериментов с использованием метода продолжения решения по параметру [3].

Список литературы

1. Э.Г. Косцов, С.И. Фадеев. Новые электромеханические резонаторы для гигагерцевых частот // Автометрия. 2013, Т.10, No 2, стр.115-122.
2. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. Москва. ФМ.1959 г. 916 с.
3. Фадеев С.И., Когай В.В., Линейные и нелинейные краевые задачи для систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Учебное пособие. Новосиб. гос. ун-т; Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018, – 290 с.

Моделирование многофизических процессов в нефтегазоносных пластах

Э. П. Шурина^{1,2}, М. И. Эпов², Н. Б. Иткина¹, Е. И. Штанько², Д. В. Добролюбова², А. Ю. Кутищева^{1,2}, С. И. Марков^{1,2}, Д. А. Архипов²

¹Новосибирский государственный технический университет

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

Email: shurina@online.sinor.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10253

Основной принцип математического моделирования многофизических процессов в многомасштабных (геометрически и физически) областях – это использование современного аппарата численных методов (неконформные, многомасштабные конечноэлементные методы, многоуровневые решатели). Реализация данного принципа при решении задачи просачивания с учетом деформации пористой среды и движения жидкости в трещинах подтверждает адекватность предлагаемого подхода и возможность применения данной идеологии при решении многофизических проблем в многомасштабных областях. Особенно востребован современный аппарат математического моделирования при решении прикладных задач в области геофизики: разведки газогидратных месторождений, оценки влияния антропогенных и

техногенных воздействий на криолитозону, применение технологии гидроразрыва. Все перечисленные задачи относятся к многофизичным (теплообмен, движение жидкости, упругая деформация, электромагнитное воздействие) с фазовыми превращениями и происходят в гетерогенных сложнопостроенных областях с микровключениями с контрастными физическими характеристиками. В докладе рассматриваются оригинальные вычислительные схемы и технологии адаптированные под класс междисциплинарных задач: 1) неконформные конечноэлементные методы позволяют использовать несогласованные сеточные разбиения, что особенно актуально для задач с фазовыми превращениями, и для данного класса методов легко реализуется процедура *p-h refinement* (выбор различных базисов для конечных элементов и использование процедуры локальной адаптации сеточных разбиений); 2) разработанные специальные решатели дают возможность уменьшения времени решения задачи в 2-5 раз; 3) оригинальные процедуры численной гомогенизации позволяют производить вычисления в гомогенизированной среде с минимальной погрешностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (тема 615, ОФИ-М, код проекта 16-29-15094), Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН (тема КП-32.3); Программы президиума РАН № 27; Проектов ФНИ (№ 0331-2019-0015 и 0266-2019-0007).

Секция 7. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ

Моделирование динамики газосодержания нефти в процессе разработки месторождений

А. В. Базовкин¹

¹Общество с ограниченной ответственностью "Самарский научно-исследовательский и проектный институт нефтедобычи"

Email: BazovkinAV@samnipineft.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10254

При разработке нефтяных месторождений дополнительно добываемым сырьем является попутный нефтяной газ (ПНГ), содержащий легкие углеводороды, а также азот и иные примеси. В зависимости от термобарических условий в пласте и компонентного состава нефти начальное газосодержание может варьироваться в широком диапазоне – от 0 до 1100 м³/т. Иногда в процессе разработки нефтяных месторождений пластовое давление снижается ниже давления насыщения нефти, что приводит к выделению газа в пласте. С ростом газонасыщенности пласта начинается фильтрация газа к забоям добывающих скважин, что может вызвать резкий рост добычи ПНГ. Данный эффект является нежелательным с точки зрения разработки нефтяных месторождений как по причине ускоренного снижения пластового давления, так и по причине увеличения вязкости дегазированной нефти и снижения ее подвижности. Поэтому задача моделирования динамики газосодержания нефти представляет интерес для нефтяной промышленности.

Для решения данной задачи предлагается подход, основанный на моделировании расхода ПНГ на узлах учета газа, расположенных на объектах подготовки нефти. При этом для пластов, разрабатываемых при давлении ниже давления насыщения, динамику добычи газа предлагается рассчитывать на основе 0-мерных гидродинамических моделей с учетом отношения подвижностей нефтяной и газовой фаз.

Определение изменения пространственно-временного состояния техногенных систем методами численного моделирования

Т. Ю. Бугакова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий

E-mail: bugakova-tu@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10255

Источниками аварий и катастроф являются геодинамические процессы и неправильная эксплуатация человеко-машинных систем, состоящих из оборудования, компьютеров, программных средств и действий персонала. В совокупности геодинамические и техногенные системы представляют собой сложные системы, главной проблемой обеспечения безопасности которых, является невозможность полностью исключить риск возникновения чрезвычайных ситуаций в таких системах и необходимость свести этот риск к минимуму.

Для контроля пространственно-временного состояния (ПВС) техногенных систем необходимы данные об их геометрических свойствах, как функциях времени. К ним относятся форма, размеры, положение в пространстве и другие свойства, характеризующие взаимное расположение множества элементов системы относительно внешней среды и относительно друг друга. Исходными данными для моделирования служат временные ряды координат множества контрольных точек исследуемой системы, полученные по результатам повторных циклов геодезических измерений. Выполнить непосредственное измерение таких свойств геодезическими средствами чаще всего не удастся и поэтому для их определения в работе применяются методы численного моделирования [1,2].

Список литературы

1. Бугакова Т.Ю., Вовк И.Г. Математическое моделирование пространственно-временного состояния систем по геометрическим свойствам. VIII Междур. науч. конгр., 10-20 апреля 2012. Новосибирск, Междун. научн. конф. "Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия", сб. материалов в 3 т. Т.3. – Новосибирск: СГГА, 2012, С. 26-31.

2. Бугакова Т.Ю. Моделирование вращательного движения техногенных систем по геодезическим данным. Известия вузов "Геодезия и аэрофотосъемка" Москва: МГУГиК, 2015, №5/С, С. 242-246.

Determination of the optimal inversion parameters: the case study of the Illapel Tsunami 2015 source recovery by the r-solution method.

T. A. Voronina

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Email: vta@omzg.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10256

This study highlights the influence of the model parametrization, including the sea level recorders localization and source discretization, on the tsunami source inversion. Modeling the initial water displacement in the tsunami source area is based on the least square inversion and a truncated singular value decomposition (SVD) approach that makes possible to overcome the instability of a numerical solution and to obtain an acceptable result in spite of the ill-posedness of the problem. As a result of the numerical process conducted, the r-solution is obtained as a projection of the exact solution onto a subspace that is a linear hull of the r first right singular vectors of the direct problem operator. The subspace in question is chosen by analyzing the properties of a singular spectrum, which, in turn, is determined by the observation system and bathymetry.

This paper discusses the importance of the consideration of the parameter r in conjunction with the source spatial discretization. The results obtained allow one to conclude that the optimal choice of such parameters as the spatial discretization of a source, the arrangement of the sea level recorders and the parameter r leads to a profound improvement in recovering the initial tsunami waveform. Moreover, the algorithm provides a possibility to simultaneously restore the tsunami source and calculate tsunami waveforms even at the points where there are no observational data.

The methodology proposed has been verified by the numerical simulation of the 16 September 2015 Chile tsunami source.

Поляризационный метод в локации движущихся объектов

В. И. Добродородный, А. В. Сафонов

Тюменское высшее военно-инженерное командное училище им. А. И. Прошлякова

Email: dobrodorny@bk.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10257

Проблема обнаружения движущихся объектов по земной поверхности с помощью волновых полей разной физической природы имеет фундаментальное теоретическое, так и прикладное значение. В работе рассматривается задача обнаружения движущегося объекта по пространственно-временным характеристикам геофизических волновых полей поляризационным методом.

Реализация этого метода связана с применением пространственной системы наблюдений, состоящей из трехкомпонентных датчиков, и проведения интерпретации результатов наблюдений. Измеряемые такой системой поляризационные характеристики сейсмоакустических волн используются для определения локационных параметров движущихся объектов. Исследование авторов связано с поиском эффективных методов пассивной геолокации в отличие от таких, как метод пассивного эксперимента с обработкой в частотной области [1]. Так же следует отметить, что основные результаты исследований спектрального и поляризационного анализа направлены на изучение сложнопостроенных сред [2] в сейсмической разведке полезных ископаемых.

Список литературы

1. Чжань Ч. Х., Робинсон Э. А., Сильвия М. Т., Веглейн А. Б., Рич Э., Янг Р. А., Хилл Дж. Дж., Хейген Д.К., Кемерейт Р.К., Саттон А.Ф., Карлтон П. Н., Фидлер Р.У., Буа П., Андерсон К.Р., Ши-Хо Лю, Фу К.С. Анализ и выделение сейсмических сигналов Пер. с англ./ Под ред. Чжаня. – М.: Мир, 1986. – 240 с., ил.
2. Гальперин Е. И. Поляризационный метод сейсмических исследований. М.: НЕДРА, 1977.

О моделях сейсмогенерирующих геологических структур

М. В. Зарецкая¹, В. В. Лозовой²

¹Кубанский государственный университет

²Южный научный центр РАН

Email: zarmv@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10258

Изучение причин возникновения сильных сейсмических событий на территории Краснодарского края позволило выявить факторы, оказывающие влияние на их возникновение на территории интенсивной эксплуатации месторождений углеводородного сырья. К ним относятся, в первую очередь, грязевулканические структуры, при этом процесс катастрофического извержения и сильные сейсмические явления могут сопровождать друг друга или проявляться независимо. Модель активного мониторинга предполагает наличие полости, ограниченной некоторой замкнутой поверхностью произвольной конфигурации и расположенной в многослойной среде, моделируемой пакетом изотропных слоев. В общем случае полость может пересекать границы раздела упругих параметров, а источник колебаний может быть заглублен. Сложность сформулированной задачи определяет подходы к ее решению – оценка напряженно-деформированного состояния и резонансного поведения сложно структурированной, разномасштабной, разнотипной геологической среды вулканической постройки под действием внешних и внутренних факторов делает необходимым привлечение математического аппарата, основанного на топологическом подходе: теорию блочных структур и метод блочного элемента [1, 2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-08-00145), Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края (код проекта 19-41-230002).

Список литературы

1. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М., Горшкова Е.М., Зарецкая М.В., Мухин А.С., Павлова А.В. О конвергентных свойствах блочных элементов // Доклады академии наук. 2015. Т. 465, № 3. С. 298–301
2. Зарецкая М.В. Математические методы исследования неустойчивых геологических структур // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 7. С. 33–38.

Обзор и анализ математических моделей процесса каталитического крекинга

Г. И. Исламова¹, И. М. Губайдуллин^{1,2}

¹Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН

²Уфимский государственный нефтяной технический университет

Email: gulshat.islamova.2017@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10259

В работе представлен обзор восьми математических моделей процесса каталитического крекинга: четырехкомпонентная [1], пятикомпонентная [2], две шестикомпонентные модели [3, 4], девятикомпонентная [5], одиннадцатикомпонентная [6], двенадцатикомпонентная [2] и четырнадцатикомпонентная [7] модели. Данные модели отличаются подходом к группировке компонентов, в зависимости от продукта, выбранного целевым, а также в зависимости от необходимой точности модели. Разные модели обуславливаются разным составом сырья, технологическими условиями процесса, различными типами катализаторов и конструкций реакционных аппаратов. С каждым годом, увеличивается требования к товарным бензинам. Например, содержание бензола должно быть не более 1%, что ставит новые задачи по углубленному изучению механизма процесса. На основании анализа существующих моделей, экспериментальных лабораторных и заводских данных планируется создание детализированной кинетической модели, которая в дальнейшем будет основой для математического моделирования, модифицирования и проектирования процесса каталитического крекинга.

Список литературы

1. Pitault I., Forissier M., Bernard J.R., Determination of kinetics constants of catalytic cracking by modeling microactivity test. // Can. J. Chem. Eng. – 1995. – Vol.73. – P.498–504.
2. Н. S. Cerqueira Mathematical modeling and simulation of catalytic cracking of gasoil in a fixed bed: Coke formation / E.C. Biscaia Jr., E. F. Sousa-Agular // Applied Catalysis A: General 164 (1997) 35–45

3. Behjata Y. CFD analysis of hydrodynamic, heat transfer and reaction of three phase riser reactor / Shahhosseinia S. // Chemical engineering research and design. – №89. – 2011. – P.978–989.
4. Sadeghzadeh J., Farshi A., Forsat K., A mathematical modeling of the riser reactor in industrial FCC unit // Petrol. Coal. – 2008. – Vol.50 (2) – P.15–24.
5. Kang X. An Introduction to the lump kinetics model and reaction mechanism of FCC gasoline / Guo X. // Energy Sources. – Part A, 35:1921–1928. – 2013. – P.343–358
6. Barbosa A.C. Three dimensional simulation of catalytic cracking reactions in an industrial scale riser using a 11-lump kinetic / Lopes G.C. // Chemical engineering transactions. – Vol. 32. – 2013. – P.637 – 642.
7. Zhang, Numerical simulation on catalytic cracking reaction in two-stage riser reactors // China University of Petroleum. – Beijing, China. – 2005. – P.129–153.

Разработка математической модели сонохемилюминесценции водного раствора трис-бипиридил-рутения (II)

Г. И. Исламова¹, К. Ф. Коледина^{1,2}, И. М. Губайдуллин^{1,2}

¹Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН

²Уфимский государственный нефтяной технический университет

Email: gulshat.islamova.2017@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10260

Работа посвящена построению кинетической модели процесса сонохемилюминесценции водного раствора хлорида трис-бипиридил рутения (II). Данный процесс является перспективным как способ аналитического определения веществ [1]. В работе представлены предполагаемые кинетические модели процесса, основанные на законе действующих масс и включающие в себя 9 дифференциальных уравнений. Произведением стехиометрической матрицы на атомно-молекулярную матрицу показано, что механизм реакции определен верно [2]. Таким образом, показано, что для составления полной математической модели необходимо решить обратную задачу по определению констант химических реакций, входящих в состав предложенного механизма.

Список литературы

1. G.L. Sharipov, B.M. Gareev, L.R. Yakshembetova, A.M. Abdrakhmanov Mechanism of the Ru(bpy)₃²⁺ single-bubble sonochemiluminescence in neutral and alkaline aqueous solutions – Journal of Luminescence 208 (2019) 99–103.
2. Губайдуллин, И.М. Информационно-аналитическая система обратных задач химической кинетики – Учебное пособие / И.М. Губайдуллин, Л.В. Сайфуллина, М.Р. Еникеев //Издательство БГУ, Уфа, 2011.

Обработка и анализ сигналов при вибросейсмическом мониторинге

В. В. Ковалевский, А. П. Григорюк, Л. П. Брагинская

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: ludmila@opg.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10261

Экспериментальные работы по вибрационному просвечиванию Земли (ВПЗ) с использованием мощных вибросейсмических источников, работающих в диапазоне частот 1–10 Гц проводятся в ИВМиМГ СО РАН, начиная с 80-х годов прошлого века. Создание и развитие методов ВПЗ связано с фундаментальной проблемой наук о Земле — изучением внутреннего строения Земли и геодинамических процессов в ее недрах [1]. Результативность глубинных сейсмических исследований в значительной степени зависит от качества и дальности (расстояния источник–регистратор) экспериментальных данных [2]. Поскольку повышение качества полевых данных имеет ряд технологических ограничений, особую актуальность приобретают методы цифровой обработки и анализа сейсмических сигналов [3, 4]. В данной работе рассматриваются алгоритмы, программы и результаты обработки и анализа, направленные на повышение качества и дальности экспериментальных данных по ВПЗ.

