

ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

МАРЧУКОВСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2017

Тезисы

25 июня – 14 июля 2017 г.
Академгородок, Новосибирск, Россия

УДК 519.6

ББК 22.19

Марчуковские научные чтения – 2017. Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук. Новосибирск. 25 июня – 14 июля 2017 г. Новосибирск: Омега Принт, 2017. 216 стр.

ISBN

Целью Марчуковских научных чтений – 2017 является привлечение специалистов по численному анализу, прикладной математике и вычислительным технологиям к обсуждению актуальных вопросов математики и математического моделирования, а также вопросов практического применения современных численных методов. Основные темы конференции: численный анализ, методы прикладной математики и математическое моделирование, параллельные и распределенные вычисления, информационные и вычислительные системы.

Конференция проводится при финансовой поддержке
Федерального агентства научных организаций
и Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 17-01-20243

При поддержке

Федерального агентства научных организаций,
Правительства Новосибирской области,
Мэрии города Новосибирска,
Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирского государственного университета,
Института вычислительной математики РАН,
Института вычислительного моделирования СО РАН,
Института вычислительных технологий СО РАН,
Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН,
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Института систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН и
Института цитологии и генетики СО РАН

Спонсоры

ЗАО РСК Технологии
Intel

Информационная поддержка:

Пресс-служба СО РАН

Сайт конференции: <http://conf.nsc.ru/msr17>

ISBN



**Академик Гурий Иванович Марчук
(08.06.1925 – 24.03.2013)**

Конференция АПВПМ-2015 посвящена 90-летию со дня рождения академика Гурия Ивановича Марчука. Г.И. Марчук – основатель и первый директор Вычислительного центра СО АН СССР (ныне Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН), основатель и первый директор Института вычислительной математики РАН, Председатель Сибирского отделения АН, Председатель Госкомитета по науке и технике СССР, Президент Академии наук СССР, Председатель Межведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям при Академии наук СССР, Герой Социалистического труда, лауреат Ленинской и Государственных премий.

Гурий Иванович Марчук – выдающийся ученый, крупнейший специалист в области вычислительной и прикладной математики, математического моделирования, теории ядерных реакторов и переноса излучения, теории климата и прогноза погоды, физики атмосферы, океана и охраны окружающей среды, геофизики, медицины и иммунологии, автор более 350 научных работ.

Гурий Иванович Марчук – выдающийся организатор науки и образования. Он создал крупнейшую научную школу по вычислительной математике и математическому моделированию, уделял большое внимание развитию международных научных связей, активно работал над внедрением передовых достижений науки в различных сферах деятельности современного общества.

Возглавляя Сибирское отделение АН СССР (1975–1980 гг.), Госкомитет по науке и технике СССР (1980–1986 гг.), Академию наук СССР (1986–1991 гг.), Гурий Иванович внес значительный вклад в развитие Сибирского региона, города Новосибирска, Новосибирского Академгородка и других академических центров нашей страны. В 1978 году Г. И. Марчук инициировал программу "Сибирь". Это была программа подготовки кадров и участия науки в развитии производительных сил, человеческого потенциала и комплексного использования природных ресурсов Сибири.

Огромный вклад Г. И. Марчук внес в атомный проект и создание атомного подводного флота. Гурий Иванович был организатором международного проекта "Мировой океан", международных систем дистанционного зондирования Земли из космоса.

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели программного комитета:

акад. В. П. Дымников (ИВМ РАН Москва), чл.-корр. С. И. Кабанихин (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск),
акад. А. Н. Коновалов (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск), чл.-корр. Г. А. Михайлов (ИВМиМГ СО РАН,
Новосибирск), акад. Е. Е. Тыртышников (ИВМ РАН, Москва)

Секретарь к.ф.-м.н. И. М. Куликов (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск)

Члены программного комитета

С. В. Алексеенко	Новосибирск, Россия	В. Н. Лыкосов	Москва, Россия
А. И. Аптекарев	Москва, Россия	В. Э. Малышкин	Новосибирск, Россия
В. А. Бабешко	Ростов-на-Дону, Россия	Г. Н. Малышкин	Снежинск, Россия
М. А. Бектемесов	Алматы, Казахстан	В. П. Маслов	Москва, Россия
В. И. Бердышев	Екатеринбург, Россия	М. А. Марченко	Новосибирск, Россия
В. Б. Бетелин	Москва, Россия	Ал.Г. Марчук	Новосибирск, Россия
Г. А. Бочаров	Москва, Россия	С. Б. Медведев	Новосибирск, Россия
И. В. Бычков	Иркутск, Россия	Е. И. Моисеев	Москва, Россия
Ю. В. Василевский	Москва, Россия	Г. М. Мутанов	Алматы, Казахстан
В. И. Васильев	Якутск, Россия	В. В. Пененко	Новосибирск, Россия
В. В. Васин	Екатеринбург, Россия	В. П. Пяткин	Новосибирск, Россия
В. В. Воеводин	Москва, Россия	А. С. Родионов	Новосибирск, Россия
А. Ф. Воеводин	Новосибирск, Россия	В. Г. Романов	Новосибирск, Россия
Ю. С. Волков	Новосибирск, Россия	А. А. Романюха	Москва, Россия
В. А. Вшивков	Новосибирск, Россия	К. В. Рудаков	Москва, Россия
В. А. Галкин	Сургут, Россия	К. К. Сабельфельд	Новосибирск, Россия
Б. М. Глинский	Новосибирск, Россия	В. А. Садовничий	Москва, Россия
С. К. Годунов	Новосибирск, Россия	В. М. Свешников	Новосибирск, Россия
С. В. Головин	Новосибирск, Россия	А. Л. Скубачевский	Москва, Россия
С. К. Голушко	Новосибирск, Россия	С. И. Смагин	Хабаровск, Россия
С. С. Гончаров	Новосибирск, Россия	Л. Б. Соколинский	Челябинск, Россия
М. А. Гузев	Владивосток, Россия	А. В. Тихонравов	Москва, Россия
Г. В. Демиденко	Новосибирск, Россия	М. П. Федорук	Новосибирск, Россия
Ю. Г. Евтушенко	Москва, Россия	А. М. Федотов	Новосибирск, Россия
С. М. Ермаков	Санкт-Петербург, Россия	В. М. Фомин	Новосибирск, Россия
Ю. Л. Ершов	Новосибирск, Россия	А. И. Хисамутдинов	Новосибирск, Россия
Ю. И. Журавлев	Москва, Россия	Б. Н. Четверушкин	Москва, Россия
В. П. Ильин	Новосибирск, Россия	Р. М. Шагалиев	Саров, Россия
Р. И. Ильяев	Саров, Россия	В. В. Шайдуров	Красноярск, Россия
М. Н. Калимолдаев	Алматы, Казахстан	Ю. И. Шокин	Новосибирск, Россия
Т. Ш. Кальменов	Алматы, Казахстан	М. И. Эпов	Новосибирск, Россия
Б. А. Каргин	Новосибирск, Россия	А. Г. Ягола	Москва, Россия
А. В. Кельманов	Новосибирск, Россия	G. Bao	Hangzhou, China
Г. М. Кобельков	Москва, Россия	J. Cheng	Shanghai, China
В. В. Ковалевский	Новосибирск, Россия	J. Dongarra	Knoxville, USA
В. М. Ковеня	Новосибирск, Россия	R. Glowinski	Houston, USA
В. В. Козлов	Москва, Россия	D. H. Hao	Hanoi, Vietnam
Н. А. Колчанов	Новосибирск, Россия	A. Hasanov	Izmir, Turkey
Е. В. Константинова	Новосибирск, Россия	R. Lazarov	College Station, USA
В. Н. Крупчатников	Новосибирск, Россия	J. Liu	Nanjing, China
В. И. Кузин	Новосибирск, Россия	T. Liu	Beijing, China
М. М. Лаврентьев (мл.)	Новосибирск, Россия	M. Pagano	Pisa, Italy
Ю. М. Лаевский	Новосибирск, Россия	S. Zhang	Tianjin, China
Г. Г. Лазарева	Новосибирск, Россия	J. Sundermann	Hamburg, Germany
Б. Ю. Лемешко	Новосибирск, Россия	O. B. Widlund	New-York, USA

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель организационного комитета чл.-корр РАН С. И. Кабанихин (ИВМиМГ СО РАН)

Заместители председателя организационного комитета: проф. В. П. Ильин, проф. Ю. М. Лаевский,
проф. В. В. Ковалевский, проф. Ал. Г. Марчук, к.ф.-м.н. М. А. Марченко

Секретарь к.ф.-м.н. Л. В. Вшивкова

Члены организационного комитета (ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск): Е. А. Берендеев, М. А. Боронина, Д. А. Воронов,
Г. М. Воскобойникова, Е. А. Генрих, Б. М. Глинский, А. А. Ефимова, О. Г. Заварзина, И. Н. Иванова, С. Е. Киреев, А. Е. Киреева,
С. Н. Косова, М. В. Крайнева, И. М. Куликов, И. Н. Медведев, Д. А. Мигов, Г. И. Непомнящих, Н. С. Новиков, Н. Ю. Пойдуйникова,
А. В. Пененко, Д. В. Перевозкин, А. В. Петухов, Э. А. Пьянова, В. М. Свешников, К. В. Ткачев, А. Г. Усов, И. Г. Черных,
Е. В. Чимаева, М. А. Шишленин, М. С. Юдин, А. Н. Юргенсон.

ТЕЗИСЫ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

О характере нарастания напряжений для разных типов стартовых землетрясений

В. А. Бабешко¹, А. Г. Федоренко, Е. М. Горшкова², О. В. Евдокимова³, А. С. Мухин³, С. Б. Уафа³, И. С. Телятников³, И. Б. Гладской⁴

¹Кубанский государственный университет, Южный научный центр РАН РАН

²Сибирский государственный научно-исследовательский Институт метеорологии

³Южный научный центр РАН

⁴Кубанский государственный университет

E-mail: babeshko41@mail.ru

Ранее на примере двух полубесконечных литосферных плит, моделируемых пластинами Кирхгофа, с прямолинейными границами, способных сближаться, установлена возможность возникновения землетрясения в зоне сближения литосферных плит, которое было названо "стартовым" [1]. Рассматривался лишь случай статических вертикальных воздействий на основание литосферных плит. Для исследования применялся метод упакованных блочных элементов в сочетании с факторизационными и топологическими методами [2-4]. В настоящем докладе рассматриваются как статические, так и динамические граничные задачи, в которых изучаются результаты как вертикальных, так и горизонтальных воздействий на литосферные плиты, а также различные варианты контакта литосферных плит с основанием. Выявлены характеристики возникающих концентраций напряжений в зоне сближения литосферных плит, а также расчетное поведение поверхности коры земли при таких концентрациях. Результаты сопоставляются с характером воздействия на поверхность земли реальными землетрясениями.

Отдельные фрагменты работы выполнены в рамках реализации Госзадания на 2017 г. проекты (9.8753.2017/БЧ), (0256-2014-0006), Программы президиума РАН 1-33П, проекты с (0256-2015-0088) по (0256-2015-0093), и при поддержке грантов РФФИ (15-01-01379), (15-08-01377), (16-41-230214), (16-41-230218), (16-48-230216), (17-08-00323),

Список литературы

1. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. К проблеме физико-механического предвестника стартового землетрясения: место, время, интенсивность // ДАН. 2016.Т.466. № 6. С. 664-669
2. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. Стартовое землетрясение при гармонических воздействиях// ДАН. 2016.Т.471. № 1. С. 37-40.
3. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. Об обнаружении нового типа землетрясений // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2016, №1, С. 5-11.
4. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. О свойствах стартовых землетрясений// ДАН. 2016.Т.467. № 5. С. 530-533.

Регуляризованное обращение полных тензорных магнитно-градиентных данных

Я. Ван¹, Д. В. Лукьяненко², А. Г. Ягола²

¹Институт геологии и геофизики Китайской академии наук

²МГУ им. М. В. Ломоносова

E-mail: yagola@physics.msu.ru

Рассматриваются особенности численной реализации решения трехмерной обратной задачи обращения полных тензорных магнитно-градиентных данных, которая моделируется системой трехмерных интегральных уравнений Фредгольма 1-го рода относительно вектор-функций. Для решения этой некорректно поставленной задачи применяется алгоритм, основанный на минимизации функционала Тихонова методом сопряженных градиентов с выбором параметра регуляризации по обобщенному принципу невязки. Эта обратная задача возникает, например, в геофизике для восстановления магнитного поля подземных объектов по результатам измерений на поверхности Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-51-53002-ГФЕН-а).

Список литературы

Тихонов А. Н., Гончарский А. В., Степанов В. В., Ягола А. Г. Численные методы решения некорректных задач. // М.: Наука, 1990.

Ягола А. Г., Степанова И. Э., Титаренко В. Н., Ван Я. Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике. М.: Бином, 2014.

Лукьяненко Д. В., Ягола А. Г. Использование многопроцессорных систем для решения обратных задач, сводящихся к интегральным уравнениям Фредгольма 1-го рода. // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2012, т. 18, № 1.