Список литературы

1. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками // Отв. ред. Г.М. Цибульчик. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал "Гео" Издательства СО РАН, 2004
2. Ковалевский, В.В., Тубанов Ц.А., Фатьянов А.Г., Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Базаров А.Д. Вибросейсмические исследования на 500-км профиле Бабушкин, Байкал-Уллан-Батор, Монголия // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2015, Т.1, С.186–191

3. Ковалевский В.В., Григорюк А.П. Повышение эффективности направленного приема сигналов при вибросейсмическом мониторинге // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2014, Т.4, №1, С.211-214
4. Григорюк А.П., Ковалевский В.В., Брагинская Л.П. Исследование поляризации сейсмических волн при вибросейсмическом мониторинге // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2018. Т. 4. № 2. С. 10-16

Математическое моделирование волновых полей при вибросейсмическом исследовании Байкальского региона

В. В. Ковалевский, А. Г. Фатьянов, Д. А. Караваев, А. В. Терехов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: kovalevsky@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10262

В результате проведения вибросейсмических работ группами независимых исследователей получены разные результаты строения коры Земли для Байкальского региона. Речь идет о наличии слоя с пониженной скоростью (примерно на глубине 32–35 км.). Известно, что низкоскоростная зона свидетельствует о изменении пластичности пород и имеет решающее значение для тектоники плит. Таким образом, наличие или отсутствие этой зоны (зоны пониженной скорости) имеет фундаментальное значение в отношении динамики литосферы. В связи с этим становится все более актуальной задача дальнейшей верификации скоростных моделей земной коры и, в частности, модели для Байкальского региона. В настоящее время построено несколько скоростных моделей земной коры юго-западной части Байкальской рифтовой зоны на основе данных глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и анализа вступлений Р-волн землетрясений методом приемной функции [1–2].

При математическом моделировании полных волновых полей для скоростной модели земной коры [1] применялся модифицированный аналитический метод для плоскостных 3D моделей сред. Метод позволяет проводить расчеты на сверхдальние расстояния на профилях большой протяженности. Математическое моделирование волнового поля осуществлено для модели с пятью плоскими слоями в земной коре на упругом полупространстве, моделирующем верхнюю мантию. Рассматривались варианты модели с наличием и отсутствием низкоскоростного слоя. Для численного расчета полного волнового поля для модели [2] были усовершенствованы разностный и спектрально-разностный параллельные алгоритмы. В результате моделирования выяснилось, что кратные волны сравнимы по интенсивности с однократными волнами в глубинных слоях земной коры. Аналитическое и численное моделирование позволило объяснить физику этого явления. Аналогичные явления (даже большая интенсивность кратных волн по сравнению с однократными волнами) наблюдаются для водных волн [3].

Список литературы

1. Nielsen C., Thybo H. (2009). Lower crustal intrusions beneath the southern Baikal Rift Zone: Evidence from full-waveform modelling of wide-angle seismic data. *Tectonophysics*. – 2009. 470. – С. 298-318.
2. Mordvinova V. V. and Artemyev A. A. (2010). The three-dimensional shear velocity structure of lithosphere in the southern Baikal rift system and its surroundings. *Russian Geology and Geophysics*, Vol. 51, Issue 6, June 2010, Pp. 694-707.
3. V. Yu. Burmin and A. G. Fat'yanov Analytical Modeling of Wave Fields at Extremely Long Distances and Experimental Research of Water Waves. // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2009, Vol. 45, No. 4, pp. 313–325.

Использование четырехмерных сверточных нейронных сетей для автоматизации построения моделей местности

А. А. Колесников¹, П. М. Кикин²

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Email: alexeykw@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10263

Сейчас практически все виды пространственных данные требуется представлять в трехмерном виде, но затраты на создание трехмерных моделей всей окружающей местности все еще очень велики и поэтому имеющиеся варианты либо низкой точности (данные радарной спутниковой съемки, схемы городов), либо на малые участки территории (модели, полученные с БПЛА фотограмметрическими методами, данные лазерного сканирования, отдельные здания и помещения). В последнем случае

достаточно большой объем работ выполняется вручную, поэтому любые методы автоматизации построения трехмерных моделей местности и зданий позволят ускорить процессы создания полностью трехмерной модели всей поверхности Земли [4]. Также нужно отметить, что решение этой задачи позволит значительно снизить любые виды потерь при чрезвычайных ситуациях, путем максимально быстрого создания и обновления трехмерных моделей местности по всем имеющимся видам данных. В этой работе предлагается использовать четырехмерные сверточные нейронные сети для обработки моделей полученных методами лазерного сканирования и видеопотока для сегментации объектов как в помещениях, так и на открытой местности [1-3]. Приведены результаты построения трехмерной модели с помощью нейронной сети этой архитектуры для эталонных тестов (ScanNet, Stanford 3D, RueMonge) и для собственных наборов данных.

Список литературы

1. Choy C., Gwak J., Savarese S. 4D Spatio-Temporal ConvNets: Minkowski Convolutional Neural Networks // CVPR 2019
2. Ye X., Li J., Huang H., Du L., and Zhang X. 3d recurrent neural networks with context fusion for pointcloud semantic segmentation // InThe European Conference on Computer Vision (ECCV), September 2018
3. Dai A., Chang A.X., Savva M., Halber M., Funkhouser T., and Nießner M. Scannet: Richly-annotated 3d reconstructions of indoor scenes // InProc. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), IEEE, 2017.
4. Колесников А.А., Кикин П.М., Комиссарова Е.В., Грищенко Д.В. Анализ и обработка данных ДЗЗ методами машинного обучения // Сборник материалов V Международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли" (РПДЗЗ-2018), Красноярск, 2018, с.130-134.

Получение вероятностных оценок для остаточной массы, плотности и прочих параметров метеорита Иннисфри

М. А. Кривов

МГУ им. М. В. Ломоносова

Email: m_krivov@cs.msu.su

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10264

Практически единственной информацией, на основании которой можно сделать предположения о процессе движения и горения метеороида в атмосфере Земли, являются данные с фотодетекторов обсерваторий и видеосъемки от случайных очевидцев. Так как географические координаты наблюдателей известны, то по этим материалам удастся восстановить значения высоты и скорости болида для участка пути, на котором происходило интенсивное горение вещества.

При этом практический интерес представляют оценки для остаточной массы и точки падения небесного тела, которые можно получить только с помощью математического моделирования. Один из современных подходов [1] заключается в аналитическом решении системы ОДУ [2], описывающей весь процесс движения и горения небесного тела. К сожалению, для нее невозможно определить начальные условия, однако после ряда упрощений, обезразмеривания величин и введения искусственных параметров можно построить авто-модельное решение.

В докладе рассматривается предложенное автором развитие данного подхода. Аналогичная система ОДУ решается численно за счет задания начальных условий и неизвестных параметров из коллекции ожидаемых значений. Таким образом, моделирование производится для тысячи виртуальных метеоритов, среди которых отбираются случаи, соответствующие наблюдаемому явлению. Схема работы предложенного метода иллюстрируется на примере анализа достаточно хорошо изученного метеорита Иннисфри, упавшего 5 февраля 1977 года.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, научный проект № 18-37-00429 мол_a

Список литературы

1. Стулов В.П., Мирский В.Н., Вислый А.И. Аэродинамика болидов. – М.: Наука, 1995, 236 с.
2. Gritsevich M. et al. A comprehensive study of distribution laws for the fragments of Košice meteorite // Meteoritics & planetary science. 2014. vol. 49(3), pp. 328–345.

Спектрально-разностный метод для решения динамических задач теории упругости

В. Н. Мартынов^{1,2}, Б. М. Глинский^{1,2}, А. Ф. Сапетина^{1,2}, И. О. Макаров²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: afsapetina@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10265

В работе рассматривается реализация параллельных алгоритмов для численного моделирования распространения упругих волн в 3D неоднородных упругих средах, основанных на идеях, предложенных в работах [1–2]. Алгоритм основан на применении к исходной задаче для системы уравнений в скоростях смещений и напряжений двумерных преобразований Фурье по пространственным переменным. Полученная, в результате преобразований, одномерная гиперболическая задача, зависящая от двух параметров пространственного преобразования, решается, конечно-разностным методом четвертого порядка аппроксимации по пространственной переменной и второго по времени. Рассмотрены различные способы распараллеливания алгоритма на современных вычислительных комплексах. В том числе рассмотрены такие архитектуры, как Intel Broadwell, Intel Xeon Phi и NVIDIA GPU в составе Сибирского Суперкомпьютерного центра ИВМиМГ СО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-07-00085, 16-29-15120).

Список литературы

1. Alekseev A.S., Mikhailenko B.G. The solution of dynamic problems of elastic wave propagation in inhomogeneous media by a combination of partial separation of variables and finite difference methods // J. Geophys. 1980. Vol. 48, pp. 161–172.
2. Mikhailenko B.G. Numerical experiment in seismic investigations // J. Geophys. 1985. Vol. 58, pp. 101–124.

Численное моделирование взаимодействия акусто-гравитационных и сейсмических волн в совмещенной модели "атмосфера – земля"

А. А. Михайлов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: alex_mikh@omzg.sgcc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10266

В данном докладе рассматриваются результаты численного моделирования распространения и взаимногенерации сейсмических и акусто-гравитационных волн для совмещенной пространственно-неоднородной модели "атмосфера – Земля". Данные исследования являются продолжением исследований, приведенных в работах [1, 2]. Распространение инфразвуковых волн в изотермической атмосфере описывается линеаризованной системой уравнений Навье – Стокса в виде гиперболической системы первого порядка для трехмерной Декартовой системы координат. Распространение сейсмических волн в литосфере описывается гиперболической системой первого порядка в терминах скоростей вектора смещения и компонент тензора напряжений согласно теории упругости. Рассматривается распространение инфразвуковых волн в атмосфере при стратификации ветра и наличии поглощения энергии. Исследуется влияние данных факторов на амплитуду волн в зависимости от их направления распространения относительно направленности ветра. В работе описывается численный алгоритм для решения поставленной динамической задачи.

Список литературы

1. Михайленко Б.Г., Михайлов А.А. Численное моделирование распространения сейсмических и акусто-гравитационных волн для модели "Земля-Атмосфера" при наличии ветра в атмосфере // СиБЖВМ. 2014. Т. 17, N. 2. С. 149-162.
2. Михайлов А. А., Мартынов В. Н. Математическое моделирование распространения акустико-гравитационных и сейсмических волн в неоднородной модели Земля-Атмосфера при наличии стратификации ветра в атмосфере // Математические заметки СВФУ. 2015. Т. 22, N. 2. С. 92-105.

Закратерные кольца астроблем*А. В. Михеева**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**Email: anna@omzg.sscs.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10267

Крупные импактные структуры зачастую сопровождаются системой концентрических колец [1, 2]. По отдельным наблюдениям было установлено, что диаметры колец пропорциональны диаметру кратера D , где коэффициент при D является степенью 2 [1]. Однако, новые данные [3] показывают, что эта формула не точна. В докладе предлагается по-новому применить модель о возникновении кольцевых "стоячих" резонансных волн в среде вследствие "гофрированной неустойчивости ударных волн" [2]. Приняв за начало отсчета фронт ударной волны, совпадающий с диаметром D , где генерируются сферические сейсмические волны широкого спектра, можно получить универсальную формулу, описывающую все разнообразие наблюдаемой волновой картины с достаточной точностью.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2019-0009).

Список литературы

1. Алексеев А.С., Петренко В.Е. [и др.]. Импактные структуры Земли: Банк данных, общие закономерности, вопросы диагностики и некоторые особенности. Новосибирск, 1991. 128 с. (НТО ВЦ СО АН СССР. Тема "Патруль", кн. 11.).
2. Зейлик Б.С., Мурзадилов Т.Д. Образование многокольцевых структур при космогенных взрывах и прогнозирование месторождений углеводородов // Нефть и газ. Алматы, 2011. №5 (65). С. 105-122.
3. Михеева А.В. Полный каталог импактных структур Земли. 3408 записей [Электрон. ресурс]. URL: labmpg.sscs.ru (дата обращения: 07.03.2019).

Алгоритмы вероятностного анализа сейсмической опасности*С. А. Перетокин¹, В. А. Миронов², К. В. Симонов³, М. А. Курако⁴**¹Красноярский филиал Института вычислительных технологий СО РАН – СКТБ "НАУКА"**²Институт вычислительного моделирования СО РАН**³Институт вычислительного моделирования СО РАН**⁴Сибирский федеральный университет**Email: saperetokin@yandex.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10268

Работа посвящена описанию современного состояния методов вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО), как одного из основных этапов в инженерно-сейсмологических изысканиях под площадки для особоответственных объектов. От выбора программного обеспечения для проведения ВАСО, понимания его возможностей и ограничений во многом зависит результат исследований. Рассматриваются современные подходы к оценке сейсмической опасности [1-6] и представлен обзор развития программных средств ВАСО (OpenSHA, EqHaz, OpenQuake, Engine и R-CRISIS). Проведен анализ компьютерной программы SEISRISK III, рассмотрены ее возможности и ограничения, выполнены расчеты для исследуемых площадок особоответственных объектов.

Список литературы

1. Atkinson G. M. The Integration of Emerging Trends in Engineering Seismology // 13th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal (September 24-28, 2012). Lisbon, 2012.
2. Atkinson G. M., Assatourians K. EqHaz: An Open-Source Probabilistic Seismic-Hazard Code Based on the Monte Carlo Simulation Approach // Seismological Research Letters. 2013. Vol. 84, № 3. P. 516–524.
3. Gupta I. D. Probabilistic seismic hazard analyses method for mapping of spectral amplitudes and other design-specific quantities to estimate the earthquake effects on manmade structures // ISET Journal of Earthquake Technology. 2007. Vol. 44, № 1. P. 127–167.
4. Kijko A. Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis / Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. – Springer, 2011. P. 1–27.
5. McGuire R. K. Probabilistic seismic hazard analysis: Early history // Earthquake Engng Struct. Dyn. 2008. Vol. 37. P. 329–338.

6. Monelli P. D., Weatherill G., et al. OpenQuake Engine: An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model seismological // Research Letters. 2014. Vol. 85, № 3. P. 692–702.

Трехмерное моделирование сигналов электромагнитного зонда с тороидальными катушками

И. В. Суродина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: sur@ommfao1.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10269

В последнее десятилетие произошли большие инженерные достижения в каротажном приборостроении. Появилась возможность создавать приборы, основанные на нетрадиционных для каротажа источниках возбуждения электромагнитного поля. В ИНГиГ и НПО "Луч" создан прибор нового поколения – устройство для регистрации характеристик электромагнитного поля с использованием тороидальных катушек [1-3]. В процессе создания прибора применялось математическое моделирование. Это самый быстрый и дешевый способ воспроизвести работу зонда в моделях, близких к реальности. Целью настоящего являлось правильно сформулировать задачу для трехмерных моделей, найти метод решения и исследования оценить влияние эксцентриситета прибора на измеряемые характеристики

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-05-00595). Экспериментальная часть поддержана Российским научным фондом (код проекта 19-77-20130).