Я. Ван, Д. В. Лукьяненко, А. Г. Ягола. Регуляризованное обращение полных тензорных магнитно-градиентных данных // Вычислительные методы и программирование: Новые вычислительные технологии (Электронный научный журнал), 2016, т. 17, № 1, с. 13-20.

D. V. Lukyanenko, A. G. Yagola. Some methods for solving of 3D inverse problem of magnetometry // Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 2016, v. 4, N 3, pp. 4-14.

Numerical solution of the incompressible Navier-Stokes equations with applications in haemodynamics

Yu. Vassilevski^{1,2}, A. Danilov^{1,2}, I. Konshin^{1,2}, A. Lozovskiy¹, M. Olshanskii³

¹*Institute of Numerical Mathematics RAS*

²*Moscow Institute of Physics and Technology*

³*University of Houston*

We consider two issues of the finite element solution of the

Navier – Stokes equations governing incompressible viscous fluid flows. The first issue is application of threshold incomplete LU factorizations to the iterative solution of arising linear systems with non-symmetric saddle point matrices. The practical utility of the method is demonstrated on simulation of blood flow in a right coronary artery of a real patient.

The second issue stems from modelling incompressible viscous fluid flows in a time-dependent domain. We propose a method based on a quasi-Lagrangian formulation which requires the solution of one linear system per time step. The stability of the scheme does not require a CFL time-step restriction. The method is applied to simulation of a blood flow in a human heart left ventricle reconstructed from a sequence of contrast enhanced Computed Tomography images.

References

1. Konshin I., Olshanskii M., Vassilevski Yu. ILU Preconditioners for Nonsymmetric Saddle-Point Matrices with Application to the Incompressible Navier–Stokes Equations // SIAM J.Sci.Comp., V.37, No.5, pp.A2171-A2197, 2015.

2. Konshin I., Olshanskii M., Vassilevski Yu. LU factorizations and ILU preconditioning for stabilized discretizations of incompressible Navier–Stokes equations. Numer. Linear Algebra Appl. V.24, No.3, 2017, DOI: 10.1002/nla2085.

3. Danilov A., Lozovskiy A., Olshanskii M., Vassilevski Yu. A finite element method for the Navier-Stokes equations in moving domain with application to hemodynamics of the left ventricle. Russian J. Numer. Anal. Math. Modelling, V.32, No.3, 2017, to appear.

Решение задачи идентификации при динамических испытаниях скважины

В. В. Васин, Г. Г. Скорик

Институт математики и механики УрО РАН

E-mail: vasin@imm.uran.ru

При идентификации системы скважина-резервуар на основе гидродинамических тестов возникает уравнение Вольтерра первого рода типа свертки, которое связывает измеряемые изменения давления и скорость потока с искомой импульсной функцией отклика. Эта функция, подлежащая определению, является основной характеристикой при интерпретации скважинных тестов для

идентификации исследуемой системы. Кроме того, что рассматриваемая проблема является некорректно поставленной, она имеет ряд особенностей, которые чрезвычайно осложняют ее исследование с точки зрения построения надежных методов ее решения, а именно: 1) искомое решение имеет разномасштабный характер поведения; 2) входные данные (давление, скорость потока), как правило, разрывны и содержат большие ошибки измерения (до 15 %). В этой ситуации традиционные численные алгоритмы построения приближенного решения уравнения Вольтерра оказываются неэффективными.

В работе предложены и исследованы высокоточные методы [1, 2] решения задачи деконволюции, которые позволяют получить вполне удовлетворительные результаты при максимальных значениях погрешностей входных данных и построить решение с нужным свойством гладкости, требуемым для качественной интерпретации скважинных тестов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-01-00629), Уральского отделения РАН (код проекта 15-7-1-3).

Список литературы

1. Васин В. В., Скорик Г. Г. Решение задачи деконволюции в общей постановке // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. 2016. Т.22, № 2. С. 79-90.
2. Skorik G.G., Vasin V.V., Kuchuk F. A new technique for solving pressure-rate deconvolution problem in pressure transient testing // J. Eng. Math. 2016. Vol. 101, Issue 1. P. 189- 200.

Общая задача полиномиальной сплайн-интерполяции

Ю. С. Волков

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

E-mail: volkov@math.nsc.ru

Решение задачи интерполяции нелокальными сплайнами сводится к решению системы линейных уравнений для получения каких-либо определяющих параметров сплайнов. Знакоопределённость определяющих параметров сплайнов, получаемых как решение линейных систем уравнений, позволяет контролировать знак определённой производной сплайна. Условия положительности решений систем уравнений позволяют получать условия формосохранения интерполянта (положительность, монотонность и т.п.).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-07-07530).

Вычислительные методы в физике плазмы

В. А. Вишневков

E-mail: vsh@ssd.ssc.ru

Приведен обзор моделей и методов для решения задач физики плазмы Рассмотрены гидродинамические, кинетические и гибридные модели и области их применения. Более подробно рассмотрен метод частиц-в-ячейках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований 16-01-00209 "Численное моделирование неустойчивых режимов взаимодействия релятивистских электронных пучков с плазмой в установках УТС".

Сходимость приближенных методов для законов сохранения

В. А. Галкин

Сургутский государственный университет

E-mail: val-gal@yandex.ru

Расширение понятия решения (функциональные решения) для нелинейных систем законов сохранения [1, 2] позволяет обосновать сходимость приближенных методов при наличии априорной оценки аппроксимаций в пространстве локально суммируемых функций, являющейся равномерной

по параметру. Указанные утверждения справедливы даже при отсутствии непрерывности нелинейных операторов в этом пространстве. Получено обоснование вычислительных методов для моделей, которые описывают движение огромного количества взаимодействующих частиц с очень сложным поведением.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-41-00013, 16-29-15105 офи_м).

Список литературы

1. Галкин В. А. Анализ математических моделей: системы законов сохранения, уравнения Больцмана и Смолуховского. М.: БИНОМ, 2009, 408 с.
2. Галкин В. А. Уравнение Смолуховского. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001, 336 с.

Труднорешаемые задачи и большеразмерные данные: заблуждения, подходы и примеры

Э. Х. Гимади, А. В. Кельманов, А. В. Пяткин
Институт математики им. С. Л. Соболева
E-mail: gimadi@math.nsc.ru

Проблема большеразмерных данных (Big Data problem) – одна из широко обсуждаемых в последнее десятилетие. Содержательная суть проблемы заключается в необходимости компьютерной обработки больших и гигантских массивов данных за приемлемое (линейное или сублинейное) время.

В докладе обсуждаются математические аспекты, связанные с исследованием дискретных экстремальных задач, которые индуцируются этой проблемой, и имеют базовое, первостепенное и определяющее значение.

В подавляющем большинстве важных содержательных проблем анализа большеразмерных данных требуется найти решение, оптимизирующее тот или иной адекватный критерий. Поэтому ядром вычислительных алгоритмов и технологий являются методы и алгоритмы решения задач оптимизации. Решение проблемы Big Data без создания эффективных (быстрых) алгоритмов с гарантиями качества, как основных математических инструментов, вряд ли возможно.

Большие надежды, возлагаемые на методы распараллеливания вычислений, нам представляются недостаточно убедительными, поскольку они позволяют сократить время вычислений в константное (даже не в полиномиальное) число раз, в то время как для вычислительных алгоритмов достигается в лучшем случае полиномиальная временная сложность.

Основным подходом к решению большеразмерных проблем является их эффективная аппроксимация, подразумевающая: 1) построение адекватных оптимизационных моделей содержательных проблем, 2) выявление специфической (для данной проблемы) экстремальной задачи, 3) исследование этой задачи на предмет выяснения ее сложностного статуса и вопросов аппроксимируемости, 4) построение эффективного (по возможности линейного или сублинейного) алгоритма с априорными гарантиями качества (точности, вероятности несрабатывания). В докладе приводятся результативные примеры эффективного решения большеразмерных задач, основанные на указанном подходе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-11-10041).

Суперкомпьютерные технологии моделирования геофизической турбулентности

А. В. Глазунов, Е. В. Мортиков, В. Н. Лыкосов
Институт вычислительной математики РАН
E-mail: lykossov@yandex.ru

В докладе представлены вычислительные технологии расчета турбулентных течений в пограничных слоях атмосферы и океана, основанные на двух подходах: прямом численном моделировании и вихререзающем моделировании. Модели разработаны в Институте вычислительной математики РАН и Научно-исследовательском вычислительном центре МГУ имени М. В. Ломоносова,

основаны на оригинальных методах численного решения уравнений гидродинамики и на новых подходах к построению "подсеточных" замыканий. Они имеют эффективную параллельную реализацию, позволяющую использовать гетерогенную архитектуру современных суперкомпьютеров. В докладе представлены некоторые результаты по решению ряда задач, иллюстрирующих применение разработанных моделей и направленных на уточнение существующих и на построение перспективных параметризаций турбулентных процессов в моделях крупномасштабной циркуляции атмосферы и океана.

На основе прямого численного моделирования выполнено исследование структуры турбулентного течения Куэтта при сильно устойчивой стратификации. Показано, что турбулентность может поддерживаться при числах Ричардсона, превышающих известные ранее оценки. Она характеризуется сильной пространственной перемежаемостью и наличием крупномасштабных вторичных циркуляцией. Проведено численное исследование стратифицированного потока под торошенным льдом [1] при задании формы ледяных килей и их характерного пространственного распределения, согласованного с данными наблюдений. Показано, что структура турбулентного потока в перемешанном слое подо льдом, волновые возмущения и величина волновой компоненты силы сопротивления могут в значительной степени определяться пространственным распределением ледяных торосов.

Выполнено вихреразрешающее моделирование геофизических турбулентных течений в пограничном слое атмосферы над неоднородной подстилающей поверхностью совместно с лагранжевым расчетом переноса пассивных трассеров [2]. Построены оценки области влияния (функции "футпринта") поверхностного потока скаляра на пульсационные измерения, проводимые на удалении от поверхности Земли, в пограничном слое атмосферы. Проведены расчеты турбулентного переноса активных трассеров, имеющих распределение по массе и размеру и взаимодействующих с турбулентным потоком воздуха (природным аналогом является, в частности, снежная поземка). Рассмотрены факторы, влияющие на возможность взвеси частиц воздействовать на турбулентность и приводить к изменению потока импульса на подстилающей поверхности за счет эффектов стратификации двухфазной жидкости и инерции трассеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-05-03911 и 16-05-01094) и Российского научного фонда (номер гранта 17-17-01210).

Список литературы

1. Мортиков Е. В. Численное моделирование движения ледяного киля в стратифицированной жидкости // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2016, т. 52, № 1, с. 120-128.
2. Glazunov A., Rannik Ü., Stepanenko V., Lykosov V., Auvinen M., Vesala T., Mammarella I. Large-eddy simulation and stochastic modelling of Lagrangian particles for footprint determination in the stable boundary layer // Geoscientific Model Development, 2016, v. 9, p. 2925-2949.

Интегральный подход к разработке алгоритмического и программного обеспечения эксафлопсных суперЭВМ: некоторые результаты.

Б. М. Глинский, И. Г. Черных, И. М. Куликов, А. В. Снытников, А. Ф. Сапетина, Д. В. Винс
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: gbm@opg.sccc.ru

В работе [1] была предложена методология разработки алгоритмического и программного обеспечения для суперкомпьютеров эксафлопсного уровня, содержащий три связанных этапа: первый этап определяется со-дизайном, под которым мы понимаем адаптацию вычислительного алгоритма и математического метода под архитектуру суперкомпьютера на всех этапах разработки программы; на втором предполагается создание упреждающего алгоритмического и программного обеспечения для наиболее перспективных эксафлопсных суперкомпьютеров на основе имитационного моделирования с целью адаптации алгоритмов под заданную архитектуру суперкомпьютера; третий этап связан с оценкой энергоэффективности алгоритма при различных реализациях на данной архитектуре, либо на различных архитектурах. Отметим, что некоторые аспекты данного подхода применялись и ранее в работах зарубежных авторов [2,3].

Данная работа посвящена результатам, полученными авторами по применению интегрального подхода к решению вычислительно-сложных задач сейсмологии, астрофизики, физики плазмы. Понятие со-дизайна в контексте математического моделирования физических процессов понимается как построение физико-математической модели явления, численного метода, параллельного алгоритма и его программной реализации, эффективно использующей архитектуру суперкомпьютера. При таком подходе актуальным становится сравнение не только методов решения задачи, но и сравнение физических и математических постановок задачи, с целью создания наиболее эффективной реализации на выбранной вычислительной архитектуре. В частности, при решении задачи динамической теории упругости рассматривалось решение задачи в терминах скоростей смещения и напряжения и в терминах смещений. С точки зрения эффективности применения различных математических постановок сравнивалось количество уравнений, количество операций с плавающей запятой, количество 3D массивов в программе. Имитационное моделирование позволило исследовать масштабируемость алгоритмов решения вышеперечисленных задач, определить оптимальное количество вычислительных ядер для реализации алгоритмов.