Список литературы

1. Эпов М.И., Еремин В.Н., Манштейн А.К., Петров А.Н., Глинских В.Н. Устройство для измерения удельной электропроводности и электрической макроанизотропии горных пород. // Патент на изобретение RU 2528276. Оpubл. 10.09.2014. Бюл. № 25
2. Эпов М.И., Еремин В.Н., Петров А.Н., Глинских В.Н., Суродина И.В., Киселев В.В., Никитенко М.Н. Устройство для регистрации характеристик электромагнитного поля с использованием тороидальных катушек // Патент на изобретение № 2578774. Заявл. 14.01.2015; опубл. 27.03.2016. Бюл. № 9
3. Эпов М.И., Еремин В.Н., Петров А.Н., Глинских В.Н., Суродина И.В., Киселев В.В., Никитенко М.Н. Устройство для регистрации характеристик электромагнитного поля с использованием тороидальных катушек // Патент на изобретение № 2578774. Заявл. 14.01.2015; опубл. 27.03.2016. Бюл. № 9

Метод вычисления цилиндрических функций для широкого диапазона значений их аргументов и индексов

А. Г. Фатьянов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: fat@nmsf.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10270

Специальные функции имеют фундаментальное значение в математической физике. Они, в частности, входят в аналитические решения разнообразных задач естествознания. Однако существующие доступные библиотеки позволяют вычислять, например, функции Бесселя только для сравнительно небольших значений их аргументов и индексов [1]. Это приводит к ограничению возможностей практического использования аналитических решений для современных задач. Так, например, для расчета волновых полей для тел планетарных размеров типа Земли и Луны, требуется единый метод вычисления цилиндрических функций для произвольных (в том числе и больших) значений аргументов и индексов. Такого метода в настоящее время не существует.

В работе получено новое дифференциальное и соответствующее ему рекуррентное соотношение для вспомогательных цилиндрических функций. На основе [2] показана устойчивость нового рекуррентного соотношения для цилиндрических функций. В итоге, с учетом классического рекуррентного соотношения, получен новый единый вычислительно устойчивый метод получения значений цилиндрических функций для широкого диапазона значений их индексов и аргументов.

Проведено тестирование нового рекуррентного метода вычисления цилиндрических функций без использования асимптотических представлений. Тестирование осуществлено в несколько этапов. Сначала проведено сравнение с известными методами для сравнительно небольших значений аргументов и индексов [1]. Тестирование в области, где известные методы не работают, проведено на основе

аналитического выражения для вронскиана. Далее проведено количественное сравнение волновых полей для шара небольших размеров (в длинах волн) в случае использования стандартных и новых алгоритмов вычисления цилиндрических функций. В итоге получен и протестирован новый вычислительно устойчивый метод получения значений цилиндрических функций для широкого диапазона значений их индексов и аргументов.

Список литературы

1. Shanjie Zhang, Jian-Ming Jin. Computation of special functions. John Wiley, 1996, 717 p.
2. Годунов С. К., Рябенький В. С. Разностные схемы. Издательство Наука, М. 1977, 440 с.

Секция 8. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Аспекты вычисления детерминантов матриц и их распределений по определителям

Н. А. Антипин

Московский технологический университет" (МИРЭА)

Email: myantip@yandex.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10271

В статье рассматриваются данные, полученные с помощью алгоритмов, разработанных с использованием встроенных и невстроенных типов данных в стандартных языках программирования. Приводятся распределения матриц из 0 и 1 по детерминантам для 8-го порядка – пересчетом детерминантов всех матриц, для матриц порядка с 9-го по 11-ый точно (используется метод Монте-Карло и ищутся лишь отдельные детерминанты, без указания количества для данного порядка). Также с помощью алгоритмов для невстроенных типов данных была получена матрица 64-го порядка с отношением количества 0 к 1 – 1:3, с определителем равным простому числу, а также ее обратная. Анализировались вычисления детерминантов для матриц более высоких матриц – 128 и 256. Результаты данных вычислений могут быть полезны при передаче информации в открытых сетях, а также в естественных теоретических и инженерных науках.

Список литературы

1. Антипин Н. А. Теоретические и практические аспекты матриц из нулей и единиц //Альманах мировой науки, 2018 г, № 1(21), с. 6-35.
2. Антипин Н. А. Разрезанные матрицы из нулей и единиц //Перспективы развития науки и образования: Сборник научных трудов, 2017 г, с. 6-10, ISBN 978-5-9500654-2-2.
3. Антипин Н. А. Макеев В. Н., Манеев Р. Ю., Федулов Ф. А. Теоретико-числовые аспекты шифра Хилла для матриц различного порядка //Альманах мировой науки, 2016 г, № 1-1(4), с. 6-10.

Метод эффективного кодирования строковых данных в СУБД

М. П. Бакулина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: marina@rav.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10272

Рассматривается задача эффективного сжатия больших массивов данных. Примером практического приложения этой задачи является оптимальное сжатие табличных массивов в СУБД, позволяющее сократить расход памяти и повысить производительность системы. Наиболее распространенными типами данных, используемых в БД, являются строковые и числовые. Для кодирования строковых данных применяются различные методы словарного сжатия, наиболее эффективным из которых является метод Зива-Лемпеля. В данной работе предлагается эффективный метод кодирования строковых данных, основанный на словарном сжатии и позволяющий увеличить степень сжатия массивов по сравнению с ранее известными методами.

Список литературы

1. Alsberg P. A. Space and Time Savings Through Large Data Base Compression and Dynamic Restructuring. Proc. IEEE 63(8):1114-1122, August 1975.
2. Li J., Rotem D., Wong H. A New Compression Method with Fast Searching on Large Databases. Proceedings of 13th International Conference on Very Large Data Bases, 1987, Brighton, pp. 311-318.

Modeling big data processing using regression analysis

D. K. Darkenbayev, G. T. Balakayeva
Al-Farabi Kazakh National University
Email: dauren.kadyrovich@gmail.com
DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10273

Today, the problem of processing large amounts of data is growing every day. One of the urgent tasks of many areas of science and technology is the task of processing large amounts of data, for example, in banking, the introduction of technologies for processing large amounts of data allows banks to bring to a new level work in such areas as: improving service quality, product development, risk management, security, analyze customer solvency, cost optimization. The definition of large amounts of data, Big Data, is used to denote technologies such as storing and analyzing a significant amount of data, processing which requires high speed and decision making in real time[1]. As well as the collection, storage and use of unstructured data. One urgent task is the processing of large amounts of data when storing data on different servers, and the collection and processing of data takes a lot of time, and such mathematical calculations as calculating the arithmetic average value require additional costs[2]. In this paper, we considered the task of processing large amounts of data on the example of building a credit scoring model for the banking system of the Republic of Kazakhstan as a whole[3]. At the same time, we solved the problems of constructing a credit scoring model with constant weights, with weighting factors that are updated in time, the choice of a suitable algorithm, and regression analysis.

References

1. Мансурова М.Е., Шоманов А., Тулепбергенов Б. Параллельный алгоритм кластеризации для обработки гиперспектральных изображений на основе MapReduce Hadoop // Международная конференция ИКТ: образование, наука, инновации, 20 мая. – Алматы, 2013. – С.56-61.
2. McDonald E., Brown C. T. Working with Big Data in Bioinformatics // <http://www.aosabook.org>. 21.09.2012.
3. K. Nurlybayeva, G. Balakayeva “Algorithmic Scoring Models”, Applied Mathematical Sciences, Vol. 7, 2013, no. 12, 571 – 586

Особенности расчета фотореалистических картин 3D сцен при учете интерференции

В. А. Дебелов, Л. Ф. Васильева
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Email: debelov@oapmg.sgcc.ru
DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10274

В реальной жизни мы можем заметить явление интерференции света, например, бензиновые пятна на луже. Но современные программы расчета фотореалистических изображений 3D сцен (3D-рендеры) могут имитировать явление интерференции на изображении не более, чем посредством подбора текстур. На современном этапе одно из основных наиболее интенсивно развивающихся направлений в разработке 3D-рендеров – это разработка физически корректных алгоритмов, т.е. все более точный учет физических законов взаимодействия света с объектами сцены. В настоящее время известны только несколько исследовательских работ, посвященных вопросу физически корректной визуализации эффектов интерференции. В докладе на основе их анализа и сведений из физической литературы рассматриваются необходимые модификации рендеров, чтобы они могли физически корректно рассчитывать интерференцию на изображениях. Например, визуализировать такие известные опыты, как опыт Юнга или кольца Ньютона. Эти особенности включают: учет поляризации света, разложение падающего луча на перпендикулярную и параллельную компоненты, применение формул Френеля, когерентность лучей и другие. Также приводятся результаты численных экспериментов и соответствующие иллюстрации, полученные в расчетах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00762).

Сравнение двух алгоритмов расчета ортоскопических интерференционных картин прозрачных анизотропных кристаллов

В. А. Дебелов¹, Р. А. Шелепаев²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН

Email: debelov@oapmg.sscs.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10275

Интерференционные ортоскопические картины [1–3] наблюдаются минералогами при рассмотрении оптически анизотропных прозрачных минералов через поляризационный микроскоп [4]. Это интерференционные картины в параллельном поляризованном свете, образованные лучами, прошедшими через кристаллическую пластинку при скрещенных или параллельных поляризаторе и анализаторе, и наблюдаемые в фокальной плоскости объектива микроскопа. Они позволяют специалисту определить ряд кристаллооптических параметров.

В качестве первого алгоритма расчета выбран алгоритм, который выполняет прямое моделирование, т. е. расчет распространения лучей света в сцене: источник – поляризатор – образец минерала – анализатор (2-й поляризатор) – объектив (линза) – картинная плоскость.

Второй алгоритм использовался в программе, в которой за основу алгоритма была взята методика построения ортоскопической картины из [1 – 3]. Кроме этих трех монографий, многие другие книги и статьи по кристаллооптике также используют второй подход для объяснения возникновения ортоскопических картин.

При ближайшем рассмотрении очевидно, что второй подход использует достаточно серьезные, на первый взгляд, упрощения математической модели прохождения поляризованного света в сцене. В докладе рассмотрены расчеты, выполненные по обоим алгоритмам, сравниваются и обсуждаются полученные результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00762).

Список литературы

1. Шаскольская М. П. Кристаллография. Учеб. пособие для ВТУЗов. М.: Высшая школа, 1976.
2. Шубников А. В. Оптическая кристаллография. М: Изд-во АН СССР, 1950.
3. Борн М., Вольф Э. Основы Оптики. М.: Наука, 1973.
4. Скворцов Г. Е., Панов В. А., Поляков Н. И., Федин Л. А. Микроскопы / Под ред. Н. И. Полякова. Л.: Машиностроение, 1969.
5. Дебелов В. А., Рубцова А. Ю., Смирнов С. З. Компьютерная модель петрографического микроскопа // Труды 16-й международной конференции по компьютерной графике и ее приложениям ГрафиКон-2006. 2006. Новосибирск, 1-5 июля 2006г. С. 293–297.

Применение комбинаторного моделирования для исследования развития систем энергетики

А. В. Еделева¹, В. И. Зоркальцев¹, А. Г. Феоктистов²

¹Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН

²Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН

Email: flower@isem.sei.irk.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10276

Предложен новый подход к анализу вариантов развития систем энергетики на основе комбинаторного моделирования. Процессы развития систем и их отдельных объектов представляются в форме направленных графов, узлы которых соответствуют возможным состояниям объектов и системы в дискретные моменты времени, а связи определяют допустимость переходов из одного состояния в другое. Разработаны алгоритмы и инструментальные средства, предназначенные для исследования и выбора оптимальных вариантов развития систем энергетики, которые состоят из большого числа объектов со сложными системообразующими взаимосвязями. Преимущества подхода показаны на примерах решения задач исследования развития системы электроэнергетики и топливно-энергетического комплекса с использованием распределенных вычислений.

Работа выполнена в рамках проектов III.17.5.1, III.17.3.1 и IV.38.1.1 фундаментальных исследований СО РАН, а также при поддержке РФФИ, проект № 19-07-00097-А.

Использование контроллера Leap Motion для прикладных систем распознавания языка жестов*С. А. Мустафина, Д. Г. Еникеев**Башкирский государственный университет**Email: Mustafina_SA@mail.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10277

Современное развитие технологий распознавания и обучения видеообразов позволили создавать системы распознавания жестов. Они призваны обеспечить общество глухих и слабослышащих людей более удобным способом общения. Задачей устройства является перевод языка жестов в письменную либо аудио-речь. В представленной работе нами приведены основные свойства языка жестов, его параметры и отличия от других способов коммуникации. Также проведен обзор наиболее популярных аппаратных способов сбора данных о жестах и их обработке. В работе предлагается использование контроллера Leap motion [1] от одноименной компании в системе распознавания жестов, так как такой контроллер позволяет избавиться от проблем с процессом распознавания рук пользователя и выделением основных характеристик. Высокая скорость обработки информации и независимость от условий освещения позволяет рассматривать Leap motion в качестве основы для эффективной и универсальной системы распознавания жестов.

Список литературы

1. SubhaRajam P., Balakrishnan G. Sign Language Recognition System For Deaf And Dumb People // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). 2013. С. 382-387

Способ верификации прикладного программного обеспечения АСУ ТП*С. С. Журавлев, В. В. Окольников, С. Р. Шакиров**Институт вычислительных технологий СО РАН**Email: ZhuravlevSS@ict.nsc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10278

Прикладное программное обеспечение (ППО) автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) обеспечивает функции контроля и управления промышленным оборудованием. Надежность функционирования ППО влияет на безопасность процессов производства. Ошибки, допущенные на этапе разработки АСУ ТП, могут привести к выходу из строя оборудования, нарушению технологического процесса и даже к человеческим жертвам.

Верификация ППО на предприятии изготовителе позволяет обеспечить контроль надежности функционирования алгоритмов АСУ ТП [1].

В работе рассматривается способ верификации ППО АСУ ТП, позволяющий обеспечить контроль корректности: выполнения команд управления контроллерного и диспетчерского уровней, идентификации состояний технологического оборудования, формирования управляющих воздействий, состояния контроллера АСУ ТП и др.

Список литературы

1. Журавлев С.С., Рудометов С.В., Окольников В.В., Шакиров С.Р. Применение модельно-ориентированного проектирования к созданию АСУ ТП опасных промышленных объектов // Вестн. НГУ. Серия: Информационные технологии. 2018. Т. 16, № 4. С. 56–67.

Алгоритм обучения нейросетей с псевдослучайным распределением связей*А. Н. Иванов, С. А. Мустафина, Н. Д. Морозкин**Башкирский государственный университет**Email: Mustafina_SA@mail.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10279

Для решения задач моделирования физико-химических процессов на примере режима работы ртутного электролизера, используемого в производстве каустической соды, показана применимость искусственных нейронных сетей [1]. Описаны основные качества существующих нейросетей и способы их обучения. Авторами предлагается решение задачи моделирования на основе сетей с псевдослучайным распределением связей, предложено три алгоритма их обучения [2]. Реализация нейросетей

с псевдослучайным распределением связей была выполнена на языке программирования Python 3. В исследовании приводятся сравнительные результаты обучения различных сетей с разными наборами гиперпараметров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Республики Башкортостан (код проекта 17-47-020068).

Список литературы

1. Пятакович В.А., Василенко А.М., Хотинский О.В. Аналитическая конструкция и исходные структуры искусственной нейронной сети, техническая реализация модели математического нейрона. Интернет-журнал Науковедение, 2017, Т. 9, №. 3 (40), с. 89.
2. Горбачевская Е.Н. Классификация нейронных сетей. Вестник ВУиТ, 2012, №. 2 (19), с. 128-134.

Применение нейросетей в моделировании химических реакций

С. Н. Коледин, Р. Р. Алмакаев

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Email: koledinsrg@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10280

Построение модели реакции диметилкарбоната со спиртами, в присутствии металлокомплексных катализаторов, производилось 3 способами. Метод закона действующих масс [2, 3], при котором ошибка отклонения составила около 10 %. При методе наименьших квадратов [4] ошибка составила порядка 14 %, что не удовлетворительно, поскольку ошибка больше, чем у предыдущего метода. Ошибка расчета задачи с помощью персептрона [1] составила 5-7 %. На нейросеть были поданы данные от 20 до 180 минут. Планируется снизить ошибку до 1 % и научить нейросеть описывать другие металлокомплексные реакции.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-37-00015.

Список литературы

1. Саймон Хайкин Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. — С.П., 2016 75 – 21
2. Koledina K, Koledin S, Schadneva N, Mayakova Y and Gubaydullin I 2017 Reac Kinet Mech Cat 121(2) 425–428
3. Spivak S, Koledina K, Koledin S and Gubaidullin I 2017 Journal of applied informatics 12(1) 39-49
4. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. — 2-е изд. — М., 1962.

Компьютерные сети, протоколы и потоки трафика: от реальных данных до математического моделирования

Е. Ю. Лисовская¹, М. Пагано²

¹Томский государственный университет

²University of Pisa

Email: ekaterina_lisovs@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10281

Классическая теория телетрафика, основанная на работах Эрланга, сотрудника Копенгагенской телефонной компании, сыграла важную роль в развитии телефонной сети общего пользования. Однако ее применение к современным компьютерным сетям требует определенной осторожности. Действительно, компьютерные сети используют совершенно другой архитектурный подход (коммутация пакетов вместо коммутации каналов). Кроме того, потоки трафика, генерируемого пользователями этих сетей, имеют статистические характеристики, сильно отличающиеся от свойств голосового трафика не только неоднородностью этих данных, но и влиянием механизмов управления перегрузками (например, ТСР). Таким образом, прямое применение классических результатов теории телетрафика привело, с одной стороны, к резкой нехватке нужного количества сетевых ресурсов, и с другой стороны – к падению интереса инженеров-практиков к аналитическим результатам.

Доклад содержит краткое описание основных принципов и протоколов Интернета, дает эвристическое обоснование необходимости "сдвига математической парадигмы", раскрывает вопросы, связанные с использованием более достоверных моделей трафика [1-2].

Список литературы

1. Willinger W., Paxon V. Where mathematics meet the Internet // Notices of the American Mathematical Society. 1998. Т. 45, № 8. С. 961–970.
2. Пагано М., Рыков В. В., Хохлов Ю. С. Модели телетрафика: учебное пособие. М.: Издательский Дом "Инфра-М", 2018.

О суммарном объеме занятого ресурса в системе массового обслуживания сдвоенных заявок с ММРР-входящим потоком

Е. Ю. Лисовская¹, М. Пагано², Е. Н. Чернышова¹

¹Томский государственный университет

²University of Pisa

Email: ekaterina_lisovs@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10282

Рассматривается ресурсная система массового обслуживания следующей конфигурации: заявки поступают в систему согласно ММРР-потоку [1], каждое требование обслуживается на первом блоке в течение случайного времени с функцией распределения вероятностей (ф.р.) $B_1(x)$, на которое занимает случайное количество ресурса с ф.р. $G_1(y)$. Кроме того, каждое требование "копируется" на второй блок. Процедура обслуживания на втором блоке аналогична, характеристики длительности обслуживания и объема занимаемого ресурса представлены ф.р. $B_2(x)$ и $G_2(y)$, соответственно. В работе получена двумерная гауссовская аппроксимация распределения вероятностей суммарных объемов занятого ресурса на блоках обслуживания, которое позволяет оценить требуемый размер буфера на каждом блоке с целью минимизации потерь, связанных с нехваткой ресурсов.

Список литературы

1. Lisovskaya E., Moiseeva S., Pagano M. The total capacity of customers in the infinite-server queue with MMPP arrivals // Communications in Computer and Information Science. 2016. Т. 678. С. 110–120.

Алгоритмы построения начального плана в задачах транспортной логистики

О. А. Ляхов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: loa@rav.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10283

Показана возможность использования таксономического анализа для построения начальных решений задач транспортной логистики. Предложены алгоритмы разделения множества потребителей на близкие подмножества (таксоны) для задач нескольких коммивояжеров и доставки продуктов потребителям в необходимом количестве ограниченными по грузоподъемности транспортными средствами.

Работа выполнена по плану ПФНИ (проект 0315-2019-006).

Подход к моделированию информационно-измерительных систем на базе распределенных сетей интеллектуальных геосенсоров

А. А. Майоров, А. В. Матерухин, О. Г. Гвоздев

¹Московский государственный университет геодезии и картографии" (МИИГАиК)

Email: maiorov@miigaik.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10284

Как отмечено в монографии [1] моделирование информационно-измерительных и управляющих систем всегда было и остается важным этапом процесса проектирования. Современные требования к обработке пространственно-временных данных, поступающих от распределенных сетей интеллектуальных геосенсоров, предполагают, что непрерывные запросы на определение динамически меняющихся пространственных отношений между объектами наблюдения должны работать с потенциально

неограниченными потоками входящих данных и учитывать временной порядок в этих входящих данных [2]. Требуется обеспечить низкую задержку обработки и стабильность этой задержки при возможных изменениях в интенсивности входных потоков данных. В настоящем докладе представлен разработанный авторами подход к моделированию информационно-измерительных систем, который позволяет реализовать компьютерное моделирование обобщенной информационно-измерительной системы на базе распределенных сетей интеллектуальных геосенсоров, концептуальная модель которой была представлена в [3]. Результаты такого моделирования могут быть использованы при проектировании и разработке новых архитектур информационно-измерительных систем.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (номер для публикаций: 5.6972.2017/8.9).

Список литературы

1. Демин А.В., Копорский Н.С. Имитационное моделирование информационно-измерительных и управляющих систем. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. 139 с.
2. Матерухин А.В. Теоретические основы и методология обработки потоков пространственно-временных данных [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.35 / Матерухин Андрей Викторович ; Московский государственный университет геодезии и картографии. М., 2018. 48 с.
3. Maiorov A.A., Materukhin A.V. A conceptual model of an information measurement system based on distributed networks of smart geosensors // Measurement Techniques. 2018. Volume 61, Issue 5. pp. 452-458 DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 <https://DOI.org/10.1007/s11018-018-1451-0>

Reinforcement learning to optimal control of active consumer

P. V. Matrenin, V. Z. Manusov, N. Khasanzoda

Novosibirsk State Technical University

Email: pavel.matrenin@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10285

The paper considers the problem of optimal control of an active consumer with renewable energy sources in a smart grid. To optimal control of the active consumer, it's necessary to perform the structural-parametric optimization of a set of governing rules. In contrast to the existing researches [1-4], the problem of optimal control is considered from the point of view of a separate active consumer, and not of the entire distributed system. In compliance with Reinforcement learning, the active consumer is considered as an agent into a poorly predictable environment. To solve this optimization problem, swarm intelligence algorithms were implemented. Computational experiments were carried out for models of wind energy systems on Russky Island and Popov Island [5]. The results obtained showed high effectiveness of the swarm intelligence algorithms that demonstrated reliable and fast convergence to the global extremum of the optimization problem under different scenarios and parameters of active consumers. Also, the paper carries out the analysis of the influence of the capacity of the batteries of the active consumer on the variability of its actions.

References

1. Ha D. L., Guillou H., Martin N., Cung V. D., Jacomino M. Optimal scheduling for coordination renewable energy and electric vehicles consumption // IEEE International Conference on Smart Grid. Miami, FL, USA, 2-5 Nov. 2016. P. 319-324.
2. Mortaji H., Sie S., Moghavvemi M., Almurib H.. Load Shedding and Smart-Direct Load Control Using Internet of Things in Smart Grid Demand Response Management // IEEE Transactions on Industry Applications. 2017. V.53, is. 6. P. 5155-5163.
3. Shah P., Hussain I., Singh B. Multi-Resonant FLL Based Control Algorithm for Grid Interfaced Multifunctional Solar Energy Conversion System // IET Science, Measurement and Technology. 2018. V. 12, is. 1. P. 49-62.
4. Sokolnikova T. V., Suslov K. V., Lombardi L. Determining optimal energy storage parameters for renewable energy sources integration in isolated energy system with active consumers. // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2015. V. 10 (105). P. 206–211.
5. Manusov V. Z., Khasanzoda N. Optimization of the Far East wind resources energy efficiency on the basis of the swarm intelligence algorithm // Alternative Energy and Ecology (ISJAE). 2018. V. 19-21. P. 12-22.

Разработка виртуальных тренажеров дорожного движения с использованием эпполярной геометрии

Г. А. Онопенко, Н. В. Лаходынова

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Email: galex_on@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10286

Актуальной проблемой диагностики автомобильных дорог является задача распознавания повреждений дорожного покрытия по мобильной фото- и видеосъемке [1] для планируемого объема ремонтных работ. Прогресс и доступность мобильных устройств позволяет использовать разработанный алгоритм распознавания дефектов покрытия дорог для определения повреждений серией последовательных кадров видеосъемки на основе метода эпполярной геометрии [2].

Для эксплуатации программы, основанной на алгоритме распознавания дефектов дороги, разрабатываются виртуальные тренажеры, позволяющие автоматизировать навыки работы с приложением.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-41-70001).

Список литературы

1. Ю.А. Герасимова, Н.А. Лаходынова, Б.М. Шумилов, А. Жумадил уулу, К.А. Абдыкалыков. О распознавании повреждений дорожной поверхности по результатам мобильных видеоизмерений// Сборник научных трудов "Перспективные информационные технологии", 779-781, 2018.

2. R. Hartley, A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision. Second Edition", Cambridge University Press, 2004.

Collective intelligence theory with applications in medicine

N. N. Osipov

St. Petersburg Department of V. A. Steklov Institute of Mathematics RAS

Email: nicknick@pdmi.ras.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10287

Collective intelligence systems are intended for aggregation of agents' opinions on something (mostly on the probability of some event) in such a way that the aggregated opinion approximates the opinion of a hypothetical omniscient agent who owns all the information. We will talk about a CI theory that incorporates empirical and theoretical considerations and combines topics from various fields such as probability interpretations, probabilistic logic, decision theory, statistics, and game theory. We will also describe how CI for medical studies should be designed.

This work was partially supported by ERCIM "Alain Bensoussan" Fellowship Programme.

References

1. The mini-course "Collective intelligence theory with applications in medicine" (in Russian). [Electronic resource]. URL: https://www.youtube.com/channel/UCuH_xeNX7KKIYHeZXaPO_OA (the date of access: 01.04.2019).

Системные алгоритмы эффективного исполнения фрагментированных программ в системе LuNA

В. А. Перепёлкин^{1,2}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: perepelkin@ssd.sccc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10288

Сложность и трудоемкость разработки, отладки и сопровождения параллельных программ численного моделирования для мультимониторных в настоящее время затрудняет использование вычислительных кластеров при проведении численных экспериментов. Прикладной специалист вынужден вникать в сложные проблемы системного параллельного программирования и осваивать методы их решения несмотря на то, что они напрямую не связаны с предметной областью, в которой проводятся исследования. Актуальна задача создания и развития средств автоматизации параллельного программирования

численных алгоритмов, повышающих уровень программирования, и при этом обеспечивающих удовлетворительную эффективность (по времени выполнения, расходу памяти, нагрузке на сеть и т.п.) исполнения программ. В работе представляются алгоритмы системы LuNA, ориентированные на эффективное исполнение LuNA программ на вычислителях с распределенной памятью, а также представляются результаты экспериментального исследования эффективности работы системы на ряде приложений.

Построение модели изменения во времени содержания тематических кластеров в коллекциях научных текстов

И. С. Пименов¹, Н. В. Саломатина²

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт математики им. С. Л. Соболева*

Email: pimenov.1330@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10289

В работе представлены результаты решения задачи по оцениванию изменений, происходящих на уровне тематических кластеров в отдельной предметной области. Реализован подход, опирающийся на анализ полных текстов [1]. Выявление терминов, связей между ними и тематическая кластеризация проведены с помощью свободно распространяемой программы VosViewer, позволяющей извлекать термины в форме именных словосочетаний, а также проводить их кластеризацию [2]. Для отслеживания динамики развития и формирования тематических кластеров во времени использованы ориентированные графы, построенные с учетом значимых изменений в кластере. Апробация подхода проведена на материале докладов шести конференций по катализу "EuropaCat" за период времени с 2005 г. по 2015 г. На качественном и количественном уровне дано описание основных тенденций изменения во времени тематических кластеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Фундаментальных научных исследований РАН (код проекта 0314-2019-0015).

Список литературы

1. M.J. Cobo, A.G. Lypez-Herrera, E. Herrera-Viedma, F. Herrera. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751157710000891> (дата обращения: 26.03. 2019).
2. Van Eck, N.J., & Waltman, L. Text mining and visualization using VOSviewer. [Электрон. ресурс]. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/eebd/8c9e1dce3656de1d6a2c92fa26d82087447e.pdf> (дата обращения: 26.03. 2019).

Использование естественного языка при создании имитационных моделей

С. В. Рудометов¹, В. В. Окольников²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт вычислительных технологий СО РАН*

Email: sergersw@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10290

В нашей работе мы воспроизвели действия человека, который пытается анализировать полностью неизвестный текст, в котором ему известно, какие слова и словесные конструкции обозначают сущности (предметы, существа), какие – действия, а какие – те или иные свойства сущностей или действий. При таком анализе, мысленно, человек начинает строить схему, в которой сначала "создает" сущности, затем "снабжает" их свойствами, указанными в тексте, и затем – выясняет их взаимодействие и его свойства.

Специалист в предметной области, разрабатывающий имитационную модель в среде имитационного моделирования MTSS [1], действует по похожей схеме. Сначала он принимает решение об использовании некоторых элементарных моделей (ЭМ), затем создает и размещает (визуально) некоторое количество экземпляров ЭМ (ЭЭМ), затем изменяет их свойства, затем графически соединяет их друг с другом.

Использование естественного языка выглядит в таком случае как применение скриптового языка. Но есть и важное отличие: человеку не нужно учить этот новый язык. Он будет использовать хорошо известные ему и понятные языковые конструкции.

Существует простой и эффективный способ выделения нужных понятий из размеченного текста на естественном языке, схожий с обычными регулярными выражениями (Stanford NLP, TokenSequencePattern [2] или библиотека Natural Language Toolkit для языка Python [3]). После выделения набора сущностей мы сопоставляем найденные слова с набором строк, которым идентифицирует (именует) себя каждая ЭМ в конкретной библиотеке MTSS. Похожим образом выделяются затем свойства найденных ЭЭМ, и затем – их взаимодействия.