С использованием профилировщика Nvidia Visual Profiler был проведен анализ программы для моделирования релаксации мощного электронного пучка в плазме на основе метода частиц в ячейках на графическом ускорителе Nvidia Kepler в силу того, что именно на этом ускорителе была получена наибольшая производительность. Собственно, энергоэффективность, определяемая в данном случае как отношение вычислительной производительности к потребляемой мощности, равно 60.8 Mflops/Вт.

В связи с появлением развитых средств векторизации вычислений в ускорителях Intel Xeon Phi помимо масштабируемости и энергоэффективности алгоритма необходимо учитывать возможность его представления в виде совокупности операций типа "daxpy" с векторами малой размерности. Если для алгоритмов линейной алгебры [4] и методов молекулярной динамики [5] сведение к таким операциям происходит естественным образом, то для механики сплошной среды такие алгоритмы необходимо ещё разрабатывать с учетом требований к порядку точности и компактности шаблонов вычислений при сохранении фундаментальных свойств численных схем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00434, код проекта 16-29-15120, код проекта 15-01-00508), гранта Президента РФ (код проекта МК – 1445.2017.9).

Список литературы

1. Глинский Б. М., Куликов И. М., Снытников А. В., Черных И. Г., Винс Д. В. Многоуровневый подход к разработке алгоритмического и программного обеспечения экзафлопсных суперЭВМ // Вычислительные методы и программирование. – 2015. – Т. 16. – С. 543-556.
2. Dosanjh S.S. et al. Exascale design space exploration and co-design // Future Generation Computer Systems. – 2014. – V. 30. – P. 46–58.
3. Bellifemine F.L., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. Wiley. 2007. 300 p.
4. Tian X. et al. Effective SIMD Vectorization for Intel Xeon Phi Coprocessors // Scientific Programming. – 2015. – V. 2015. – Article ID 269764.
5. Needham P., Bhuiyan A., Walker R. Extension of the AMBER molecular dynamics software to Intel's Many Integrated Core (MIC) architecture // Computer Physics Communications. – 2016. – V. 201. – P. 95-105.

Specific features of information processing in the context of big data

P. V. Golubtsov

МГУ им. М. В. Ломоносова

E-mail: golubtsov@physics.msu.ru

Data in "big data" sets, as a rule, have a huge volume, are distributed among numerous sites and are constantly replenished. As a result even the simplest analysis of big data faces serious difficulties. Indeed, traditional approaches to information processing assume that existing data are collected in one place, organized in the form of convenient structures (e.g., matrices) and only after that an appropriate algorithm processes these structures and produces the analysis result. In the case of big data, it can be just

impossible to collect all the data needed for a research project on one computer, and even impractical, since one computer would not be able to process them in reasonable time. As a result, there arises the need of transforming existing algorithms, leading to their "parallelization", or even developing new approaches to data processing, which, by the very formulation of the problem, could digest separate data fragments independently and in parallel. The constructed data analysis algorithm should, working in parallel on many computers, extract from each set of raw data some intermediate compact "information", gradually combine and update it, and finally, use the accumulated information to generate the result. Upon arrival of new data, it should be able to add it to the accumulated information and renew the result. We will discuss specific features of such well-arranged intermediate form of information, reveal its natural algebraic properties, and present several examples.

We will briefly review specific challenges of big data processing, such as problems of extracting, unifying, updating, and merging information and specific needs in processing data, which should be highly parallel and distributed. With these specific features in mind we will then study more closely a number of mathematical tools for Big Data analytics, such as regression analysis, linear estimation, calibration problems, real time processing of incoming (potentially infinite) data. We will see how these approaches can be transformed to conform to the Big Data demands.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00007), Российского научного фонда (код проекта 17-11-12345) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-1234.2017.1).

Список литературы

1. Годунов С. К. Элементы механики сплошной среды. М.: Наука, 1978.
2. Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н., Прокопов Г. П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976.
3. Годунов С. К. Разностный метод численного расчета разрывных решений уравнений гидродинамики // Математический сборник. 1959. Т. 47 (89). № 3. С. 271–306.
4. Сайт Международной конференции по вычислительной и прикладной математике (ВПМ'17). [Электрон. ресурс]. URL: <http://conf.nsc.ru/amca17/ru> (дата обращения: 03.11.2016).

Математическое моделирование в задаче оценки цунамиопасности побережий

В. К. Гусяков, В. А. Кихтенко, Л. Б. Чубаров

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Институт вычислительных технологий СО РАН

E-mail: gvk@sccc.ru

Задача оценки долговременной цунамиопасности (цунамирайонирование побережья) является одной из двух главных научно-практических задач в решении проблемы цунамибезопасности. В настоящее время она решается на основе методики вероятностной оценки результатов большой серии сценарных расчетов возбуждения и распространения цунами на конкретных участках акватории океана, прилегающих к защищаемому побережью, основанных на существующих представлениях о сейсмотектонике очаговых областей цунамигенных землетрясений. Эта методика предполагает построение вероятностной сейсмотектонической модели основных цунамигенных зон и применение численных моделей возбуждения и распространения цунами для расчета ожидаемых высот волн в конкретных пунктах побережья. Используемый алгоритмический инструментарий равно как и цифровые модели рельефа дна обеспечивают необходимую точность и детальность моделирования и в тоже время являются достаточно экономичными по вычислительным ресурсам, поскольку вероятностный прогноз цунамиопасности для значительных по протяженности участков побережья требует расчетов десятков и даже сотен тысяч вариантов сценариев распространения цунами. В докладе представлены результаты применения предложенной методики для расчета карт цунамиопасности Дальневосточного побережья РФ на периоды повторяемости в 100, 200, 500 и 1000 лет.

Работа выполнялась при финансовой поддержке грантов РФФИ 14-17-00219 и РФФИ 16-05-00450.

Математическое моделирование закрученных турбулентных струйных течений

А. Г. Деменков¹, Г. Г. Черных², С. Н. Яковенко³

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН

²Институт вычислительных технологий СО РАН

³Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН

E-mail: chernykh@ict.nsc.ru

Для описания течения в закрученных турбулентных струйных течениях привлекается система осредненных уравнений движения, неразрывности, переноса нормальных рейнольдсовых напряжений и скорости диссипации энергии турбулентности в приближении тонкого сдвигового слоя. Касательные турбулентные напряжения определяются из неравновесных алгебраических соотношений Родри. Численная реализация модели основана на применении конечноразностного алгоритма на подвижных сетках, консервативного по отношению к законам сохранения. В качестве примера расчетов закрученных турбулентных струй выполнено численное моделирование закрученного струйного турбулентного спутного течения за самодвижущимся телом. Рассмотрена модификация диффузионных слагаемых уравнений переноса, основанная на усовершенствованных алгебраических аппроксимациях Илюшина моментов третьего порядка, учитывающих закрутку потока. Результаты расчетов хорошо согласуются с известными экспериментальными данными ИГиЛ СО РАН. Выполнен численный анализ автомодельности вырождения дальнего турбулентного следа. Построена упрощенная математическая модель закрученного дальнего турбулентного следа.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-01-00332).

О стратегиях и тактиках параллельных вычислений

В. П. Ильин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

E-mail: ilin@sscc.ru

Рассматривается многообразие проблем достижения масштабируемого распараллеливания вычислений в сильном или слабом смысле, а также количественные критерии производительности и энергозатратности многопроцессорной вычислительной системы (МВС) постпетафлопсного уровня. Описываются вопросы отображения алгоритмов на архитектуру гетерогенных кластеров с распределенными и многопоточковыми вычислениями, с использованием низкоуровневой векторизации, а также графических ускорителей и программируемых логических схем (ПЛИСС, или FPGA). Исследуются высокопроизводительные неклассические аддитивные методы переменных направлений и декомпозиции областей, "неявные" методы наименьших квадратов в подпространствах Крылова, принципы мульти-предобуславливания итерационных процессов, а также параллелизуемые алгоритмы решения эволюционных задач. Анализируются разноуровневые подходы к реализации параллелизма на фрагментах численных методов и на различных стадиях решения конкретных прямых и/или обратных задач, а также к оптимизации вычислений на потоках задач, включая облачные и сетевые технологии.

Численная регуляризация многомерных коэффициентных обратных задач

С. И. Кабанихин^{1,2,3}, М. А. Шишленин^{1,2,3}

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

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

³Новосибирский государственный университет

E-mail: kabanikhin@sscc.ru, mshishlenin@ngs.ru

Коэффициентные обратные задачи для уравнений математической физики имеют большое значение в сейсмике, акустике, электродинамике, поскольку позволяют определить неизвестные свойства среды, такие как плотность, скорость распространения волн, проводимость, диэлектрическую

проницаемость и т.д. Эти задачи не являются классически корректными и требуют специальных методов регуляризации [1].

Методы решения обратных задач можно разделить на две основные группы: прямые и итерационные. К прямым относятся методы линеаризации, обращения конечно-разностных схем, И. М. Гельфанда, Б. М. Левитана и М. Г. Крейна, граничного управления и сингулярного разложения. Прямые методы позволяют определить неизвестные коэффициенты в фиксированной точке среды в случае, когда дополнительная информация задана в виде следа решения прямой задачи на времениподобной поверхности (например, на поверхности Земли). Прямые методы решения являются наиболее перспективными, поскольку в итерационных алгоритмах (методы градиентного спуска, метод Ньютона-Канторовича и др.) необходимо многократно решать соответствующие прямые и сопряженные задачи, что в многомерном случае является достаточно сложной проблемой.

В докладе будут рассмотрены методы решения обратных и некорректных задач для многомерных уравнений математической физики и приведены теоретические результаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 15-01-09230, 16-01-00755, 16-29-15120, 17-51-540004), Министерства образования и науки Российской Федерации и Международного математического центра Новосибирского государственного университета.

Список литературы

1. Kabanikhin S.I., Satybaev A.D., Shishlenin M.A. Direct Methods of Solving Multidimensional Inverse Hyperbolic Problems. VSP, The Netherlands, 2004.
2. С. И. Кабанихин, К. Т. Искаков, М. А. Бектемесов, М. А. Шишленин. Алгоритмы и численные методы решения обратных и некорректных задач. Астана, Казахстан: КазНПУ, 2012.

Численные методы решения обратных и некорректных задач для эллиптических и параболических уравнений

С. И. Кабанихин^{1,2,3}, М. А. Шишленин^{1,2,3}

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

Новосибирский государственный университет

E-mail: kabanikhin@sscc.ru, mshishlenin@ngs.ru

Рассматриваются обратные и некорректно поставленные задачи для эллиптических и параболических уравнений, приложения которых возникают в геофизике, томографии, медицине.

В качестве примеров рассмотрены задачи продолжения теплового поля в недоступную для наблюдений зону, продолжения электромагнитного поля (данные георадара), задачи продолжения тепловых полей, коэффициентные обратные задачи для диффузионных процессов [1].

Рассматриваются задачи тепловой диагностики, когда данные задаются на доступной для наблюдения части границы. В тепловых методах неразрушающего контроля в качестве пробной энергии используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов. Под дефектом при этом понимается наличие скрытых раковин, полостей, трещин, инородных включений и т.д., всевозможных отклонений физических свойств объекта от нормы, наличия мест локального перегрева (охлаждения) и т.п.

Исследованы вопросы разрешимости обратных и некорректных задач по определению тепловых характеристик среды.

На основе метода сингулярного разложения исследована некорректность различных постановок линеаризованных обратных задач.

Изучены свойства сингулярных чисел оператора продолжения [2], что позволило регуляризовать задачу продолжения методом сингулярного разложения с учетом погрешности в данных. Георадар "Лоза" использовался при проведении исследований в плотине ущелье Медео, древних захоронений на юго-западе Казахстана, аэродромов и дорог в Алматинской области [3].

Показано, что продолжение решения с доступной для измерений части границы в область позволяет идентифицировать и локализовать неоднородности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 16-01-00755, 16-29-15120, 17-51-540004), Министерства образования и науки Российской Федерации и Международного математического центра Новосибирского государственного университета.

Список литературы

1. S.I. Kabanikhin, M.A. Shishlenin, D.B. Nurseitov, A.T. Nurseitova, S.E. Kasenov. Comparative Analysis of Methods for Regularizing an Initial Boundary Value Problem for the Helmholtz Equation // Journal of Applied Mathematics. 2014. Vol. 2014. 7 pages.
2. S.I. Kabanikhin, Y.S. Gasimov, D.B. Nurseitov, M.A. Shishlenin, B.B. Sholpanbaev, S. Kasenov. Regularization of the continuation problem for elliptic equations // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. 2013. Vol. 21, No. 6. P. 871–884.
3. S.I. Kabanikhin, D.B. Nurseitov, M.A. Shishlenin, B.B. Sholpanbaev. Inverse problems for the ground penetrating radar // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. 2013. Vol. 21, No. 6. P. 885–892.