Список литературы

1. S. V. Rudometov, "MTSS simulation system," 2011-10-28. Accessed on: 30.10.2011 Available: URL: <http://fap.sbras.ru/node/2325> (In Russian).
2. (2018). Stanford Log-linear Part-Of-Speech Tagger. Available: <https://nlp.stanford.edu/software/tagger.shtml>.
3. E. K. Steven Bird, Edward Loper, Natural Language Processing with Python – Analyzing Text with the Natural Language Toolkit. O'Reilly Media, 2009, p. 504.

Моделирование работы очистного забоя угольной шахты

С. В. Рудометов¹, В. В. Околнишников², А. А. Ордин²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт вычислительных технологий СО РАН

Email: rsw@inbox.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10291

В системе имитационного моделирования MTSS [1–2] реализована специализированная библиотека моделей горных машин, используемых при добыче угля в длинном очистном забое угольной шахты. С использованием специализированной библиотеки имитационных моделей горных машин разработана комплексная модель технологических процессов подземной добычи угля в очистном забое угольной шахты. Исследованы подходы повышения производительности очистного забоя в зависимости от технических характеристик горных машин, размеров лавы, технологических схем добычи угля в условиях изменяющихся горно-геологических и геомеханических характеристик угольного пласта.

Список литературы

1. Рудометов С.В. Визуально-интерактивная система имитационного моделирования технологических систем // Вестник СибГУТИ. 2011. №3. С. 14–27.
2. Rudometov S.V., Okolnishnikov V.V. A System for Computer Simulation of Technological Processes // Proceedings of 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control (MIM 2013). 2013. P. 653–658.

On the global search in d.c. optimization problem

A. S. Strekalovsky

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS

Email: strekal@icc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10292

We consider the general optimization problem with the cost function and equality and inequality constraints given by d.c. functions. The original problem is reduced to a problem without constraints with the help of the exact penalization theory. Besides, the goal function of the auxiliary penalized problem turns out to be d.c. function. On the base of the idea of consecutive solution of linearized problems we develop a special local search method for the penalized problem and study its convergence [1].

In addition, we study the case when the sets of minimizing sequences of both problems coincide. Further we prove necessary and sufficient conditions for the sequence to be minimizing in the penalized problem [2]. In addition we propose a theoretical method that generates a minimizing sequence for the penalized problem. We also develop a global search scheme and prove that it produces a minimizing sequence in the penalized problem.

Finally, as applications, we consider the problems of numerical finding of a Nash equilibrium point, an optimistic solution of bilevel problems, and solution of system of nonlinear equations by variational approach.

References

1. Strekalovsky A. S., Minarchenko I. M. A local search method for optimization problem with d.c. inequality constraints // *Applied Mathematical Modelling*. 2018. V. 58. P. 229–244
2. Strekalovsky A. S. Global optimality conditions and exact penalization // *Optimization Letters*. 2019. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1007/s11590-017-1214-x.

Эволюционный подход к оптимизации сетей инженерных коммуникаций

Г. Б. Токтошов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Email: gulzhigit@sscc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10293

В настоящей работе рассматривается мультикритериальная задача оптимизации сетей инженерных коммуникаций по критериям экономичность и надежность их функционирования. В качестве математического объекта описания для структуры сетей была использована двухуровневая гиперсеть, позволяющая отобразить одной структурой в другую с учетом зависимости параметров элементов этих подсистем. При этом, структура в которой отображается физический объект (трубопровод, кабель и т. п.) описывается математической или цифровой модели местности. Такая модель, включающая в себя все особенности области размещения и рельефа местности, называется первичная сеть. Структура, соответствующая конфигурации реальной сети, которая вследствие отображается в первичную сеть называется вторичная сеть. Тогда задача встает следующим образом: необходимо отобразить конфигурации вторичной сети в первичную сеть, по критерию минимума суммарных строительных и эксплуатационных затрат, при условии, что надежность проектируемой сети не была меньше чем наперед заданное пороговое значение. Отметим, что впервые задачи построения гиперсетей с учетом их надежности была рассмотрена в [1,2]. В качестве показателей надежности гиперсети предполагается использовать различные критерии, таким как 2-х терминальная связность выделенных пар вершин, средняя надежность сети и вероятность существования путей между выделенных пар вершин [3,4].

Так как не существует однозначного точного решения поставленной задачи, то его выбор осуществлялся эвристическими подходами, основанные на моделях теории гиперсетей [5] и различных метаэвристик, такой как алгоритм муравьиной колонии [6]. Для построения гиперсети, имеющей минимальной стоимости и удовлетворяющей заданный порог надежности, был разработан модифицированный алгоритм муравьиной колонии. Предложенный алгоритм основывается на методах эволюционного синтеза и модели гиперсети, что позволяет построить гиперсеть, соответствующие условиям экономичность и заданный порог надежность функционирования проектируемой сети.

Список литературы

1. Rodionov, A.S., Rodionova, O.K.: Random Hypernets in Reliability Analysis of Multilayer Networks. J. Lecture Notes in Electrical Engineering, 343, 307–315 (2015)
2. Rodionov, A.S., Rodionova, O.K.: Using Random Hypernets for Reliability Analysis of Multilevel Networks. In: 1st Int. Conf. on Mathematical Methods and Computational Techniques in Science and Engineering (MMCTSE 2014), ser. Mathematical Methods in Science and Engineering, pp. 119–121., Athens, Greece (2014)
3. Guljigit Toktoshev, Anastasiya Yurgenson, Denis Migov. Design of Utility Network Subject to Reliability Constraint // *Proc. of International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, IEEE SIBIRCON 2017, Novosibirsk, Russia, 18-22 Sept. 2017*. P. 172-17.
4. Gulzhigit Y. Toktoshev, Anastasia N. Yurgenson and Denis A. Migov On a Problem of the Utility Network Design // *OPTA-SCL 2018, (Springer), 8-14 July.2018, vol.2098, P.385-395*
5. Попков В.К. О моделировании городских транспортных систем гиперсетями // *Автоматика и телемеханика*. — 2011. — 72. № 6. — С. 179-189.
6. Dorigo M. Swarm Intelligence, Ant Algorithms and Ant Colony Optimization // *Reader for CEU Summer University Course “Complex System”*. Budapest, Central European University, 2001. P. 1-38.

Применение нечетких моделей в автоматизированных системах управления технологическими процессами

С. Р. Шакиров¹, А. В. Писарев¹, А. Г. Квашинин²

¹Институт вычислительных технологий СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: ShakirovSR@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10294

Использование нечетких моделей в автоматизированных системах управления технологическими процессами рассмотрено на примере управления комплексом по переработке органических отходов [1]. При работе комплекса осуществляются: подготовка и подача сырья на сушку, сжигание или частичное сжигание в режимах пиролиза или газификации сырья после сушки, рекуперация тепла. Для сохранения заданного качества процесса управления объектом регулирования, структура и динамика которого претерпевает существенные изменения, выполняется адаптация алгоритма управления в режиме реального времени. Классические регуляторы применяться для этой задачи не могут, т.к. требуют постоянной корректировки параметров настройки [1]. Для управления тепловой нагрузкой комплекса в регуляторе используется инверсная нечеткая модель объекта регулирования, которая определяется в режиме реального времени по его входному и выходному сигналам [2].

Выполнено моделирование работы регулятора тепловой нагрузки для всего диапазона динамических характеристик объекта регулирования. Получены устойчивые переходные процессы с требуемыми показателями качества.

Список литературы

1. Вильчек С.Ю., Квашинин А.Г., Сафронов А.В., Сторожев Ф.Н. Проблемы создания адаптивной системы управления энергетическим комплексом по переработке углеродосодержащих отходов // "Индустриальные информационные системы" – ИИС-2015. Всероссийская конференция с международным участием: Сборник тезисов докладов. Новосибирск, КТИ ВТ СО РАН, 2015. – С. 15 – 16.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.

On the Simplification of a technical vision algorithm based on epipolar geometry and cubic splines

B. M. Shumilov, A. V. Titov

Tomsk State University of Architecture and Building

Email: sbm05@yandex.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10295

The purpose of the work is the creation of new technology for recognition of transport infrastructure facilities [1], including simplifications of an algorithm for operation of technical equipment from video fixing under changing environmental factors [2]. In this work, we used methods for determining the volume of three-dimensional objects from the data of photo and video recording of the surrounding situation [3]. The novelty of the research is considering the possibility of using epipolar geometry [4] and wavelets [5] to solve the problem. We obtained the algorithm of technical vision, which is supposed to implement as a program on a mobile device for recognition of transport infrastructure aids and appliances and their defects by means of stereometry. One could use the data obtained in the planning of road repairs, in the analysis of traffic accidents by road police, for processing road users' complaints, etc.

References

1. Shumilov B.M., Baigulov A.N. A study on modeling of road pavements based on a laser scanned data and a novel type of approximating Hermite wavelets // WSEAS Transactions on Signal Processing. 2015. V. 11. P. 150–156.
2. Elugachev P., Shumilov B. Development of the technical vision algorithm // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 216. 04003 / Polytransport Systems-2018: 7 p.
3. Shumilov B., Gerasimova Y., Makarov A. On Binarization of Images at the Pavement Defects Recognition. 2018 IEEE International Conference on Electrical Engineering and Photonics (EExPolytech), Saint Petersburg, Russia, 2018. P. 107–110.
4. Hartley R., Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
5. Shumilov B.M. Multiwavelets of the third degree Hermitian splines, orthogonal to cubic polynomials // Mathematical models and computer simulations. 2013. V. 5, No. 6. P. 511–519.

Использование библиотеки управления распределенными данными Didal для создания параллельных реализаций численных методов для вычислительных машин с распределенной памятью

Г. А. Щукин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный технический университет

Email: schukin@ssd.ssc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10296

Представлена разрабатываемая автором C/C++ библиотека Didal (Distributed data library), предназначенная для поддержки создания эффективных параллельных программ для систем с распределенной памятью. Библиотека включает в себя средства управления распределенными данными и задания вычислений над ними и избавляет пользователя от необходимости самостоятельно программировать низкоуровневые операции распределения ресурсов, обмена сообщениями и балансировки нагрузки при создании параллельной программы. Отличием Didal от существующих аналогичных инструментов параллельного программирования является использование распределенных алгоритмов управления данными и динамической балансировки нагрузки, разработанных ранее для системы LuNA [1,2]. Приведены примеры использования библиотеки Didal для создания параллельных реализаций различных численных методов, для полученных параллельных программ проведено тестирование их эффективности.

Список литературы

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A., Schukin G.A. Scalable distributed data allocation in LuNA fragmented programming system. The Journal of Supercomputing, February 2017, vol. 73, no. 2, pp. 726-732.
2. Щукин Г.А. Распределенный алгоритм отображения распределенных многомерных данных на многомерный мультимикомпьютер в системе фрагментированного программирования LuNA. Вестник ЮУрГУ, серия "Вычислительная математика и информатика", том 7, № 2. Челябинск, изд. центр ЮУрГУ, 2018, С. 63-76.

Секция 9. КОМПЬЮТЕРНАЯ БИОЛОГИЯ

Pluripotency gene network dynamics: System views from parametric analysis

I. R. Akberdin^{1,2,3}, N. A. Omelyanchuk^{2,3}, S. I. Fadeev^{3,4}, N. E. Leskova³, E. A. Oschepkova^{2,3}, F. V. Kazantsev^{2,3}, Yu. G. Matushkin^{2,3}, D. A. Afonnikov^{2,3}, N. A. Kolchanov^{2,3}

¹BIOSOFT.RU, LLC

²Institute of Cytology and Genetics SB RAS

³Novosibirsk State University

⁴Sobolev Institute of Mathematics SB RAS

Email: akberdinir@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10297

Multiple experimental data demonstrated that the core gene network orchestrating self-renewal and differentiation of mouse embryonic stem cells involves activity of Oct4, Sox2 and Nanog genes by means of a number of positive feedback loops among them. However, recent studies indicated that the architecture of the network should also incorporate negative Nanog autoregulation and might not include positive feedbacks from Nanog to Oct4 and Sox2. Thorough parametric analysis of the mathematical model based on this revisited core regulatory circuit identified that there are substantial changes in model dynamics occurred depending on the strength of Oct4 and Sox2 activation and molecular complexity of Nanog autorepression. The analysis showed the existence of 4 dynamical domains with different numbers of stable and unstable steady states. We hypothesize that these domains can constitute the checkpoints in a developmental progression from naïve to primed pluripotency and vice versa. During this transition, parametric conditions exist, which generate an oscillatory behavior of the system explaining heterogeneity in expression of pluripotent and differentiation factors in serum ESC cultures [1].

This research was funded by the Integration Program № 0324-2018-0021.

References

1. Akberdin, I.R., Omelyanchuk, N.A., Fadeev, S.I., Leskova, N.E., Oschepkova, E.A., Kazantsev, F.V., Matushkin, Y.G., Afonnikov, D.A. and Kolchanov, N.A., 2018. Pluripotency gene network dynamics: System views from parametric analysis. *PLoS one*, 13(3), p.e0194464.

Поиск новых генов устойчивости сельскохозяйственных растений к биотическому и абиотическому стрессу на основе широкомасштабного анализа транскриптомов

Д. А. Афонников^{1,2}, М. А. Генаев¹, Н. А. Шмаков¹, З. С. Мустафин¹, А. М. Мухин^{1,2},

Д. К. Константинов^{1,2}, А. В. Дорошков^{1,2}, С. А. Лашин^{1,2}

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН

²Новосибирский государственный исследовательский университет

Email: ada@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10298

В настоящее время анализ экспрессии генов сельскохозяйственных культур на основе экспериментов RNA-seq является одним из эффективных направлений поиска генов, имеющих важное биологическое значение. Результаты важны для генетиков и селекционеров при создании сортов, устойчивых к стрессу, поиске маркеров новых полезных генов. Однако большинство публикуемых в статьях и базах результатов анализа экспрессии генов опираются лишь на референсные геномные последовательности. Для сельскохозяйственных растений все больше появляется данных о транскриптомах сортов и линий, генотип которых отличается от генотипа референсного организма. Большинство из таких транскриптомов содержат последовательности, которые не обнаруживаются в референсном геноме и могут быть получены только методом сборки *de novo*.

В настоящей работе проведен массовый анализ транскриптомов 5 сельскохозяйственных культур (кукуруза, рис, томат, картофель и ячмень), взятых из доступных SRA архивов NCBI и EBI (всего свыше 1300 библиотек).

Для каждой из библиотек было проведена реконструкция последовательностей транскриптов *de novo* и проведен анализ полученных данных. Показано, что доля транскриптов, которые выравниваются

на референсный геном варьирует от 50 до 90 % и отличается в зависимости от культуры. Наибольшая доля выравненных транскриптов характерна для кукурузы (60-90 %), наименьшее значение наблюдается для выборки транскриптомов томата (45-60 %). При этом показано, что доля идентифицированных в геноме транскриптов отрицательно коррелирует со средней долей замен в транскриптах по отношению к референсному геному.

Для последовательностей "новых" транскриптов, которые не были выровнены на геном, проведена идентификация ОРС, аминокислотных последовательностей и проведена их аннотация. Идентифицированы транскрипты, которые гомологичны генам стрессового ответа растений на засуху, окислительный стресс, высокие температуры и генам устойчивости растений к патогенам.

Работа поддержана грантом РНФ 18-14-00293.

Численное моделирование фокусированного ультразвука при проведении хирургического вмешательства

К. А. Беклемышева, А. О. Казаков, И. Б. Петров

Московский физико-технический институт

Email: petrov@mipt.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10299

Одним из активно развивающихся направлений неинвазивной хирургии является фокусированный ультразвук (ФУЗ) [1]. Ультразвуковой импульс, проходящий от источника через мягкие ткани, имеет малую амплитуду, но при его фокусировке в определенной точке можно вызвать как локальный разогрев, так и механическое повреждение тканей. Технология, основанная на кавитационном эффекте, менее распространена, так как обладает рядом недостатков, основным из которых является непредсказуемость побочных эффектов [2].

Численное моделирование воздействия ФУЗ на человеческий организм позволит определить основные механизмы и факторы, вызывающие нежелательные разрушения тканей. В данной работе были сделаны первые шаги в этом направлении. Для трехмерных расчетов использовались сеточно-характеристический метод [3] и метод Галеркина [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-29-02127).

Список литературы

1. Tyshlek, D., Aubry, J-F, Ter Haar, G., Hananel, A., Foley, J., Eames, M., Kassell, N., Simonin, H.H. Focused ultrasound development and clinical adoption: 2013 update on the growth of the field // *Journal of Therapeutic Ultrasound*. 2014. T.2, №2.
2. Hynynen K, Chung AH, Colucci V, Jolesz FA. Potential adverse effects of high-intensity focused ultrasound exposure on blood vessels in vivo // *Ultrasound Med. Biol.* 1996. T.22, №2. P. 193–201.
3. Beklemysheva K.A., Danilov A.A., Petrov I.B., Salamatova V.Yu., Vassilevski Yu.V., Vasyukov A.V.. Virtual blunt injury of human thorax: Age-dependent response of vascular system // *RJNMM* 2015. V. 30, №5, P 259–268.
4. Biryukov V.A., Miryaha V.A., Petrov I.B., Khokhlov N.I. Simulation of Elastic Wave Propagation in Geological Media: Intercomparison of Three Numerical Methods // *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. 2016. T.56, №6. P.1086–1095.

Очистка биомедицинских данных от ошибочно диагностированных объектов в признаковых пространствах большой размерности

И. А. Борисова, О. А. Кутненко

Институт математики им. С. Л. Соболева

Email: biamia@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10300

При анализе биомедицинских данных методами машинного обучения исследователям часто приходится иметь дело с объектами, описанными в признаковых пространствах большой размерности. Многие метрические методы цenzурирования данных в таких пространствах перестают работать, даже если все описывающие признаки являются релевантными [1]. В работе рассматривается задача очистки биомедицинских данных от ошибочно диагностированных объектов в признаковых пространствах

большой размерности. Для решения поставленной задачи предложено два подхода. Один из них заключается в восстановлении в процессе цензурирования общей структуры данных посредством выделения наиболее релевантных признаков и наиболее типичных представителей выборки – столпов. Второй подход ориентирован только на локальные характеристики объектов выборки. Оба этих подхода используют в качестве меры сходства FRiS-функцию [2]. Предложенные подходы тестировались как на модельных, так и на реальных задачах из области медицинской диагностики. Результаты сравнивались с алгоритмами фильтрации, специально разработанными для работы в пространствах большой размерности.

Работа выполнена при поддержке программы Фундаментальных Научных Исследований РАН (код проекта № 0314-2019-15).

Список литературы

1. Aggarwal C.C. Outlier analysis // Data Mining. Springer International Publishing. 2015. P. 237–263.
2. N.G. Zagoruiko, I.A. Borisova, V.V. Dyubanov, O.A. Kutnenko. Methods of recognition based on the function of rival similarity // Pattern Recognition and Image Analysis. 2008. Vol. 18, № 1. P. 1–6.

Численное моделирование функционирования системы биомаркеров дегенеративных заболеваний

О. Ф. Воропаева¹, К. С. Гаврилова², С. Д. Сенотрусова¹

¹*Институт вычислительных технологий СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: vorop@ict.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10301

Белок p53 (супрессор опухолей) играет одну из ключевых ролей в управлении ростом, старением и отмиранием клеток. В докладе представлен ряд математических моделей функционирования наиболее важных петель положительной и отрицательной обратной и прямой связи сигнального пути белка p53. Выполнен численный анализ решений моделей в широком диапазоне параметров, обнаружены бифуркации Андронова-Хопфа и квазипериодические решения в диапазонах фазовых состояний p53 и его ингибиторов, соответствующих нормальной реакции сигнального пути p53 на дефекты ДНК. Проведен анализ адекватности моделей, основанный на сопоставлении с известными экспериментальными данными, которые наглядно демонстрируют свойства p53, его ингибиторов и p53-зависимых микроРНК как биомаркеров дегенеративных заболеваний. Рассмотрены варианты гипотетических терапевтических противораковых стратегий.

Комбинаторная структура 5-мерной модели кольцевой генной сети

В. П. Голубятников¹, В. С. Градов²

¹*Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: glbtn@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10302

Фазовый портрет моделирующей простейшую кольцевую генную сеть пятимерной блочно-линейной динамической системы, симметричной относительно циклических перестановок координат, разбивается на 32 блока, в каждом из которых эта система линейна. Валентностью блока D назовем количество соседних с ним блоков, в которые траектории системы могут переходить из блока D . Установлены достаточные условия существования двух циклов этой системы, симметричных относительно таких перестановок. Один из этих циклов (описанный ранее в [1]) проходит по блокам валентности 1, другой – по цепочке из десяти блоков валентности 3. Показано, как эта цепочка зависит от параметров системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-01-00057) и СО РАН (грант 0314-2018-0011).

Список литературы

1. Голубятников В. П., Иванов В. В. Циклы в нечетномерных моделях кольцевых генных сетей // Сибирский журнал индустриальной математики. 2018. Т. 21, № 4. С. 28–38.

О циклах в моделях генных сетей

В. П. Голубятников¹, Л. С. Минушкина²

¹Институт математики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: glbntn@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10303

Найдены необходимые и достаточные условия существования цикла у шестимерной блочно-линейной динамической системы, моделирующей кольцевую генную сеть. Для таких систем размерности 3 показаны существование ([1]), а также единственность и устойчивость такого цикла. Гладкие аналоги таких систем рассматривались в [2,3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-01-000057) и СО РАН (грант 0314-2018-0011).

Список литературы

1. Голубятников В.П., Иванов В.В., Минушкина Л.С. О существовании цикла в одной несимметричной модели кольцевой генной сети // Сиб. журн. чистой и прикладной математики. 2018. Т. 18, № 3. С. 27–35.
2. Аюпова Н.Б., Голубятников В.П., Казанцев М.В. О существовании цикла в одной несимметричной модели молекулярного репрессилатора // Сиб. журн. вычислит. математики. 2017. Т. 20, № 2. С. 121–129.
3. Колесов А.Ю., Розов Н.Х., Садовничий В.А. Периодические решения типа бегущих волн в кольцевых генных сетях // Известия РАН, сер. математическая. 2016. Т. 80, № 3. С. 67–94.

Поиск циклов в одной n -мерной модели кольцевой генной сети

В. С. Градов

Новосибирский государственный университет

Email: gnets2008@outlook.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10304

Рассматривается блочно-линейная динамическая система размерности n , симметричная относительно циклической перестановки координат. Инвариантной областью такой системы является параллелепипед Q , расположенный в положительном ортанте n -мерного Евклидова пространства. Q разбивается плоскостями, параллельными координатным, на блоки, в каждом из которых система линейна. Назовем валентностью блока D количество соседних с ним блоков, в которые траектории системы могут переходить из D . Существует минимум две цепочки из $2n$ блоков валентности $n-2$, по которым могут проходить циклы системы. Установлены необходимые и достаточные условия существования циклов в этих цепочках. Случай $n=3$ рассмотрен в [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-01-00057).

Список литературы

1. Голубятников В. П., Иванов В.В., Минушкина Л.С. О существовании цикла в одной несимметричной модели кольцевой генной сети // Сибирский журнал чистой и прикладной математики. 2018 Т. 18, № 3. С. 26–302.

Фрактальные характеристики бактериальных геномов

В. Д. Гусев¹, Л. А. Мирошниченко¹, Ю. П. Джигоев²

¹Институт математики им. С. Л. Соболева

²НИИ Биомедицинских технологий ИГМУ

Email: luba@math.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10305

Под локальным ДНК-фракталом [1] авторы понимают цепочку из тандемно повторяющихся палиндромов или комплементарных палиндромов. Совокупность неслучайных цепочек такого типа, представленных в геноме микроорганизма, удобно использовать для сопоставления близкородственных объектов, в частности, чумной бактерии (*Yersinia pestis*) и бактерии псевдотуберкулеза (*Yersinia pseudotuberculosis*). Вторую принято считать прародительницей первой, но при близости геномов они радикально отличаются по своей патогенности. По результатам обработки полных геномов разных штаммов показано, что основные фрактальные структуры, выделяемые в геномах *Yersinia pestis*

характеры и для псевдотуберкулеза, но обратное неверно: спектр фрактальных структур в геномах *Yersinia pseudotuberculosis* богаче, т.е. в них имеются структуры, отсутствующие в геномах чумной бактерии.

Работа выполнена при поддержке программы Фундаментальных Научных исследований РАН, проект № 0314-2019-0015.

Список литературы

1. Гусев В.Д., Мирошниченко Л.А., Чужанова Н.А. – Выявление фракталоподобных структур в ДНК-последовательностях // Information Science & Computing. International Book Series, №8: Classification, Forecasting, Data Mining. – ITHEA, Sofia, 2009.- P. 117-123.

Алгоритмы анализа экспериментальных медицинских данных

А. Г. Зотин¹, К. В. Симонов², Ю. А. Хамад³, М. А. Курако³, Т. В. Черепанова⁴

¹Сибирский государственный университет науки и технологии им. акад. М. Ф. Решетнева

²Институт вычислительного моделирования СО РАН

³Сибирский федеральный университет

⁴Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого

Email: zotinkrs@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10306

Исследование посвящено разработке вычислительной методики для оценки показателей процесса регенерации тканей с применением сетчатых никелид-титановых имплантатов с памятью формы в эксперименте [1]. Обработка и анализ данных наблюдений электронной микроскопии и классического гистологического исследования выполнялись с применением авторских алгоритмов и их модификаций. В качестве вычислительного инструментария для выделения внутренних геометрических черт экспериментальных изображений объектов интереса применялись алгоритмы шиарлет- и вейвлет-преобразований, а также алгоритмы построения упругих карт для эффективной визуализации данных [2]. Важным аспектом исследования являлось применение вычислительных средств предобработки данных для повышения контрастности и яркости анализируемых изображений на основе технологии Retinex [3].

Список литературы

1. Cherepanova T. V., Simonov K. V. Study of the interaction between the implanted material and body tissues in the experiment // Medicine and High Technologies, 2018. № 3. P. 42–49.

2. Zotin A, Simonov K, Kapsargin F, Cherepanova T, Kruglyakov A, Cadena L. Techniques for Medical Images Processing Using Shearlet Transform and Color Coding. In: Favorskaya M, Jain L editors. Computer Vision in Control Systems-4. Intelligent Systems Reference Library, 2018. Vol. 136. P. 223-259. Springer, Cham.

3. Zotin A. Fast Algorithm of Image Enhancement based on Multi-Scale Retinex // Procedia Computer Science, 2018. Vol. 131. P. 6-9.

Моделирование патогенеза бурой ржавчины на листе пшеницы

У. С. Зубаирова^{1,2}, А. В. Дорошков^{1,2}, С. В. Николаев¹, Д. А. Богуславский¹, Д. А. Афонников^{1,2}

¹Институт цитологии и генетики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: ulyanochka@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10307

Буряя ржавчина (*Puccinia recondita*) поражает листья растений, в результате уменьшается их способность к фотосинтезу, что приводит к снижению урожайности пшеницы. Для изучения патогенеза этого заболевания используется широкий класс методов системной биологии, в том числе и компьютерные модели [1], которые рассматривают взаимодействие патоген-растение как комплексный процесс. В работе представлена клеточно-автоматная модель, позволяющая проводить вычислительные эксперименты для получения прогнозов относительно динамики развития инфекции на листе пшеницы с учетом сопротивляемости растений, клеточной структуры эпидермиса листа и механизмов проникновения возбудителя в ткань и клетки. Модель верифицирована на основе данных, полученных в результате анализа временной серии цифровых изображений фрагментов листьев пшеницы, зараженных спорами бурой ржавчины в лабораторных условиях. Пространство представлено равномерной сеткой, каждая

ячейка которой соответствует фрагменту листа и может быть сопоставлена с одним или несколькими пикселями на изображениях. Состояния ячеек и правила переходов описывают развитие заболевания с учетом процессов латентной и явной стадий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-29-08028).

Список литературы

1. Николаев С.В., Зубаирова У.С., Сколотнева Е.С., Орлова Е.А., Афонников Д.А. Системный подход к моделированию развития листостебельных грибных инфекций пшеницы. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(1):100-109. DOI 10.18699/VJ19.468

Автоматическое извлечение знаний из текстов научных публикаций и баз данных в области биологии и биомедицины

В. А. Иванисенко^{1,2}, Е. С. Туйс¹, Т. В. Иванисенко¹, П. С. Деменков¹

¹*Институт цитологии и генетики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

Email: salix@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10308

Реконструкция и анализ генных сетей является в настоящее время широко распространенным методом описания молекулярных механизмов функционирования биологических систем в норме и при патологии. Однако процесс реконструкции, основанный на ручном анализе экспертов, требует больших временных затрат. Как правило, для реконструкции даже небольших сетей требуется изучение многих тысяч научных публикаций и работа с большим количеством баз данных. Разработана компьютерная система ANDSystem, предназначенная для автоматического извлечения знаний из текстов научных публикаций и баз данных на основе методов интеллектуального анализа данных [1]. С использованием этой системы проведен анализ более 25 млн. научных публикаций PubMed и нескольких десятков баз данных. База знаний ANDSystem, содержащая результаты этого анализа, включает в себя информацию о более 30 млн. фактах о молекулярно-генетических взаимодействиях, регуляции экспрессии, активности, транспорта, каталитических реакциях, а также ассоциациях генов с заболеваниями. Все взаимодействия описываются на уровне организма, а также клетки и ткани. Доступ к базе знаний осуществляется с помощью инструмента ANDVisio, обеспечивающего возможность реконструкции и анализа генных сетей. Представлена возможность реконструкции генных сетей, специфически связанных с изучаемым процессом, с учетом различных свойств вершин графа, включая центральность и специфичность. Максимизация величины этих свойств в процессе реконструкции обеспечивает увеличение связности генов внутри генной сети. Функциональность таких сетей подтверждается фактом, что генные сети процессов Gene Ontology обладают большей связностью по сравнению со случайными сетями.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта "Исследование, анализ и комплексная независимая экспертиза проектов Национальных технологических инициатив, в том числе сопровождение проектов "дорожной карты" "NeuroNet", выполняемого в рамках государственного задания № 28.12487.2018/12.1 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Ivanisenko V.A., Demenkov P.S., Ivanisenko T.V., Mishchenko E.L., Saik O.V., A new version of the ANDSystem tool for automatic extraction of knowledge from scientific publications with expanded functionality for reconstruction of associative gene networks by considering tissue-specific gene expression. BMC Bioinformatics. 2019. V.20(Suppl 1), P.34.