Статистическая модель переноса оптического излучения в системе океан – атмосфера

Б. А. Каргин, А. Б. Каргин, С. М. Пригарин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный университет

E-mail: bkargin@osmf.ssc.ru

Поле оптического излучения системы океан-атмосфера в значительной мере формируется под воздействием взволнованной морской поверхности, отражающей и преломляющей проходящее электромагнитное излучение. Характерная особенность этого воздействия обусловлена случайным характером ветрового волнения морской поверхности. В силу этого строгое решение подавляющего числа прямых задач оптики системы океан-атмосфера возможно лишь в статистической формулировке. Математическая суть таких задач заключается в вычислении соответствующих функционалов от решения уравнения переноса излучения, заданных на случайном поле, каковым является взволнованная морская поверхность. В докладе изложены вопросы применения метода Монте-Карло для расчета переноса солнечной радиации в системе атмосфера-океан, а также моделирования нестационарного эхо-сигнала, отраженного верхним слоем океана при его лидарном зондировании из космоса. Выписаны интегральные стационарное и нестационарное уравнения переноса излучения в среде со случайно-неоднородной преломляющей границей и предложены весовые алгоритмы решения этих уравнений методом Монте-Карло. Рассмотренные алгоритмы позволяют в полной мере учесть эффекты затенения и переотражения излучения элементами поверхности, а также учесть наличие пены, возникающей на поверхности при сильном ветровом волнении. Численно изучено влияние ветрового волнения на пространственно-угловую структуру поля оптического излучения, рассеянного верхним слоем океана. Исследована также зависимость эхо сигнала лидара от ветрового волнения морской поверхности в задаче лазерного зондирования верхнего слоя океана. Эти алгоритмы предназначены для реализации в разрабатываемой системе автоматизации статистического моделирования атмосферно-оптических задач.

Работа выполняется при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №43 и Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-01-00894).

Математическое моделирование волновых полей для верификации скоростных моделей земной коры

В. В. Ковалевский, А. Г. Фатьянов, А. В. Терехов, Д. А. Караваяев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kovalevsky@scc.ru

В докладе рассмотрены результаты математического моделирования волновых полей на основе численно-аналитического метода, спектрально-разностного метода и метода конечных разностей для

двух скоростных моделей земной коры, полученные для юга Байкальской рифтовой зоны и сопредельных областей Монголии на близких профилях в экспериментах BEST (Baikal Explosion Seismic Transect) и PASSCAL (Program for the Array Seismic Study of Continental Lithosphere). Приведены результаты математического моделирования полных волновых полей для этих моделей и сравнение с экспериментальными данными вибро-ГСЗ полученными ИВМиМГ СО РАН, ГИН СО АН и БурФГС СО РАН в этом регионе.

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

В. М. Ковеня

ФГБУН Институт вычислительных технологий

E-mail: kovenya@ict.nsc.ru

Для численного решения уравнений Эйлера и Навье – Стокса сжимаемого газа, записанных в интегральной форме, предложен класс конечно-объемных схем предиктор-корректор второго порядка аппроксимации. На этапе предиктора могут вводиться различные формы расщепления, что позволяет свести решение системы расщепленных уравнений к решению отдельных уравнений и обеспечить запас устойчивости алгоритма в целом, а на этапе корректора аппроксимировать исходные уравнения в консервативной форме и реализовывать их по явным формулам. Среди рассмотренных форм расщепления по аналогии с конечно-разностными схемами [1] выбраны те из них, которые обеспечивают максимальную устойчивость схем при минимальном влиянии расщепления на ее свойства. 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 прогонкам или схемам бегущего счета, а по скорости сходимости к стационарному решению он приближается к схемам. Получаемые схемы консервативны, что позволяет использовать их при решении стационарных и нестационарных задач, они обладают вторым (или более высоким) порядком аппроксимации. Для устранения не монотонности решений, присущих схемам второго порядка аппроксимации, вводится сглаживающий оператор второго порядка малости. Отметим, что в целях повышения эффективности алгоритмов, порядок аппроксимации может быть различным на этапе предиктора и корректора. Приведены примеры расчетов различных задач: задачи о распаде произвольного разрыва, регулярном и нерегулярном отражении скачков в рамках уравнений Эйлера и пространственном обтекании затупленного конуса.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00064а).

Список литературы

1. Ковеня В. М. Алгоритмы расщепления при решении многомерных задач аэрогазодинамики. Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, 2014, 280 с.

Супервычисления в фундаментальных задачах геофизики - цунами

А. С. Козелков

ФГУП "Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский Институт экспериментальной физики"

Нижегородский государственный технический университет им. Р. А. Алексеева

E-mail: askozelkov@mail.ru

Существующие стратегии численного моделирования цунами несейсмического происхождения, как, впрочем, и сейсмического, подразумевают использование различных моделей на разных стадиях, от образования начального возмущения на поверхности до наката волн на сушу. Современный уровень развития вычислительных технологий, которые уже применяются в инженерной практике при проектировании высокотехнологичных технических изделий, позволяет перевести моделирование в проблеме цунами на качественно новый уровень. Адаптация и доработка существующих алгоритмов численного решения уравнений Навье-Стокса позволит объединить моделирование всех

стадий цунами воедино, что, несомненно, скажется на качестве исследований процесса в целом. Уровень развития схем дискретизации позволит с достаточной детализацией описывать требуемые отдельные физические и амплитудные характеристики, а адаптация существующих суперкомпьютерных технологий ускорения расчета позволит в приемлемые сроки просчитать распространение цунами на любые расстояния. В настоящей работе представлено описание технологии расчета цунами, основанной на уравнениях Навье-Стокса. Представлено описание полностью неявного метода интегрирования и технология ускорения расчетов, основанная на многосеточном методе, позволяющая моделировать цунами в реальных акваториях Мирового океана. Метод реализован в пакете программ ЛОГОС – программном продукте инженерного анализа, предназначенном для решения сопряженных трехмерных задач конвективного теплопереноса, аэродинамики и гидродинамики на параллельных ЭВМ [1-5]. Пакет программ ЛОГОС успешно прошел верификацию и показал достаточно хорошие результаты на серии различных гидродинамических задач, включая расчеты турбулентных, нестационарных течений [3], а также волн цунами [4,5]. При вычислениях используется многосеточный метод [1,2], позволяющий существенно ускорить вычислительную процедуру и эффективно использовать сотни вычислительных ядер.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ-6637.2016.5, а также при финансовой поддержке РФФИ - проект № 16-01-00267 и 15-45-02061.

Список литературы

1. Козелков А. С., Дерюгин Ю. Н., Лашкин С. В., Силаев Д. П., Симонов П. Г. Реализация метода расчета вязкой несжимаемой жидкости с использованием многосеточного метода на основе алгоритма SIMPLE в пакете программ ЛОГОС // ВАНТ, сер. Матем. моделирование физических процессов, 2013, вып. 4, с. 31-43.
2. Волков К. Н., Дерюгин Ю. Н., Емельянов В. Н., Карпенко А. Г., Козелков А. С., Тетерина И. В. Методы ускорения газодинамических расчетов на неструктурированных сетках. – Москва: Физматлит, 2013, 536 с.
3. Козелков А. С., Курулин В. В. Численная схема для моделирования турбулентных течений несжимаемой жидкости с использованием вихреразрешающих подходов // Вычислительная математика и математическая физика, т. 55, №7, с. 135-146, 2015.
4. Козелков А. С., Куркин А. А., Пелиновский Е. Н., Курулин В. В., Тятюшкина Е. С. Моделирование возмущений в озере Чебаркуль при падении метеорита в 2013 году // Известия РАН Механика жидкости и газа, 2015, №6, с. 134-143.
5. Козелков А. С., Куркин А. А., Пелиновский Е. Н. Влияние угла входа тела в воду на высоты генерируемых волн // Известия РАН. Механика жидкости и газа, 2016, №2, с. 166-176.

Численное моделирование трехмерных задач аэродинамики разрывным методом Галёркина на различных параллельных архитектурах

М. М. Краснов, Р. А. Кучугов, М. Е. Ладонкина¹, В. Ф. Тишкин¹

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

E-mail: v.f.tishkin@mail.ru

Разработка и создание параллельных программных модулей, реализующих численное решение сложных газодинамических задач и эффективно работающих на различных параллельных архитектурах, особенно при использовании в расчетах неструктурированных сеток, является нетривиальной задачей. Кроме того, эта задача усложняется при выборе численных методов высокой точности. Примером такого метода является метод Галеркина с разрывными базисными функциями [1], который хорошо зарекомендовал себя для решения задач газовой динамики. Данный метод при всех своих достоинствах, обладает существенной вычислительной сложностью, поэтому вопрос о максимально эффективном использовании всех возможностей современной вычислительной техники стоит очень остро. В данной работе при создании расчетного модуля, реализующего разрывный метод Галеркина для решения трехмерных уравнений Навье-Стокса, с целью ускорения вычислений, используется сеточно-операторный подход к программированию [2, 3]. В работе приводятся характеристики эффективности работы программы на различных параллельных архитектурах.

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

Список литературы

1. В. Cockburn. An introduction to the discontinuous Galerkin method for convection – dominated problems, advanced numerical approximation of nonlinear hyperbolic equations // Lecture notes in mathematics, 1998, v.1697, p.151-268.
2. М. М. Краснов. Операторная библиотека для решения трёхмерных сеточных задач математической физики с использованием графических плат с архитектурой CUDA // Математическое моделирование, 2015, т.27, № 3, с.109-120;
3. М. М. Краснов, П. А.Кучугов, М. Е. Ладонкина, В. Ф. Тишкин. Разрывный метод Галёркина на трёхмерных тетраэдральных сетках. Использование операторного метода программирования//Математическое моделирование, 2017, т29, №2, 3-22 с.

Эрозия вольфрама при импульсном воздействии мощного электронного пучка: стенд и вычислительный эксперимент

Г. Г. Лазарева^{1,2,3}, А. С. Аракчеев^{3,4}, А. А. Касатов³

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

³*Новосибирский государственный технический университет*

Институт ядерной физики СО РАН

E-mail: lazareva@ssd.ssc.ru

Для обоснованного выбора режимов работы крупномасштабных термоядерных установок развиваются математические модели взаимодействия мощных потоков плазмы с конструкционными материалами. В ИЯФ СО РАН создан стенд для тестирования устойчивости материалов диверторных пластин к импульсным тепловым нагрузкам с помощью электронного пучка. Периодические импульсные мощные тепловые нагрузки наиболее опасны для механического разрушения и плавления материала диверторных пластин. Кроме того, генерация микрочастиц из-за таких нагрузок может привести к тепловому гашению плазмы. Для создания устойчивых к плазменной нагрузке материалов требуется понимание процессов, происходящих во время импульсных нагрузок. Поэтому в экспериментах нужно измерять не только финальный результат воздействия, но и динамику быстрых процессов, а также проводить их моделирование.

В ходе экспериментов было обнаружено, что при импульсном тепловом воздействии существенную роль играют неоднородности, возникающие на поверхности. Неоднородности распределения температуры на облучаемой поверхности были обнаружены после образования трещин на поверхности вольфрама. Трещины образуются за счёт пластической деформации прогреваемого приповерхностного слоя. При этом вокруг трещины могут возникать механические напряжения, приводящие к локальным механическим разрушениям вблизи трещины, которые мешают отводить тепло за счёт теплопроводности вглубь материала. Перегрев вблизи трещин был обнаружен экспериментально. В перегретой области может при меньшей тепловой нагрузке происходить плавление и генерация микрочастиц. Для понимания связи разрушений внутри материала с распределением и динамикой температуры вблизи трещины проведено математическое моделирование распространения тепла вглубь материала. Результатам вычислительных экспериментов сопоставлены данные измерений. Другой вид неоднородностей на поверхности возникает после плавления. На поверхности расплава были обнаружены мелкоструктурные возмущения светимости. Есть несколько гипотез образования таких коротковолновых возмущений на поверхности расплава, для проверки которых в математическую модель введен учет плавления и движения расплава

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы РАН № 15 (код проекта №15.9).

Статистическое моделирование как средство обеспечения корректности выводов при использовании критериев однородности дисперсий в нестандартных условиях

Б. Ю. Лемешко

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: Lemeshko@ami.nstu.ru

Применение параметрических критериев проверки однородности дисперсий всегда сопряжено с вопросом: насколько полученные выводы корректны в данной конкретной ситуации? Дело в том, что одним из основных предположений при построении этих критериев является принадлежность наблюдаемых случайных величин (погрешностей измерений) нормальному закону распределения. При этом давно известно, что параметрические критерии однородности дисперсий чрезвычайно чувствительны к малейшим нарушениям стандартного предположения о принадлежности анализируемых выборок нормальному закону. При нарушении данного предположения условные распределения статистик критериев при справедливости проверяемой гипотезы, как правило, сильно изменяются. Так как погрешности измерительных приборов или наблюдаемые в различных приложениях величины далеко не всегда подчиняются нормальному закону, то применение классических результатов в таких условиях может приводить к неверным выводам.

Множество непараметрических критериев проверки гипотез о равенстве характеристик рассеяния свободно от предположения нормальности анализируемых выборок, но требует выполнения не менее строгих предпосылок: подразумевается принадлежность выборок одному и тому же виду законов при равенстве математических ожиданий.