Реконструкция генных сетей нейротрансмиттерных систем человека

Р.А. Иванов^{1,2}, А. И. Клименко^{1,2}, А. Н. Савостьянов^{1,2,3}, С.А. Лашин^{1,2}

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины

Email: lashin@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10309

Исследование биологических основ индивидуальных различий в поведении человека является одной из актуальных задач современной психологии. Медицинское значение данных исследований обусловлено тем, что развитие ряда неврологических и психиатрических заболеваний, а также особенности их возникновения, напрямую связаны с психологическими особенностями личности [1]. Многие работы указывают на важную роль нейромедиаторных систем в механизмах регуляции индивидуального поведения [2]. Методы системной биологии и, в частности, реконструкция и анализ генных сетей, являются на сегодняшний день одними из основных инструментов исследования взаимосвязей между генотипом человека и его комплексными фенотипическими признаками. Данная работа посвящена исследованию генетических факторов, ответственных за развитие тревожного поведения и депрессии, путем реконструкции и анализа генных сетей нейротрансмиттерных систем человека. Генные сети были дополнены генами, ассоциированными с тревожным поведением и с психическими расстройствами, для которых были выявлены противоречивые фенотипические проявления в различных популяциях человека. Для полученных сетей был проведен анализ регуляторных контуров и эволюционный анализ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта №18-29-13027 МК).

Список литературы

1. Knyazev G.G. et al. Anxiety and oscillatory responses to emotional facial expressions // *Brain Res.* 2008. V. 1227, P. 174-188.
2. Ebstein R.P. The molecular genetic architecture of human personality: beyond self-report questionnaires // *Mol. Psychiatry.* 2006. V. 11, No. 5, P. 427-445.

Mathematical modelling of fluid flow in a vessel with elastic walls

V. A. Kozlov¹, S. A. Nazarov², G. L. Zavorokhin³

¹Linköping University, Linköping, Sweden

²St. Petersburg State University

³Steklov Mathematical Institute (PDMI RAS)

Email: vladimir.kozlov@liu.se

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10310

We present a 2D model describing the elastic behavior of the wall of a curved flexible vessel. The wall has a laminate structure consisting of several anisotropic layers of varying thickness and is assumed to be much smaller in thickness than the radius of the channel which itself is allowed to vary. Our 2D model takes the interaction of the wall with any surrounding or supporting material and the fluid flow. The curvature and twist of the vessel's axis as well as the anisotropy of the laminate wall present the main challenges in applying the dimension reduction procedure so plenty of examples of canonical shapes of pipes and their walls are supplied with explicit systems of differential equations in [1]. We use an existing 2D model of the vessel wall along with Navier-Stokes equations to model the flow through the channel while taking factors, namely, surrounding muscle tissue and presence of external forces other than gravity into account. Asymptotic analysis gives us the leading order terms constituting the Stokes flow in this model, see [2].

Acknowledgements. V.K. acknowledges the support of the Swedish Research Council (VR) grant EO418401. S.N. was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project no. 18-01-00325, and by Linköping University (Sweden). G.Z. was supported by Linköping University, and by RFBR grant 16-31-60112.

References

1. Ghosh A., Kozlov, V.A., Nazarov, S.A., Rule, D. A two-dimensional model of the thin laminar wall of a curvilinear flexible pipe. *The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 71:3, 349-367, 2018.
2. Kozlov, V.A., Nazarov, S.A., Zavorokhin, G.L. Modelling of fluid flow in a vessel with elastic walls, to appear in *PMA*, 2019.

Комбинаторная структура моделей кольцевых генных сетей*Н. Е. Кириллова**Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН**Email: kne@math.nsc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10311

Изучаются характеристики математических моделей функционирования генных сетей, см. [1,2]. Для нелинейной 9-мерной динамической системы, у которой переменные – это концентрации белков и синтезирующих их мРНК, а параметры – скорости реакций, описан фазовый портрет, найдено условие существования цикла. Для подобной 18-мерной системы, моделирующей более сложную генную сеть, сформулированы достаточные условия существования двух циклов. Каждая такая динамическая система имеет ровно одну стационарную точку. Построен алгоритм описания комбинаторных структур фазовых портретов подобных систем. Проведены численные эксперименты в пакете STEP.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-01-00057).

Список литературы

1. Голубятников В. П., Кириллова Н.Е. О циклах в моделях функционирования кольцевых генных сетей // Сиб. журнал чистой и прикл. матем. 2018 Т. 18, № 1. С. 54–63.
2. Аюпова Н.Б., Голубятников В.П., Казанцев М.В. О существовании цикла в одной несимметричной модели молекулярного репрессилатора // Сиб. журн. вычисл. матем. 2017. Т. 20, № 2. С. 121–129.

Разработка методов автоматического определения количественных характеристик, описывающих фенотипические признаки колоса пшеницы*Е. Г. Комышев¹, М. А. Генаев¹, Д. А. Афонников^{1,2}**¹Институт цитологии и генетики СО РАН**²Новосибирский государственный университет**Email: komyshev@bionet.nsc.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10312

Форма и структура колоса – важнейшие характеристики возделываемых злаков, связанные с такими их хозяйственно ценными качествами, как продуктивность, отсутствие ломкости колоса и легкость обмолота. Для выявления генов, контролирующих данные признаки, необходим сбор и анализ большого количества морфометрических данных, которые в большинстве исследований выполняются экспертами на основании визуального анализа колоса и измерений вручную. Автоматизация этого процесса за счет внедрения технологий анализа цифровых изображений, использования баз данных и мобильных устройств позволит сократить затраты времени на сбор и обработку данных.

Мы предлагаем информационную систему для аннотации морфометрических характеристик SpikeDroidDB (<http://spikedroid.biores.cytogen.ru>) и методы автоматического определения количественных характеристик, описывающих фенотипические признаки колоса пшеницы, такие как: тип формы колоса, его размеры, плотность, остистость, количество зерен в колосе, их размеры, округлость и другие параметры. Метод морфометрии зерен реализован в виде мобильного приложения SeedCounter (<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.wheatdb.seedcounter>). Метод морфометрии колоса реализован в виде консольного Java приложения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-74-10148).

MiCoSi: открытый пакет для компьютерного моделирования митоза в стадиях прометфазы, метафазы и анафазы*М. А. Кривов, П. С. Иванов**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова**Email: m_krivov@cs.msu.ru*

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10313

Актуальной проблемой биофизики является изучение процессов, протекающих при митотическом делении клетки. Сегодня, благодаря различным методам синхронизации делящихся культур, имеются точные описания каждой фазы митоза, однако до сих пор отсутствует детальное понимание механизмов,

позволяющих клетке при всем многообразии протекающих в ней процессов в результате митоза перейти в строго ожидаемое состояние.

К настоящему времени предложено множество математических моделей, описывающих отдельные стадии митоза на уровне как всей клетки, так и ее частей [1]. Результаты численного моделирования верифицируются путем сопоставления с данными экспериментов, однако это не всегда позволяет исключить конкурирующие интерпретации одних и тех же явлений.

В докладе представлены промежуточные результаты проекта разработки расширяемой мета-модели, описывающей три последовательные фазы митоза, а также ее реализации в виде программного комплекса с открытым исходным кодом [2]. В отличие от схожих работ, подобная концепция "модели-конструктора" позволяет оценить долгосрочный эффект от выбора конкретных моделей микро-уровня, например, проверить, как влияет рост тубулиновых микротрубочек на процесс центрирования хромосом перед их расхождением.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-01164а.

Список литературы

1. McIntosh R. et. al., Quarterly Reviews of Biophysics 45, 2 (2012), pp. 147-207.
2. Портал проекта MiCoSi: <https://github.com/m-krivov/MiCoSi> (дата обращения: 23.03.2019).

Методы компьютерного моделирования иерархических биологических систем

С. А. Лашин^{1,2}, Ф. В. Казанцев^{1,2}, А. И. Клименко^{1,2}, Т. Н. Лахова¹, А. А. Смирнова^{1,2}, Ю. Г. Матушкин^{1,2}

¹Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

Email: lashin@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10314

Биологические системы являются сложноорганизованными иерархическими системами, с взаимной регуляцией внутри и между различными уровнями организации. Мы представляем методы моделирования подобных систем, а также серию программных комплексов, ориентированных на решение задач в области микробиологии [1-2], популяционной генетики и молекулярной эпидемиологии [3]. Используются агентно-ориентированные многоуровневые модели, учитывающая такие уровни биологической организации как генетический, метаболический, клеточный, популяционный, экологический, а также социальный. Для каждого уровня реализованы библиотеки подмоделей, что позволяет исследовать комплексную модель, комбинируя различные сочетания подмоделей между собой. Наиболее представленной является библиотека метаболических подмоделей, в которой содержатся как простые модели отдельных метаболических реакций, так и сложные модели метаболических систем. В работе также приводится описание Интернет-доступного программного комплекса MAMMOTH [4] (<http://mammoth.biomodelsgroup.ru>), содержащем базу данных и средства построения комплексных моделей молекулярно-генетических систем бактерий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Бюджетного Проекта (код проекта 0259-2019-0008).

Список литературы

1. Lashin S.A. et al. HEC 2.0: improved simulation of the evolution of prokaryotic communities // Математическая биология и биоинформатика. 2014. Т. 9, № 2, С. 585-596.
2. Klimenko A.I. et al. Spatial heterogeneity promotes antagonistic evolutionary scenarios in microbial community explained by ecological stratification: a simulation study // Ecological modelling. 2019. Т. 16, № 1, S10.
3. Lashin S.A. et al. Agent-based modelling of genetic deafness propagation under various sociodemographic conditions // Proceedings of the 3rd International Symposium "Mathematical Modeling and High-Performance Computing in Bioinformatics, Biomedicine and Biotechnology". Novosibirsk: 2018. P. 41.
4. Kazantsev F.V. et al. MAMMOTH: a new database for curated MAtheMatical Models of bioMOlecular sysTems // Journal of bioinformatics and computational biology. 2018. Т. 16, № 01, 1740010.

Феномен прерывистой эволюции: математическая модель

В. А. Лихошвай, Т. М. Хлебодарова

Институт цитологии и генетики СО РАН

Email: tamara@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10315

Палеонтологическая летопись Земли, описывающая последние 500 млн лет ее эволюции, характеризуется прерывистостью эволюционного процесса и периодически возникающими глобальными "катастрофами" вымирания одних видов и замены их на новые, причины которых до сих пор не ясны. Опираясь на результаты моделирования, мы объясняем эти особенности палеонтологической летописи Земли действием внутренних законов функционирования динамической, саморазвивающейся системы, каковой является биота Земли. В основу модели эволюции этой системы заложено всего три фундаментальных закона функционирования живых систем. Это тип размножения, бесполой или половой, предполагающий необходимость встречи двух особей для воспроизводства потомства, зависимость эффективности воспроизводства и смертности индивидуумов от плотности биоты, а также мутационная изменчивость в процессе самовоспроизводства (ошибки репликации генома) и отбор наиболее приспособленных особей. Модель предсказывает, что прерывистость и неравномерность темпов эволюции является отражением возникновения в саморазвивающейся экосистеме Земли, двух различных устойчивых состояний (явление бистабильности). При этом переход из одного состояния в другое в каждый момент времени определялся стремлением системы к увеличению ее приспособленности к существующим условиям. Бистабильность оказалось характерной только для такой экосистемы, большая часть организмов которой размножается половым путем. Т.е., появление полового размножения в процессе эволюции живых организмов может быть одной из причин глобальных изменений структуры экосистемы Земли в последние 500 млн. лет ее эволюции.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований СО РАН (проект № 0324-2019-0040).

Численно устойчивый вероятностный классификатор логистической регрессии

В. Л. Лукинов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Email: vitaliy.lukinov@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10316

Одним из наиболее распространенных и широко используемых в статистическом анализе больших данных является разработанный в прошлом веке метод логистической регрессии [1]. В биологии и медицине логистическая регрессия применяется в самых разных областях: выявлении и исследовании степени влияния предикторов заболеваний и послеоперационных осложнений, фундаментальном для ретроспективных групповых сравнительных исследований методе Propensity Score Matching, методах автоматического и полуавтоматического распознавания медицинских изображений, методах статистического кластерного анализа [2,3,4,5].

При обработке реальных данных методом логистической регрессии требуется определить и устранить негативное влияние на качество оценок коэффициентов модели, связанное с неполнотой данных, существованием "выбросов" в данных и особых ковариантов, коллинеарностью, критерием отбора ковариантов в многофакторную модель. В данной работе предложен и реализован алгоритм, позволяющий контролировать и устранить перечисленные выше негативные факторы.

Другой задачей является разработка параллельных алгоритмов расчета коэффициентов логистической регрессии и характеристик качества. При этом необходимо решить оптимизационную задачу, реализующую критерий максимального правдоподобия. Известный подход, основанный на итерационном методе Ньютона-Рафсона, является численно неустойчивым и может привести к неправильному нахождению коэффициентов регрессии [6]. В данной работе предлагается новый параллельный численно-устойчивый итерационный алгоритм решения задачи минимизации на основе случайного поиска. Проведено сравнение с базовым алгоритмом lm из языка статистической обработки данных R [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 19-29-01176).

Список литературы

1. Cox D.R., "The regression analysis of binary sequences (with discussion)"// J Roy Stat Soc B. 20 (2): 215–242, 1958.
2. Walker S.H., Duncan D.B. "Estimation of the probability of an event as a function of several independent variables" // Biometrika. 54 (1/2): 167–178, 1967 DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.2307/2333860. JSTOR 2333860.
3. Truett J., Cornfield J., Kannel W, "A multivariate analysis of the risk of coronary heart disease in Framingham" // Journal of Chronic Diseases. 20 (7): 511–24, 1967 DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.1016/0021-9681(67)90082-3
4. Rosenbaum P.R., Rubin D.B. "The Central Role of the Propensity Score in Observational Studies for Causal Effects" // Biometrika. 70 (1): 41–55, 1983 DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.1093/biomet/70.1.41
5. Venkatesan R., Meng J.E., "A novel progressive learning technique for multi-class classification" // Neurocomputing. 207: 310–321, 2016. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.1016/j.neucom.2016.05.006
6. Н. П. Васильев, А. А. Егоров, "Опыт расчета параметров логистической регрессии методом Ньютона–Рафсона для оценки зимостойкости растений" // Матем. биология и биоинформ., 6:2 (2011), 190–199
7. <https://www.r-project.org/about.html>.

3D genome modeling by Hi-C and ChIA-PET data

Y. L. Orlov^{1,2}, A. I. Dergilev¹, S. S. Kovalev², R. O. Babenko¹, G. Li³

¹Novosibirsk State University

²Institute of Cytology and Genetics SB RAS

³Huazhong Agricultural University, Wuhan, China

Email: orlov@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10317

Chromatin interactions in cell nuclei play a critical role for gene expression regulation. Series of post-genome technologies have been developed to study the transcription regulation, such as ChIP-chip, ChIP-Seq [1]. Identification of genome-wide distal chromatin interactions provides novel insights into the problem. Hi-C and Chromatin Interaction Analysis with Paired-End-Tag sequencing (ChIA-PET) methods for such analysis requires development of specialized software. The aim of the work was to review existing computer tools for 3D genome structure data analysis and spatial topological domains.

References

1. Li G. et al. Chromatin Interaction Analysis with Paired-End Tag (ChIA-PET) sequencing technology and application. BMC Genomics. 2014. V. 15(Suppl 12), P. S11.

Проблемы суперкомпьютерного моделирования в биоинформатике

Ю. Л. Орлов^{1,2,3}, В. Е. Жилицкий¹, С. С. Ковалев², А. Г. Галиева¹, А. Н. Лузин¹, Н. Л. Подколотный²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт цитологии и генетики СО РАН

³Первый МГМУ им. И. М. Сеченова

Email: orlov@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10318

Естественные науки требуют разработки новых решений для суперкомпьютерного моделирования биологических систем и процессов, особенно актуальных в связи с бурным ростом данных, полученных с помощью современных технологий высокопроизводительного секвенирования ДНК [1]. Огромные объемы и сложность экспериментальных данных в современной генетике требуют использования современных суперкомпьютерных технологий, разработки эффективных математических методов анализа данных. Будут рассмотрены программы компьютерной геномики для анализа биомедицинских данных.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН (0259-2019-0002).

Список литературы

1. Tatarinova T. V., Chen M., Orlov Y. L. Bioinformatics research at BGRS-2018. BMC Bioinformatics. 2019. V. 20(Suppl 1). P.33.

Оценивание вероятности отбраковки ложных ассоциаций при полногеномном метаанализе ассоциаций

Д. В. Поверин, С. Н. Постовалов

Новосибирский государственный технический университет

Email: foxlandg@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10319

Полногеномный анализ ассоциаций в наши дни является одним из важных и перспективных направлений исследований в биомедицине, которые направлены на выявление связи между геномом человека и наблюдаемыми заболеваниями. В основе данного метода лежит проверка гипотезы независимости между генотипом и наличием заболевания. В последнее время в связи проведением одинаковых исследований разными группами ученых, появилась необходимость объединять их результаты.

Мета-анализ – это статистический подход анализа данных на основе объединения результатов независимых экспериментов. Целью данного подхода является выявление и оценка степени согласованности или расхождения результатов проведенных экспериментов при наличии статистической неоднородности или гетерогенности. Например, в [1] при проведении полногеномного мета-анализа ассоциаций было найдено 17 новых локусов, ассоциированных с болезнью Паркинсона, которые в предыдущих исследованиях были отброшены.

В данной работе исследованы факторы, влияющие на вероятность обнаружения новых ассоциаций и отбрасывание ложных при комбинировании результатов полногеномного анализа ассоциаций [2], а также при объединении выборок независимых экспериментов. При исследовании использовалось компьютерное моделирование по методу Монте-Карло [3].

По результатам экспериментов, было установлено, что шанс найти новые локусы, ассоциированные с наблюдаемым заболеванием, при проведении мета-анализа с помощью комбинирования p-value может быть довольно высок при определенных условиях, и достигать значения 95 %.

Список литературы

1. A meta-analysis of genome-wide association studies identifies 17 new Parkinson's disease risk loci / Chang D, Nalls M.A., Hallgrímsdóttir I.B., Hunkapiller J., van der Brug M., Cai F.; International Parkinson's Disease Genomics Consortium; 23andMe Research Team, Kerchner G.A., Ayalon G., Bingol B., Sheng M., Hinds D., Behrens T.W., Singleton A.B., Bhangale T.R., Graham R.R. // Nat Genet. 2017. – Vol. 49(10). P. 1511-1516. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1038/ng.3955.
2. Chen, Z. A new statistical approach to combining p-values using gamma distribution and its application to genome-wide association study / Z. Chen, W. Yang, Q. Liu // BMC Bioinformatics. – 2014. – DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1186/1471-2105-15-S17-S3.
3. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход : [монография] : монография / Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, С. Н. Постовалов, Е. В. Чимитова. – : Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2011. – 888 с.

Циркадные ритмы молекулярно-биологических процессов млекопитающих: анализ данных и математическое моделирование

Н. Л. Подколотный^{1,2}, Н. Н. Твердохлеб², О. А. Подколотная²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН

Email: pnl@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10320

В работе представлены результаты анализа структурно-функциональной организации генной сети циркадных часов, суточной динамики экспрессии генов и сетей белок-белковых взаимодействий. Анализ обогащенности терминами генной онтологии групп генов с различными динамическими паттернами суточной экспрессии позволил выявить перспективные для моделирования биологические процессы. На этой основе создана компьютерная модель взаимодействия автономного клеточного циркадного осциллятора с системой NAD⁺ / SIRT1, а также транскрипционным регулятором системы иммунного и воспалительного ответа NF-kB. Моделирование выполнялось в среде Matlab с использованием решателя ОДУ – ode15s. Для оценки параметров модели по экспериментальным данным использовался специализированный пакет GEARS. Моделирование показало: 1) активность NF-kB имеет ярко

выраженный циркадный характер; 2) с возрастом уменьшается активность SIRT1, что в свою очередь приводит к увеличению амплитуды циркадных осцилляций активности NF-kB и усилению воспалительной реакции; 3) возрастные изменения динамики циркадного осциллятора могут быть объяснены уменьшением активности SIRT1 с возрастом.

Картографическое проецирование пространственной структуры внутренней поверхности канала коннексина-26 для лучшего понимания его функции

В. С. Сивожелезов¹, С. В. Филиппов²

¹*Институт биофизики клетки РАН*

²*Институт математических проблем биологии РАН — филиал Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН*

Email: vsivo00@gmail.com

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10321

В качестве примера функционально значимого представления и анализа пространственной организации макромолекулярных структур, на примере коннексинового канала предлагается его "гипсометрическая" карта, полученная цилиндрическим проецированием атомов его внутренней полости. Назначаемый проекциям атомов цвет обозначает их близость к оси цилиндра и соответствует принятым в картографии канонам.

Таким образом, красным цветом на карте отображаются "пики", и они на полученных нами картах совпадают с известными из литературы узкими местами или воротами, ранее определенными в ходе многолетних ресурсоемких вычислительных экспериментов – решением уравнений Ньютона/Ланжевена для многоатомных систем (молекулярной динамикой) [1–3]. Подтвердив результаты цитируемых работ относительно одной из "воротных" аминокислот (A–F)Lys41, наш визуальный анализ окружения другой такой аминокислоты (A–F)Asp2 выявил вероятную ошибку в постановке задачи цитированных исследований и указал способы ее исправления.

Тем самым, наш инструмент дает остро недостающую визуальную основу для постановки задач вычислительной биофизики в системах, содержащих труднодоступные макромолекулярные активные центры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-07-00354 А).

Список литературы

1. Zonta, F., Polles, G., Zanotti, G., & Mammano, F. (2012). Permeation pathway of homomeric connexin 26 and connexin 30 channels investigated by molecular dynamics. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 29(5), 985-998.
2. Alizadeh, H., Davoodi, J., Zeilinger, C., & Rafii-Tabar, H. (2018). Molecular dynamics simulation of the thermosensitivity of the human connexin 26 hemichannel. *Chemical Physics*, 500, 7-14.
3. Zonta, F., Buratto, D., Crispino, G., Carrer, A., Bruno, F., Yang, G., Mammano F., & Pantano, S. (2018). Cues to opening mechanisms from in silico electric field excitation of Cx26 hemichannel and in vitro mutagenesis studies in HeLa transfectans. *Frontiers in molecular neuroscience*, 11, 170.

Реконструкция структуры эукариотических мобильных интронов группы 2

Н. С. Кобало¹, Д. Г. Воробьев², А. И. Куликов¹, И. И. Титов^{3,4}

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*INSERM U981, Gustave Roussy Cancer Center*

³*Новосибирский государственный университет*

⁴*ФИЦ Институт цитологии и генетики СО РАН*

Email: titov@bionet.nsc.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10322

Интроны группы 2 – одни из самых распространенных мобильных элементов. Предположительно от этих интронов произошли современные интроны и ретроэлементы человека. В биотехнологии интроны группы 2 используют в качестве специфических векторов для выключения генов.

С одной стороны, интроны группы 2 обладают инвариантной, хотя и вариабельной, вторичной и третичной структурами глобулярного типа, которая обеспечивает способность интронов к самосплайсингу

и перемещению по геному. С другой, у интронов группы 2 в большинстве случаев отсутствует сходство между последовательностями, что осложняет их компьютерный поиск и реконструкцию вторичной и третичной структур. В итоге до сих пор отсутствуют представительные коллекции структур эукариотических интронов группы 2.

На основании аннотированных в базе мобильных интронов группы 2 55 эукариотических последовательностей [1] мы полуавтоматически построили обобщенные модели вторичной структуры. Черновой вариант структуры строили с помощью алгоритма симулированного отжига, который (а) минимизировал число последовательностей с целевой вторичной структурой, минимизировал (б) ее свободную энергию и (в) время работы программы для поиска последовательностей интронов группы 2 по их вторичной структуре в генетических текстах. На втором этапе структуры корректировались вручную, а также отбирались кандидаты с необходимыми третичными взаимодействиями.

Далее мы применили полученные модели вторичной структуры интронов группы 2 для классификации и реконструкции структуры интронов группы 2 в базе RFAM [2], таким образом построив структурные модели для 1999 последовательностей. Для редких случаев гомологичных последовательностей наши модели подтверждаются присутствием коадаптивных пар. Для построенных структур интронов группы 2 мы провели анализ главных компонент параметров структуры и выявили главные структурные детерминанты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Бюджетного проекта 0324-2019-0040.

Список литературы

1. Dai, L., Toor, N., Olson, R., Keeping, A., and Zimmerly, S. (2003). Database for mobile group II introns. *Nucleic Acids Res.* 31: 424-426.
2. Kalvari, I., Argasinska, J., Quinones-Olvera, N., Nawrocki, E.P., Rivas, E., Eddy, S.R., Bateman, A., Finn, R.D., and Petrov, A.I. (2018). Rfam 13.0: shifting to a genome-centric resource for non-coding RNA families. *Nucleic Acids Res.* 46(D1):D335-D342. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.1093/nar/gkx1038

Проекционные "гипсометрические" карты молекулярных структур, 3D-редактор Blender: идентификация атомов

С. В. Филиппов

Институт математических проблем биологии РАН — филиал Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН

Email: fsv141@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10323

В основу нашего метода идентификации атомов положен рендеринг изображения, "параллельного" по отношению к "гипсометрической" карте [1], на котором проекция каждого атома заполняется цветом, соответствующим определенному идентификационному номеру атома. Этот номер формируется в процессе построения 3D-модели молекулярной структуры Python-программой [2–4] в среде Blender [5] и представляет собой 15-битное целое число.

Каждые пять бит идентификатора размещаются в младших разрядах 8-битных значений цветовых RGB-компонент, определяющих цвет атома. Старшие три бита RGB-компонент одинаковы у всех атомов, принадлежащих одному и тому же химическому элементу, и определяют для него один из 512 возможных цветовых оттенков.

При построении молекулярной модели, цвета, соответствующие атомам, сохраняются в индивидуальном для каждого атома шейдере и записываются в текстовый файл — таблицу соответствия цветов PDB-обозначениям атомов.

Для наглядной идентификации атомов нами написана Python-программа, использующая библиотеки PIL [6] и TkInter [7].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-07-00354 А).

Список литературы

1. Салищев К. А. "Картоведение". М.: Изд-во Московского ун-та, 1990, 400 с.
2. Филиппов С. В. Программная платформа Blender как среда моделирования объектов и процессов естественно-научных дисциплин // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2018, № 230, 42 с., DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.20948/prepr-2018-230 URL: http://keldysh.ru/papers/2018/prep2018_230.pdf (дата обращения: 28.11.2018).

3. Филиппов С. В., Сивожелезов В. С. Метод построения динамических молекулярных моделей в среде открытой 3D-платформы Blender на примере β 2-адренорецептора // Доклады Международной конференции "Математическая биология и биоинформатика". Под ред. В. Д. Лахно. Том 7. Пущино: ИМПБ РАН, 2018. Статья № е45. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.17537/icmbb18.23.

4. Филиппов С. В. Методы работы с динамическими молекулярными моделями, построенными в среде открытого 3D редактора Blender // Доклады Международной конференции "Математическая биология и биоинформатика". Под ред. В. Д. Лахно. Том 7. Пущино: ИМПБ РАН, 2018. Статья № е43. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.17537/icmbb18.62.

5. Сайт программы 3D моделирования, анимации и рендеринга – Blender. [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.blender.org> (дата обращения: 20.03.2019).

6. Alex Clark. Pillow (PIL Fork) Documentation. Release 5.4.1. [Электрон. ресурс]. URL: <http://infohost.nmt.edu/tcc/help/pubs/tkinter/web/index.html> (дата обращения: 23.03.2019). DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10001 10.5281/zenodo.44297.

7. John W. Shipman. Tkinter 8.5 reference: a GUI for Python. [Электрон. ресурс]. URL: <http://infohost.nmt.edu/tcc/help/pubs/tkinter/web/index.html> (дата обращения: 23.03.2019).

"Гипсометрические" карты пространственных молекулярных структур

С. В. Филиппов¹, Р. В. Полозов², В. С. Сивожелезов³

¹Институт математических проблем биологии РАН — филиал Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН

²Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН

³Институт биофизики клетки РАН

Email: fsv141@mail.ru

DOI: 10.24411/9999-017A-2019-10324

Предложен метод графического 2D-представления (био)молекулярных структур посредством цилиндрического проецирования их 3D-моделей, где развернутая в плоскость поверхность цилиндра отображает взаимное расположение атомов, а цвет определяет их взаиморасположение по глубине. Цвет выбирается в соответствии с откладываемым на градиентной цветовой шкале кратчайшим расстоянием от центра атома до оси цилиндра.

"Гипсометрические" карты, применяемые в картографии [1], мы предлагаем использовать для представления и анализа пространственной организации биомакромолекулярных и небиологических наноструктур. В особенности они полезны для структур, имеющих цилиндрическую симметрию (многие мембранные белки и нанотрубки). Метод удобен для исследований молекулярных структур, содержащих труднодоступные для визуального анализа сайты связывания. Наш метод позволяет разместить проекционную поверхность в полости молекулярной модели и получить наглядную карту для оценки сайта связывания по его доступности молекулам-лигандам или канала по прохождению через него специфических молекул/ионов.

Метод реализован в виде Python-программы [2–4], исполняемой в среде 3D-редактора Blender [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 18-07-00354 А).

Список литературы

1. Салищев К. А. Картоведение. Изд. 3. М.: Изд-во Московского ун-та, 1990, 400 с.
2. Филиппов С. В. Программная платформа Blender как среда моделирования объектов и процессов естественно-научных дисциплин // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2018, № 230, 42 с., DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.20948/prepr-2018-230 URL: http://keldysh.ru/papers/2018/prep2018_230.pdf (дата обращения: 28.11.2018).
3. Филиппов С. В., Сивожелезов В. С. Метод построения динамических молекулярных моделей в среде открытой 3D-платформы Blender на примере β 2-адренорецептора // Доклады Международной конференции "Математическая биология и биоинформатика". Под ред. В. Д. Лахно. Том 7. Пущино: ИМПБ РАН, 2018. Статья № е45. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.17537/icmbb18.23.
4. Филиппов С. В. Методы работы с динамическими молекулярными моделями, построенными в среде открытого 3D редактора Blender // Доклады Международной конференции "Математическая биология и биоинформатика". Под ред. В. Д. Лахно. Т. 7. Пущино: ИМПБ РАН, 2018. Статья № е43. DOI: 10.24411/9999-017A-2019-1000110.17537/icmbb18.62.
5. Сайт программы 3D моделирования, анимации и рендеринга – Blender. [Электрон. ресурс]. URL: <https://www.blender.org> (дата обращения: 20.03.2019).