Существуют и другие проблемы. Для параметрических критериев не всегда известны предельные (асимптотические) распределения статистик или они отсутствуют, а при формировании вывода о результатах проверки гипотезы приходится опираться на ограниченные таблицы критических значений. Распределения непараметрических критериев часто являются дискретными и плохо аппроксимируются асимптотическими распределениями, что отражается на качестве выводов. Не всегда объективна информация о мощности критериев.

Для специалиста, сталкивающегося с необходимостью решения задач статистического анализа, важно знать, какой критерий обладает большей мощностью и как его применить в конкретных условиях приложения, отличающихся от стандартных, чтобы обеспечить корректность выводов.

В докладе будут представлены результаты сравнительного анализа мощности множеств параметрических и непараметрических критериев однородности дисперсий, указаны недостатки и достоинства, связанные с применением различных критериев, показаны возможности корректного использования критериев в нестандартных условиях за счет интерактивного применения методов статистического моделирования для исследования распределений статистик применяемых критериев.

Исследования выполнены при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственной работы "Обеспечение проведения научных исследований" и проектной части государственного задания (проект № 1.1009.2017/ПЧ).

Моделирование пленочной конденсации пара на криволинейных поверхностях

И. В. Марчук

Новосибирский государственный университет

E-mail: igmarchuk@gmail.com

Исследуется процесс пленочной конденсации пара на искривленных поверхностях. Такие поверхности обеспечивают высокую интенсивность теплообмена за счет действия капиллярного давления при соответствующем выборе формы поверхности. Выполнено численное моделирование пленочной конденсации чистого пара в сплюснутых трубах с плоскими боковыми стенками и на одностороннем осесимметричном шипе. Сплюснутые трубы применяются при изготовлении конденсаторов пара, в которых необходимо обеспечить хороший термический контакт с плоской поверхностью теплообменника. Рассчитывался процесс нестационарной конденсации водяного пара с использованием модели в приближении тонкого слоя жидкости [1-2]. В расчетах начальная толщина пленки полагалась равной 1 мкм, перепад температуры между стенкой трубы и температурой насыщения пара

0.5 – 5.0 К. Минимальная толщина пленки конденсата и, соответственно, наибольшая интенсивность конденсации наблюдаются в местах сопряжения плоской и круглой частей трубы в верхней её части. Рассчитанные средние значения коэффициентов теплоотдачи для сплюснутой трубы оказались выше, чем для круглой трубы с одинаковой длиной периметра сечения. Результаты расчетов нестационарной конденсации пара на одиночном шипе находятся в хорошем соответствии с экспериментальными результатами, полученных в условиях параболических полетов [3]. Предсказывается динамика пленки конденсата при изменении силы тяжести от земной до микрогравитации и наоборот.

Список литературы

1. Oron A., Davis S.H., Bankoff S.G., Long-scale evolution of thin liquid films (1997) *Reviews of Modern Physics*. vol. 69, № 3, pp 931-980.
2. I.V. Marchuk and O.A. Kabov Film Wise Vapor Condensation on Curvilinear Surfaces (2015) *Encyclopedia of Two-Phase Heat Transfer and Flow II: Special Topics and Applications*. Editor John R. Thome, Vol. 3: Special Topics in Condensation, Imperial College Press, pp. 133-176.
3. Glushchuk, A., Minetti, C., Machrafi, H., Iorio, C.S. Experimental investigation of force balance at vapour condensation on a cylindrical fin (2017) *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, pp. 2130-2142.

Новые алгоритмы оценки флуктуаций эффективного коэффициента размножения частиц в случайной среде методом Монте-Карло

Г. А. Михайлов, Г. З. Лотова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: gam@osmf.ssc.ru

По аналогии с методом Келлога [1, 2] построен допускающий распараллеливание алгоритм метода Монте-Карло для оценки вероятностных моментов ведущего характеристического числа уравнения переноса частиц с размножением в случайной среде. С этой же целью разработан рандомизированный метод гомогенизации на основе теории малых возмущений и диффузионного приближения.

Тестовые расчёты, проведённые для однорупповой сферически-симметричной модели системы, показали удовлетворительное согласование результатов, полученных двумя методами. Предложенный способ гомогенизации даёт более точные результаты, чем разработанный в [3] способ на основе линеаризации с использованием производных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-08988, 15-01-00894, 16-01-00530, 16-01-00145, 17-01-00823) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН (номер гранта I.33П).

Список литературы

1. Владимиров В. С. О применении метода Монте-Карло для отыскания наименьшего характеристического числа и соответствующей собственной функции линейного интегрального уравнения // *Теория вероятн. и ее примен.* 1956. Т.1, № 1. С. 113–130.
2. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973.
3. Лотова Г. З., Михайлов Г. А. Моменты параметров критичности процесса переноса частиц в случайной среде // *ЖВМиМФ.* 2008. Т. 48, № 12. С. 2225–2236.

Вариационная организация корректных методов для прямых, сопряженных и обратных задач

В. В. Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: penenko@sscc.ru

Для построения корректных методов используются вариационные принципы со строгими и слабыми ограничениями. При их формулировке мы исходим из того, что математические модели и данные мониторинга представляют описание одних и тех же исследуемых объектов, но разными средствами. Вариационные принципы предоставляют универсальный инструмент для согласования

пространственно-временных масштабов изучаемых процессов и объединения всех компонентов технологии моделирования. Для построения численных моделей используется концепция сопряженных интегрирующих множителей в сочетании с методами расщепления операторов моделей процессов и декомпозиции функционалов вариационного принципа. В результате получается так называемая "бесшовная" технология математического моделирования, согласовывающая алгоритмы решения прямых, сопряженных и обратных задач. Эффекты регуляризации и корректность этих алгоритмов обеспечиваются свойствами безусловной корректности сопряженных задач, полученных с использованием интегрирующих множителей. Особую роль в этой технологии играют прямые алгоритмы последовательного усвоения доступных данных наблюдений с оценкой неопределенностей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) и Программ фундаментальных исследований РАН I.33П и II.2П/1.3.

Parallel computation of effective elastic moduli in linear elasticity using the Strain Energy-based Method

G. Reshetova

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kgv@nmsf.ssc.ru

A parallel computational technique based on the finite difference and the strain energy-based methods is applied to estimate the effective elastic properties of heterogeneous core samples. The main idea of the strain energy-based approach is that the average stress and the average strain of a homogeneous medium are equivalent to the domain integration of the local stress and the local strain in the sample under study. The strain energy-based method formulates the effective modulus tensors of a sample as the strain energy functionals under different boundary conditions and provides the efficient way [1,2] to estimate the homogenized properties. In order to apply this technique, it is necessary to solve a series of elastostatic problems. To this end, the relaxation technique as applied to elastodynamic finite differences is used. The method proposed is implemented in the two- and the three-dimensional cases and illustrated by calculating the elastic parameters for several fractured core samples.

References

1. J. Aboudi. *Mechanics of Composite Materials: A Unified Micromechanical Approach* (Studies in Applied Mechanics). Elsevier Science; 1 edition, 1991, p. 328.
2. W. Zhang, G. Dai, F. Wang, S. Sun, H. Bassir. Using strain energy-based prediction of effective elastic properties in topology optimization of material microstructures. *Acta Mechanica Sinica*. 23 (2007). pp. 77-89.

Использование цепей в ускорении расчёта характеристик случайных графов

А. С. Родионов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: alrod@sscc.ru

Вычисление многих характеристик случайных графов (рассматривается модель с надёжными вершинами и независимо друг от друга выходящими из строя рёбрами) представляет собою NP-трудную задачу [1,2]. В большинстве случаев при рассмотрении структур реальных сетей приходится использовать различные оценки показателей надёжности, таких как k -терминальная связность (k -ТС), арифметическое среднее вероятности парной связности (АРС), ожидаемый размер связного подграфа, содержащего выделенную вершину (MENC) и др. Однако, даже проверка качества оценок и эвристик, требует получения точных значений для графов возможно большей размерности. Для точного расчёта показателей применяются различные приёмы редукции и декомпозиции графа, в которых одну из главных ролей играет наличие в его структуре цепей, проходящих по вершинам степени 2. В докладе даётся обзор ранее опубликованных приёмов снижения размерности задачи с использованием цепей для k -ТС, в том числе авторских [3,4], и представляются новые результаты, связанные с вычислением точных значений и оценок АРС и MENC. Новые алгоритмы так или

иначе связаны с использованием значений показателей надёжности для графа с удалённой цепью (в некоторых случаях пары цепей) и графа со стянутыми оконечными вершинами цепи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-07-00775) и Проекта №11 программы Президиума РАН.

Список литературы

1. Valiant L.G. The complexity of enumeration and reliability problems // SIAM Journal on Computing. 1979. Vol. 8, № 3, P. 410–421.
2. Bodlaender, H.L., Bodlaender, H.L., Wolle, T., Wolle, T.: A note on the complexity of network reliability problems. IEEE Trans. Inf. Theory. 2004. № 47, P. 1971–1988.
3. Shooman A.M., Kershenbaum A. Exact graph-reduction algorithms for network reliability analysis // Global Telecommunications Conference, 1991. GLOBECOM '91. 'Countdown to the New Millennium. Featuring a Mini-Theme on: Personal Communications Services. 1991. Vol. 2, P. 1412–1420.
4. Rodionova O.K., Rodionov A.S., Choo H. Network probabilistic connectivity: Exact calculation with use of chains // Lecture Notes in Computer Science. 2004. Vol. 3045, P. 315–324.

Задача об определении коэффициента диэлектрической проницаемости по модулю рассеянного электромагнитного поля

В. Г. Романов

Институт математики им. С. Л. Соболева

E-mail: romanov@math.nsc.ru

Рассматривается система уравнений электродинамики, соответствующая периодическим по времени колебаниям в немагнитной и непроводящей среде. Для этой системы изучается задача об определении коэффициента диэлектрической проницаемости $\varepsilon(x)$ по заданным модулям электрической или магнитной напряжённости электромагнитного поля. Предполагается, что это поле вызывается точечным импульсным диполем локализованным в некоторой точке y . Предполагается также, что диэлектрическая проницаемость отлична от заданной положительной постоянной ε_0 только внутри некоторой компактной области $O \subset \mathbb{R}^3$ с гладкой границей S . Для отыскания $\varepsilon(x)$ внутри O задаётся информация о решении соответствующей прямой задачи для системы уравнений электродинамики на всей границе области O для всех частот, начиная с некоторой фиксированной частоты ω_0 , и для всех $y \subset S$. Изучается асимптотика решения прямой задачи при больших частотах и показывается, что задаваемая информация позволяет свести исходную задачу к хорошо известной обратной кинематической задаче об определении коэффициента рефракции среды внутри O по временам пробега электромагнитной волны между произвольными точками границы области O . Это приводит к теореме единственности решения рассматриваемой задачи и открывает путь её конструктивного решения

Stochastic simulation of drift-diffusion-reaction processes and applications

K. K. Sabelfeld

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: sabelfeld.karl@yahoo.de

We present in this talk new stochastic models and Random Walk on Spheres algorithms for solving both stationary and transient drift-diffusion reaction equations with general Robin boundary conditions. The main results are formulated in the form of three theorems: 1) a reciprocity theorem which relates the direct and adjoint transient drift-diffusion equations with flux boundary conditions, 2) a spherical integral equation which relates the solution of the drift-diffusion-reaction equation at the center of a sphere with the integral of the solution on the sphere's surface, and 3) a probabilistic representation of the solution via the survival probability, the first passage time of a particle needed to reach the surface of a sphere, and the probability distribution of the particles on the sphere which appears to be coincident with the von Mises-Fisher distribution. All these probability characteristics are obtained explicitly, and efficient simulation methods for the relevant random variables are presented, both for 2D and 3D problems. We discuss several applications of the method suggested, and in particular, the transport of excitons and other

carriers in semiconductors. Among others, we discuss in details the method of cathodoluminescence (CL) and the electron beam induced current (EBIC) methods used for imaging the defects and dislocations in semiconductors. We also discuss some applications in the electron-hole recombinations where we deal with nonlinear drift-diffusion-recombination problems. More details can be found in our recent studies [1-4].

References:

1. Sabelfeld K.K. Random walk on spheres method for solving drift-diffusion problems. *Monte Carlo Methods Appl.* 2016; 22 (4): 265–281.
2. K.K. Sabelfeld. Random walk on spheres algorithm for solving transient drift-diffusion-reaction problems. *J. Computational physics*, 2017, submitted.
3. Sabelfeld, K.K. A mesh free floating random walk method for solving diffusion imaging problems. *Statistics and Probability Letters* v.121, (2017), 6-11.
4. Sabelfeld K.K., Kireeva A.E. Stochastic simulation of spatially separate electrons and holes recombination in 2D and 3D disordered semiconductors. *Computational electronics*, 2017, v.16, N2, 325-339.

Фрактальные модели случайных точечных полей

В. В. Учайкин

Ульяновский государственный университет

E-mail: vuchaikin@gmail.com

В докладе, носящем в определённой степени обзорный характер, описываются основные модели случайных точечных полей (более корректно – случайных точечных распределений). Под фрактальностью здесь понимаются далёкие (степенного типа) пространственные корреляции. Если на каких-то (больших) расстояниях такие корреляции исчезают, а условные плотности, оставаясь положительными, перестают зависеть от координат, такие поля предлагается называть мезофрактальными (или просто, мезофракталами).

Основная часть доклада посвящена развитию математической модели автора, сформулированной в [1] и нашедшей применение в космографическом анализе пространственного распределения галактик во Вселенной [2,3]. Модель основана на идее Б. Мандельброта принять в качестве статистического аналога такого поля множество узлов марковской цепи траектории, случайные расстояния между которыми независимы и распределены по закону Парето (степенному закону с отрицательным показателем). Основной математической операцией здесь становится многократная свёртка векторов смещения с такими распределениями, что позволяет получить характеристики поля лишь в асимптотике больших масштабов, удовлетворяющих условию Тауберовой теоремы. В предложенной модели закон Парето заменён трёхмерной плотностью Леви-Фельдгейма, что сразу снимает трудности вычисления многократных свёрток (благодаря свойству устойчивости, свёртка таких плотностей любой кратности выражается через исходную плотность с изменённым масштабом аргумента). В результате получена модель, для которой известны все корреляционные функции в явном виде. Дальнейшее развитие этой теории привело к созданию семейства моделей, возникающих при спаривании траекторий, ограничении длины исходных цепей, построению ансамбля таковых с пуассоновским распределением начала цепи, включению процесса ветвления. В докладе описываются последствия этих модификаций и их отношение к наблюдаемым свойствам крупномасштабной структуры видимой части Вселенной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00556).

Список литературы

1. Uchaikin V. V., Gusarov G. G. Levy flight applied to random media problems // *J. Math. Phys.* 1997. Vol. 38(5). С.2453-2464.
2. Uchaikin V. V. If the Universe were a Levy-Mandelbrot fractal... // *Gravitation and Cosmology*. 2004, Vol. 10, pp. 5-24.
3. Uchaikin V. V. The mesofractal universe driven by Rayleigh-Levy walks // *General relativity and Gravitation*. 2004, Vol. 36, No 7, pp. 1689-1718.

Информационные системы: модели и технологии*А. М. Федотов**Институт вычислительных технологий СО РАН**E-mail: fedotov@sbras.ru*

В зависимости от конкретной области применения информационные системы могут очень сильно различаться по своим функциям, архитектуре, реализации. Однако можно выделить одно свойство, которое являются общими для всех информационных систем. Любая информационная система предназначена для сбора, хранения и обработки информации. Поэтому в основе любой информационной системы лежит среда хранения и доступа к данным. Среда должна обеспечивать уровень надежности хранения и эффективность доступа, которые соответствуют области применения информационной системы. Итак, современная информационная система (ИС) – это набор технологий, направленных на поддержку жизненного цикла "информации" и включающих три основные составляющие процесса: обработку данных, управление, управление информацией и управление знаниями.

Часть реального мира, которая моделируется информационной системой, называется ее "предметной областью". Поскольку модель предметной области, поддерживаемая информационной системой, материализуется в форме организованных необходимым образом информационных объектов, она называется "информационной моделью". Информационные объекты характеризуются метаданными (данными об объекте), описывающим реальный объект.

Доклад посвящен обсуждению моделей и технологий, применяемых в современный ИС.

Высокопроизводительные вычисления на модернизированном кластере НКС-1П*И. Г. Черных, Б. М. Глинский, И. М. Куликов**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**E-mail: chernykh@ssd.ssc.ru*

В 2017 году ЦКП "Сибирский суперкомпьютерный центр" ИВМиМГ СО РАН получил субсидию ФАНО на модернизацию центра. Данная работа посвящена обсуждению состава нового вычислительного оборудования и его возможностей для решения фундаментальных и прикладных задач.

В основе архитектуры нового кластера НКС-1П был заложен принцип гетерогенности, как и в предыдущем кластере НКС-30Т, в котором были узлы с MPP архитектурой, SMP архитектурой и узлы с графическими ускорителями, объединенные общим интерфейсом InfiniBand QDR. Данное решение позволяет использовать эти узлы как независимые, так и объединять их архитектуры для решения некоторых вычислительно сложных задач [1].

В состав нового кластера входят два типа вычислительных узлов: 20 узлов с двумя 16-ти ядерными процессорами (Intel Xeon E5-2697A v4), общей памятью 128 Гбайт и 16 узлов с 72-х ядерными процессорами типа KNL (Intel Xeon Phi 7250), общая память 96 Гбайт. Все узлы объединены интерфейсом OmniPath с производительностью 100 Гб/с. На этот же интерконнект подключена параллельная файловая система с емкостью 200 Тбайт. В файловой системе и в узлах применяются только твердотельные SSD диски.

Intel Xeon Phi (KNL) является по сути полноценным процессором и устанавливается на узел вместо классического CPU. На данном решении работают любые программы, созданные для классического CPU, однако наибольшей производительности достигает программное обеспечение, оптимизированное на использование векторных регистров и инструкций. Широко используемые пакеты по квантовой химии, молекулярной динамике, физике плазмы успешно оптимизируются под данную архитектуру. Рост производительности по отношению к классическим ускорителям вычислений Intel Xeon Phi (KNC) составляет порядка 3 раз для таких кодов как GAMESS, GROMACS и др. Преимуществами использования архитектуры KNL над графическими ускорителями являются: легкая переносимость кода с классического CPU, возможность использования в гибридном режиме оперативной памяти узла и памяти процессора (в данном случае память процессора и память узла имеют единое адресное пространство), единый сетевой интерконнект интегрирован в процессор Intel Xeon Phi 7250.

Основная производительность Intel Xeon Phi (KNL) достигается за счет использования векторных вычислительных устройств. В составе технологии OpenMP, реализованной в установленном на кластере НКС-1П компиляторе Intel, добавлены прагмы, позволяющие векторизовать вычислительный код. Однако, такой подход имеет ряд ограничений и максимальная производительность может быть достигнута только средствами низкоуровневых векторных инструкций. Использование таких инструкций требует не столько адаптация кода (хотя это значительная часть работы), сколько перестройки вычислительного алгоритма, допускающего такую векторизацию. Для нового кластера НКС-1П был разработан астрофизический гидродинамический код "AstroPhi II" на основе комбинации метода разделения операторов и HLL методов. Было достигнуто 453 ГигаФлопс производительности в рамках одного ускорителя Intel Xeon Phi (KNL) на задаче обтекания кометы Галлея солнечным ветром в гидродинамической постановке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00434, код проекта 16-29-15120, код проекта 15-01-00508), гранта Президента РФ (код проекта МК – 1445.2017.9).

Список литературы

1. B.Glinsky, N.Kuchin, V.Kostin, S.Solovev. Parallel computations for solving 3D Helmholtz problem by using direct solver with low-rank approximation and HSS technique // Lecture Notes in Computer Science. – 2017. – v. 10187. – 334 – 341.

Лагранжево-эйлеровы аппроксимации уравнений параболического типа

В. В. Шайдуров

Федеральный исследовательский центр "Красноярский научный центр СО РАН"

E-mail: shaidurov04@mail.ru

При аппроксимации уравнения параболического типа второго порядка наличие первых производных по пространству значительно ухудшает свойства получаемой дискретной задачи. Во-первых, в стандартной реализации методов конечных разностей или конечных элементов эти производные приводят к несимметричному разностному аналогу эллиптического оператора на каждом слое по времени. Во-вторых, их применение в методе конечных элементов сопровождается дополнительными приемами, влекущими понижение точности аппроксимации по пространству (например, направленные разности или искусственная вязкость для задач с преобладанием конвекции над диффузией).

Мы предлагаем аппроксимировать первые производные по пространству и времени с помощью лагранжева приема, связывающего приближенное решение между двумя временными слоями. Оставшийся эллиптический оператор аппроксимируется стандартным конформным методом конечных элементов.

В итоге такой комбинированной аппроксимации на каждом слое по времени получается задача с самосопряженным дискретным оператором. Очевидно, что решение систем линейных алгебраических уравнений с таким оператором является более простой задачей в сравнении с несимметричным случаем и обычно обладает более высокой скоростью сходимости итерационных процессов.

Секция 1. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

К анализу устойчивости развивающейся системы, состоящей из трех возрастных групп элементов

А. С. Апарцин, И. В. Сидлер

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

E-mail: apartsyn@isem.irk.ru

В работах [1, 2] введены и исследованы тестовые уравнения Вольтерра I-го рода, отражающие специфику интегральных моделей развивающихся систем, состоящих из элементов двух возрастных групп. В частности, показано, что при степенном росте модуля коэффициента эффективности элементов старшей возрастной группы с течением времени система неизбежно теряет устойчивость.

В настоящей работе эти результаты обобщены на случай трех возрастных групп. Полученные теоретические оценки проиллюстрированы численными расчетами. Развитая техника допускает обобщение и на случай произвольного числа возрастных групп.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-01-01425).

Список литературы

1. Апарцин А. С. К исследованию устойчивости неклассических тестовых уравнений Вольтерра I рода // Сибирские электронные математические известия. 2015. Т. 12, № 5. С. 15–20.
2. Апарцин А. С., Сидлер И. В. О тестовых уравнениях Вольтерра I рода в интегральных моделях развивающихся систем // Автоматика и телемеханика. 2017 (в печати).

Разностные схемы для потоков в нестационарных задачах

К. В. Воронин, Ю. М. Лаевский

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: laev@labchem.sccc.ru

В докладе представлены новые результаты по построению экономичных разностных схем для вычисления векторного потока при решении многомерных задач тепломассопереноса. Основу рассматриваемого подхода составляет восстановление схемы для векторного потока по заданной схеме расщепления (схеме-прообразу) для нахождения сеточной дивергенции потока. В качестве схем-прообразов могут рассматриваться различные устойчивые схемы расщепления для решения скалярных уравнений. Основные принципы построения схем для векторного потока и сопутствующие априорные оценки изложены в работах [1–3]. В качестве нового результата предлагается 3D схема для потока, построенная по схеме-прообразу предиктор-корректор. Расчеты по данной схеме демонстрируют второй порядок точности на тестовых решениях с пониженной гладкостью. Предлагаемая схема является обобщением результатов работы [4] на трехмерный случай.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (номер гранта 15-11-10024).

Список литературы

1. Воронин К. В., Лаевский Ю. М. Об одном подходе к построению потоковых схем расщепления в смешанном методе конечных элементов // Математическое моделирование, т.26 (2014), № 12, 33–47.
2. Voronin K. V., Laevsky Yu. M. A New Approach to Constructing Splitting Schemes in Mixed FEM for Heat Transfer: A Priori Estimates // Lecture Notes in Computer Science, v. 9045 (2015), 417–425
3. Voronin K. V., Laevsky Yu. M. A new approach to constructing vector splitting schemes in mixed finite element method for parabolic problems // Journal of Numerical Mathematics just accepted (February 2016), DOI: 10.1515/jnma-2015-0076.

4. Arbogast T., Huang C.-S., and Yang S.-M. Improved accuracy for alternating-direction methods for parabolic equations based on regular and mixed finite elements // *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, v.17 (2007), Is.8, 1279–1305.

О моделировании слоистого течения вязкой магнитной несжимаемой жидкости

В. А. Галкин, А. О. Дубовик

Сургутский государственный университет

E-mail: alldubovik@gmail.com

Исследуется слоистое течение жидкости [1, 2]. Рассматривается управление параметрами динамики несжимаемой жидкости за счет движения границ области или воздействия магнитным полем. Для слоистого течения жидкости исследуется явление внутреннего тепловыделения, тестируется выполнение закона сохранения энергии (для кинетической и тепловой энергии). Вязкое трение приводит к внутреннему тепловыделению, что может оказывать влияние на характеристики моделируемых процессов [3].

Исследованный класс точных решений уравнений гидродинамики и магнитной гидродинамики может быть рассмотрен как локальная модель 3D-слоистых течений в рамках задач создания отечественной технологии “цифровое месторождение” [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-41-00059-р-урал-а, 15-41-0013, 16-29-1505 офи-м).

Список литературы

1. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. Т. 1. М.: Наука. 1991.
2. Аристов С. Н., Просвиряков Е. Ю. О слоистых течениях плоской свободной конвекции // *Нелинейная динамика*. Т. 9. № 4. 2013. С. 651-657.
3. Бетелин В. Б., Галкин В. А. Задачи управления параметрами несжимаемой жидкости при изменении во времени геометрии течения // *ДАН*. 2015. Т. 463. № 2. С. 149–151.

Компактная конечно-разностная схема на неравномерной сетке для стационарной системы уравнений Навье – Стокса

А. С. Глуховский¹, В. И. Паасонен^{1,2}

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительных технологий СО РАН

E-mail: paas@ict.nsc.ru

Для уравнений, описывающих течения жидкости, использование равномерной сетки является не самой лучшей идеей, так как аппроксимация на ней больших градиентов решения в пограничных слоях генерирует существенные погрешности. Возможность детализации сетки в этих зонах за счет неравномерности способствует выравниванию погрешности, однако обычно традиционные схемы на неравномерных сетках имеют всего лишь первый порядок аппроксимации. Повышение порядка аппроксимации путем использования многоточечных аналогов производных приводит к необходимости экстраполировать решение за границу области, что порождает логически сложные и недостаточно обоснованные неоднородные схемы. Поэтому автору представлялось целесообразным попытаться совместить в рамках одной методики и неравномерность сетки, и повышенный порядок аппроксимации, и традиционную логику в реализации алгоритма.

В данной работе для расчета стационарных течений вязкой несжимаемой жидкости в переменных функция тока – вихрь скорости порядок аппроксимации на неравномерной сетке повышается до второго без существенного расширения шаблона схемы, за счет использованием технологии компактных аппроксимаций. Проведено сравнение разработанной методики со схемой второго порядка на равномерной сетке и со схемой первого порядка на неравномерной сетке. Результаты сравнения наглядно демонстрируют целесообразность использования неравномерных сеток и повышения порядка аппроксимации.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-21-00110).

Варианты спектрального метода для задачи деформирования многослойных прямоугольных пластин

С. К. Голушко, С. В. Идимешев

Институт вычислительных технологий СО РАН

E-mail: idimeshev@gmail.com

Для решения задачи упругого деформирования многослойных прямоугольных пластин [1] в работе применяются несколько вариантов спектрального метода. Рассматриваются традиционный псевдоспектральный метод [2, 3] и его модификации, основанные на приближении решения в смысле наименьших квадратов [4]. В первом случае решение точно удовлетворяет условиям коллокаций, во втором случае решение определяется из условия минимизации суммы квадратов невязок для уравнений коллокаций. В работе предложены два способа реализации описанного условия. Первый способ использует возможность переопределения СЛАУ и применения методов QR разложения ее матрицы для поиска решения. Второй способ за счет перехода к новым переменным позволяет выписывать нормальные СЛАУ и применять традиционные методы решения. Проведено сравнение описанных вариантов спектрального метода с учетом их реализации в MATLAB. Проведен сравнительный анализ результатов расчетов описанными методами на примере задачи об изгибе многослойной анизотропной прямоугольной пластины.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН.

Список литературы

1. Голушко С. К., Немировский Ю. В. Прямые и обратные задачи механики композитных пластин и оболочек вращения. М.: Физматлит, 2008.
2. Trefethen L. N. Spectral Methods in MATLAB. SIAM, Philadelphia, 2000.
3. Boyd, J. P. Chebyshev and Fourier Spectral Methods: Second Revised Edition. Dover Publications, 2001.
4. Голушко С. К., Идимешев С. В., Шапеев В. П. Разработка и применение метода коллокаций и наименьших невязок к задачам механики анизотропных слоистых пластин // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 5. С. 24–36.

Existence results and numerical solution for a fully fourth order differential equation

Q. Dang¹, T. H. Nguyen²

¹Centre for Informatics and Computing, VAST,

²Thainguyen University, College of Sciences, Thainguyen, Vietnam

E-mail: dangquanga@cic.vast.vn

In this paper we study the existence and uniqueness of a solution and propose an iterative method for solving a beam problem which is described by a fully fourth order equation with Dirichlet boundary conditions. Our approach is completely novel and is based on the reduction of the problem to an operator equation for the nonlinear term and unknown values of the second derivative at the ends of the beam. Under some easily verified conditions in a specified bounded domain, we prove the contraction of the operator. This guarantees the existence and uniqueness of a solution and the convergence of an iterative method for finding it. Some examples demonstrate the applicability of the theoretical results and the efficiency of the iterative method.

This work is a further development of our recent papers [1, 2].

References

1. Q. A. Dang, Q. L. Dang, T. K. Q. Ngo, A novel efficient method for nonlinear boundary value problems, Numerical Algorithms, 2017, DOI 10.1007/s11075-017-0264-6 .
2. Q. A. Dang, T. K. Q. Ngo, Existence results and iterative method for solving the cantilever beam equation with fully nonlinear term, Nonlinear Analysis: Real World Applications, 2017, vol.36, 56-68.

Модифицированный неточный метод типа Узавы для решения задачи Стокса для вязкой несжимаемой жидкости

Е. В. Дементьева, Е. Д. Карпова

Институт вычислительного моделирования СО РАН

E-mail: lionesskate@gmail.com

В настоящей работе рассматриваются двумерные уравнения Стокса для вязкой несжимаемой жидкости в канале. Для построения дискретного аналога применяются конечные элементы Тэйлора-Худа. Полученная линейная система алгебраических уравнений относится к задачам с седловой точкой. Для нахождения ее приближённого решения предложены два модифицированных метода типа Узавы: метод Узавы – простой итерации и метод Узавы–сопряжённых градиентов. Для градиентного метода предложенная модификация построена относительно отклонений переменных скорости и давления от искомой седловой точки конечномерной задачи. При таком подходе для нелинейного метода сопряжённых градиентов эффективность вычислений оператора Шура и его образа значительно повышается.

В предложенных итерационных алгоритмах, как и в классическом методе Узавы, на каждой итерации сперва вычисляется приближение для давления, а затем, — для скорости. Такой подход позволяет удовлетворить уравнению неразрывности с хорошей точностью. В то же время, в отличие от большинства известных методов Узавы предложенные методы не требуют прямого обращения матрицы Шура для давления.

В работе проведены численные эксперименты на модельных задачах, подтверждающие сходимость и эффективность предложенных методов; теоретически исследована сходимость методов.

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

О моделях горных выработок с множественными штольнями и материалов с множественными полостями

О. В. Евдокимова, А. Г. Федоренко, В. А. Бабешко, Г. Н. Уафа, А. В. Плужник, С. Б. Уафа, Т. А. Хафуз, В. В. Лозовой

Южный научный центр РАН

E-mail: evdokimova.olga@mail.ru

Рассматривается проблема оценки напряженно-деформированного состояния подземных выработок твердых полезных ископаемых, приводящих к образованию протяженных параллельных подземных штолен. В ряде работ исследовались локальные причины аварий в штольнях, связанные с изменением напряженно-деформированного состояния среды при отборе полезных ископаемых в штольне [1]. Однако не изучено влияние образования новых штолен, приводящее к нарушению баланса распределенных между перегородками вертикальных напряжений, выполнены лишь первые работы [2,3]. В то же время, слабо исследован вопрос влияния горизонтальных перемещений литосферных плит на напряженно-деформированное состояние параллельных штольней. Эти перемещения влияют на значения горизонтальных составляющих вектора контактных напряжений, возникающих между верхним и нижним слоями и перегородками штолен. В работе развивается теория оценки напряженно-деформированного состояния в подземных выработках, имеющих произвольное число параллельных разноразмерных штольней в предположении наличия в областях контакта слоев с перегородками. Исследование использует факторизационные методы, метод блочного элемента и топологический подход [4].

Отдельные фрагменты работы выполнены в рамках реализации Госзадания на 2017 г. проекты (9.8753.2017/БЧ), (0256-2014-0006), Программы президиума РАН 1-33П, проекты с (0256-2015-0088) по (0256-2015-0093), и при поддержке грантов РФФИ (15-01-01379), (15-08-01377), (16-41-230214), (16-41-230218), (16-48-230216), (17-08-00323)/

Список литературы

1. Баренблатт Г. И., Христианович С. А. Об обрушении кровли при горных выработках. // Известия АН СССР. Отделение технических наук. 1955. № 11. С.73-82.
2. Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В., К проблеме мониторинга напряженности зон параллельных штольней // МТТ 2016. № 5. С. 6-14.
3. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. К теории влияния глобального фактора на прочность совокупности параллельных соединений Вычислительная механика сплошных сред. 2016, т.9, № 4 С. 412-419.
4. Бабешко В. А., Евдокимова О. В., Бабешко О. М. О топологических структурах граничных задач в блочных элементах. // ДАН. 2016.Т.470. № 6. С 650-654.

К определению напряженности разнотипных блоков литосферных плит

М. В. Зарецкая

ФГБОУ ВО "Кубанский государственный университет"

E-mail: zarmv@mail.ru

В общем случае сейсмические процессы в коре Земли должны описываться связанными динамическими задачами, в которых учитываются наличие и взаимодействие в деформируемых средах полей различной природы. Для упрощения постановки задачи, не теряя при этом точности, предлагается рассматривать кору Земли как блочную структуру и применять развитые теорию блочных структур и метод блочного элемента. Для исследования процессов в отдельных объектах могут применяться блоки со сферической границей (резервуары подземных вод, месторождения углеводородов). Они включаются в общую структуру среды, моделируемой, например, пространством, полупространством, слоем, прямоугольными параллелепипедами. Для исследования процессов, протекающих в блочно-структурированной среде, блоки которой формируются сферическими границами, развит и применяется топологический математический аппарат. Его применением [1] реализуется автоморфизм топологического объекта на себя, при этом оператор краевой задачи получает отображение в изоморфное пространство преобразования Фурье–Бесселя медленно растущих обобщенных функций. Дальнейшие преобразования этого оператора приводят вначале к функциональным, а затем к псевдодифференциальным уравнениям. Последние, в зависимости от граничных условий, могут быть системами интегральных или интегро-дифференциальных уравнений, при решении которых определяются напряжения и деформации в отдельных блоках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00191_a), Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края (код проекта 16-41-230154).

Список литературы

1. Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В., Зарецкая М. В., Павлова А. В., Федоренко А. Г. О дифференциальном методе факторизации в приложениях // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2008. № 2. С. 5–12.

Моделирование электромагнитных процессов при расчете конструкций, содержащих сверхпроводящие материалы

А. В. Зеленский, И. М. Ступаков

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: virus1001010@gmail.com

В работе рассмотрена возможность моделирования сверхпроводящего состояния вещества в предположении полного отсутствия электрического сопротивления. Сформулирована постановка макроскопической модели, предусматривающей наличие в области сверхпроводников и внешних источников тока. Предложенная модель учитывает сверхпроводимость при температуре и интенсивности магнитного поля не превышающих критические. На примере решения тестовой задачи было проведено сравнение данных полученных применением данной модели с другой приближенной

моделью. Представленный метод учета сверхпроводимости позволяет достаточно быстро и точно производить расчеты реальных физических задач.

Список литературы

1. В. Л. Гинзбург, Е. А. Андрияшин. Сверхпроводимость. 2-е издание, переработанное и дополненное. Альфа-М, 2006. 112 с.
2. Бинс К., Лауренсон П. Анализ и расчет электрических и магнитных полей. М.: Энергия, 1970. 376 с.
3. М. Stupakov, M. E. Royak, N. S. Kondratyeva. The method for calculating magnetic field induced by current coils — 13th International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), 2016

Разностный аналог энтропийного неравенства для схемы КАБАРЕ

Н. А. Зюзина, В. В. Остапенко

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

E-mail: nzyuzina1992@gmail.com

Для численного моделирования газодинамических и гидравлических течений широко применяется двухслойная по времени схема КАБАРЕ [1], монотонность которой при аппроксимации линейного уравнения переноса изучалась в [2]–[4], а при аппроксимации скалярного закона сохранения – в [5] и [6]. В настоящей работе получены условия монотонности схемы КАБАРЕ, аппроксимирующей квазилинейный скалярный закон сохранения с выпуклым потоком. Показано, что монотонность этой схемы при числах Куранта $r \in (0,5,1)$ не обеспечивает полного распада неустойчивых сильных разрывов. Получен разностный аналог энтропийного неравенства и предложен метод, обеспечивающий в разностном решении полный распад неустойчивых сильных разрывов для любых чисел Куранта, при которых схема КАБАРЕ является устойчивой. Приведены тестовые расчеты, иллюстрирующие преимущества модифицированной схемы.

Работа выполнена при частной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00333).

Список литературы

1. Головизнин В. М., Зайцев М. А., Карабасов С. А., Короткин И. А. Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов. М.: Изд. МГУ, 2013.
2. Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О монотонности двухслойной по времени схемы кабаре // Матем. моделир. 2012. Т. 24. № 9. С. 97-112.
3. Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О монотонности схемы КАБАРЕ, аппроксимирующей гиперболическое уравнение со знакопеременным характеристическим полем // ЖВМиМФ. 2016. Т. 56. № 5. С. 796–815.
4. Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О монотонности схемы КАБАРЕ в многомерном случае // ДАН. 2015. Т. 462. № 4. С. 385-390.
5. Зюзина Н. А., Остапенко В. В. О монотонности схемы КАБАРЕ, аппроксимирующей скалярный закон сохранения с выпуклым потоком // ДАН. 2016. Т. 466. № 5. С. 513–517.
6. Зюзина Н. А., Остапенко В. В. Монотонная аппроксимация схемой КАБАРЕ скалярного закона сохранения в случае знакопеременного характеристического поля // ДАН. 2016. Т. 470. № 4. С. 375-379.

О решении уравнения Вольтерра первого рода типа свертки

А. Л. Карчевский

Институт математики СО РАН

E-mail: karchevs@math.nsc.ru

В докладе представлены необходимые и достаточные условия, когда уравнение Вольтерра первого рода типа свёртки имеет единственное решение из класса непрерывных функций, разложимых в ряд Фурье, чьи коэффициенты стремятся к нулю как $n^{(1+\alpha)}$ ($\alpha > 0$). Предложен новый численный метод решения этого интегрального уравнения и представлены примеры его численной реализации.

Применение схемы КАБАРЕ для численного моделирования уравнений мелкой воды*О. А. Ковыркина, В. В. Остапенко**Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН**E-mail: olyana@ngs.ru*

Для численного моделирования многомерных газодинамических и гидравлических течений широко применяется двухслойная по времени форма записи схемы КАБАРЕ [1], монотонность которой в одномерном случае изучалась в [2], а в двумерном – в [3]. При этом до последнего времени отсутствовало решение проблемы сохранения монотонности схемы КАБАРЕ в окрестностях линий, на которых скорости распространения характеристик какого-либо семейства, входящего в аппроксимируемую гиперболическую систему законов сохранения, меняют знак. В работе [4] эта проблема была решена для линейного уравнения переноса, в работе [5] – для случая аппроксимации схемой КАБАРЕ скалярного закона сохранения с выпуклым потоком. В настоящей работе эти результаты обобщаются на случай аппроксимации схемой КАБАРЕ квазилинейной гиперболической системы законов сохранения. В качестве конкретного примера рассматривается аппроксимация схемой КАБАРЕ системы уравнений теории мелкой воды с учетом областей, в которых докритическое течение переходит в сверхкритическое. Приведены результаты тестовых расчётов, иллюстрирующие преимущества модифицированной схемы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00333).

Список литературы

1. Головизнин В. М., Зайцев М. А., Карабасов С. А., Короткин И. А. Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов. М.: Издательство Московского университета, 2013.
2. Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О монотонности двухслойной по времени схемы кабарэ // Матем. моделир. 2012 Т. 24. № 9. С. 97–112.
3. Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О монотонности схемы КАБАРЕ в многомерном случае // Докл. АН. 2015. Т. 462. № 4. С. 385–390.
4. Ковыркина О. А., Остапенко В. В. О монотонности схемы КАБАРЕ, аппроксимирующей гиперболическое уравнение со знакопеременным характеристическим полем // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2016. Т. 56. № 5. С. 796–815.
5. Зюзина Н. А., Остапенко В. В. Монотонная аппроксимация схемой Кабарэ скалярного закона сохранения в случае знакопеременного характеристического поля // Докл. АН. 2016. 470. № 4. С. 375–379.

Слабое конечноэлементное решение DIV - ROT системы уравнений первого порядка*И. А. Кремер**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**E-mail: igor.a.kremer@gmail.com*

В работе рассмотрены вопросы решения DIV – ROT системы уравнений первого порядка в векторном пространстве квадратично суммируемых функций. В этом случае дивергенция и ротор искомой функции понимаются в смысле распределений. Уравнение на дивергенцию объявляется основным, а условие на ротор рассматривается в качестве ограничения на решение. Применение методов наименьших квадратов и множителей Лагранжа позволяет записать исходную задачу в виде системы операторных уравнений с седловой точкой. Исследуются свойства операторов и устанавливается однозначная разрешимость сформулированной задачи. Свойства операторов и техника регуляризации, использованная автором в работах [1–2], позволяют исключить из системы множитель Лагранжа и получить одно уравнение во всем пространстве квадратично суммируемых функций. Во второй части работы обсуждаются вопросы численного решения сформулированной задачи векторным вариантом метода конечных элементов.

Список литературы

1. Кремер И. А., Урев М. В. Метод регуляризации стационарной системы Максвелла в неоднородной проводящей среде // Сиб. журн. вычисл. математики. – 2009. – Т. 12. – № 2. – С. 161 – 170.
2. Кремер И. А., Урев М. В. Решение методом конечных элементов регуляризированной задачи для стационарного магнитного поля в неоднородной проводящей среде // Сиб. журн. вычисл. математики. – 2010. – Т. 13. – № 1. – С. 33 – 49.

О свойстве сильной аккретивности операторов дробного дифференцирования

М. В. Кукушкин

Институт прикладной математики и автоматизации

E-mail: kukushkinmv@rambler.ru

Спектральной теории дифференциальных операторов второго порядка с дробной производной Римана-Лиувилля в младших членах посвящены работы [1-4].

В данной работе мы рассмотрим операторы дробного дифференцирования в различных смыслах, на компакте: Римана-Лиувилля, Маршо, Киприянова; На оси: Римана – Лиувилля, Маршо. Установим, что свойство сильной аккретивности (см.[5]) является общим свойством операторов дробного дифференцирования. Также докажем, что свойство секториальности имеет место для операторов второго порядка с дробной производной в младших членах. Исследуем расположение спектра и резольвентного множества операторов второго порядка с дробной производной в младших членах. Покажем, что спектр суммы оператора и сопряженного является дискретным.

Метод замены оператора дифференцирования Римана-Лиувилля на оператор в смысле Маршо позволяет полнее использовать качественные свойства ассоциированного оператора второго порядка в пространствах Лебега, в то же время имеется возможность перенесения результатов для случая оператора Римана-Лиувилля, в силу совпадения операторов на плотных множествах.

В качестве приложения свойства секториальности сформулируем теорему существования и единственности решения дифференциального уравнения второго порядка с дробной производной в младших членах. В качестве приложения свойства сильной аккретивности, докажем оценку снизу собственных значений оператора второго порядка с дробной производной в младших членах.

Список литературы

1. Нахушев А. М. Задача Штурма-Лиувилля для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с дробными производными в младших членах // ДАН СССР. 1977. Т.234, № 2. С. 308–311.
2. Джрбашян М. М. Краевая задача для дифференциального оператора дробного порядка типа Штурма-Лиувилля // Известия академии наук Арм. ССР. 1970. Т.5, № 2.
3. Алероев Т. С. Задача Штурма-Лиувилля для дифференциального уравнения второго порядка с дробными производными в младших членах // Дифференц. уравнения. 1982. 18:2. С. 341–343
4. Алероев Т. С. О полноте системы собственных функций одного дифференциального оператора дробного порядка // Дифференц. уравнения. 2000. 36:6. С. 829–830
5. Kato, T. Perturbation theory for linear operators. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1966

(m,k)-схемы решения дифференциально-алгебраических и жестких систем

А. И. Левыкин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: lai@osmf.sccc.ru

Предложен класс (m, k) -методов решения задачи Коши для неявных систем обыкновенных дифференциальных уравнений, неразрешенных относительно производной [1-3]. Исследуемые методы индуцированы (m, k) -схемами [4] решения разрешенных систем. Для систем индекса 1 и 2 получены условия согласованности и сходимости численного решения в случае использования замораживания матриц производных. Проведено исследование схем при $k < 5$ и получены оптимальные по затратам схемы с использованием как точных так и замороженных матриц производных. Анализ результатов расчетов показывают высокую эффективность (m, k) -методов при их применении для решения широкого класса задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-01-00977), Российского научного фонда (код проекта 14-11-00083).

Список литературы

1. Hairer E., Wanner G. Solving ordinary differential equations II. Stiff and Differential-Algebraic Problems. Springer-Verlag: Berlin, London, New York, 1991
2. Бояринцев Ю. А., Данилов В. А., Логинов А. А., Чистяков В. Ф. Численные методы решения сингулярных систем. Новосибирск: Наука, 1989.
3. Boscarino, S. Analysis of IMEX Runge-Kutta Methods Derived from Differential-Algebraic Systems.// SIAM J. Numer. Anal., 2007, V.45(4), 1600-1621.
4. Новиков Е. А., Шитов Ю. А., Шокин Ю. И. О классе (m,k) -методов решения жестких систем.// ДАН СССР, 1988, т.301, No. 6

Решение уравнения диффузии с оператором Лизеганга на отрезке

Б. А. Марков

Южно-Уральский государственный университет

E-mail: smrx1969@mail.ru

Оксигидраты гелей редких металлов могут быть охарактеризованы с помощью неявно заданного дифференциального уравнения, где само решение и его правая часть имеют вид рядов Фурье, аргумент ряда Фурье определяется некоторой функцией фазы химического состояния вещества. Функция эта зависит от пространственной координаты и времени.

Решение подобной задачи в общем случае ещё не исследовано, однако в случае, когда правая часть уравнения пропорциональна концентрации, задача распадается на ряд задач Флорина [1]; обобщая задачу не имеет классического решения. Для полупрямой частное решение докладывалось ранее [2], сейчас предлагается решение на ограниченном отрезке, что более соответствует химическим экспериментам.

Решение задачи существует, единственно [3], и может быть построено с помощью преобразований и итераций. Сходимость итераций при определённых ограничениях и рассматривается в докладе.

Список литературы

1. А. М. Ильин, Б. А. Марков Нелинейное уравнение диффузии и кольца Лизеганга. Доклады РАН. 2011, № 2, с. 164-167.
2. Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач. Новосибирск, 2016. Тезисы докладов. С. 89.
3. Г. И. Бижанова О классической разрешимости одномерных задач со свободной границей Флорина, Маскета-Веригина и Стефана // Зап. науч. Сем. ПОМИ, 1997, т. 243. С. 30-60

Comparative analysis of conform and nonconform finite element methods for solving the incompressible Navier-Stokes equations

S. I. Markov, N. B. Itkina

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: www.sim91@list.ru

There are two basic problems in solving the Navier-Stokes system equations numerically using finite element methods. The first problem deals with discretisation methods for the nonlinear convective term in the motion equation for flows at high Reynolds numbers. The second problem is determining the unique numerical solution of a saddle-point problem. In the case, the pressure variable is acting as a Lagrange multiplier in the continuity equation.

We propose two concepts for solving the incompressible Navier-Stokes equations. The first concept bases on using the modern mathematical technique of a discontinuous Galerkin method (DG-method). The computational scheme is included in a non-conform finite element family. The issues of applying the special Taylor-Hood and Crouzeix-Raviart finite element spaces on the tetrahedrons to satisfy the LBB

condition are discussed. The second idea is applying stabilized finite element methods and using the first order basis functions for the pressure and velocity fields.

Mathematical modeling results of the incompressible flows and comparative analysis with ANSYS CFX are given.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ (номер гранта СП-3627.2016.5).

Построение обобщенных решений уравнений типа Абеля с вырождением в банаховых пространствах

С. С. Орлов

Иркутский государственный университет

E-mail: orlov_serгей@inbox.ru

Известно, что начальные задачи для интегро-дифференциальных уравнений в банаховых пространствах с необратимым оператором в главной части имеют классические решения не при любых входных данных: операторных коэффициентах, свободной функции и начальных условиях [1]. Первичной проблемой в исследовании подобных задач является поиск условий, при которых имеет место такая разрешимость. Абстрактные уравнения представляют интерес с точки зрения приложений, так как позволяют с общих позиций изучать начально-краевые задачи для интегро-дифференциальных уравнений (в частных производных) математической теории термовязкоупругости [2], гидродинамики [3], физики плазмы [4] и других областей.

В докладе предполагается обсудить проблему однозначной разрешимости начальных задач для вырожденных линейных уравнений типа Абеля, т. е. интегро-дифференциальных уравнений с ядром, имеющим слабую степенную особенность. Исследование осуществляется методами теории распределений со значениями в банаховых пространствах [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-31-00291).

Список литературы

1. Sidorov N., Loginov B., Sinitsyn A., Falaleev M. Lyapunov–Schmidt Methods in Nonlinear Analysis and Applications. Boston; London; Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 2002.
2. Ильющин А. А., Победра Б. Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М.: Наука, 1970.
3. Осколков А. П. Начально-краевые задачи для уравнений движений жидкостей Кельвина–Фойгта и Олдройта // Труды МИАН СССР. 1988. Т. 179. С. 126–164.
4. Свешников А. Г., Альшин А. Б., Корпусов М. О., Плетнер Ю. Д. Линейные и нелинейные уравнения соболевского типа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.

Численное решение уравнений Шрёдингера и Гинзбурга-Ландау с помощью компактных разностных схем

В. И. Паасонен, М. П. Федорук

Институт вычислительных технологий СО РАН,

Новосибирский государственный университет

E-mail: paas@ict.nsc.ru

После приведения уравнений Шрёдингера и Гинзбурга – Ландау к канонической форме нетрудно заметить, что их формальное отличие от уравнения теплопроводности заключается лишь в различии типа коэффициента при вторых производных (он мнимый в первом случае и комплексный с положительной вещественной частью во втором) и в специфике правой части. Это позволяет непосредственно воспользоваться для их решения классической компактной схемой [1] (для рассматриваемых уравнений – второго порядка точности по эволюционной переменной и четвертого порядка по "медленному времени"). Однако в своей оригинальной двухслойной форме схема потребовала бы итераций по нелинейности, тогда как ее трехслойная версия, формально записанная с двойным

шагом и с аппроксимацией правой части исключительно на среднем слое, свободна от этого недостатка. Построенная таким образом безитерационная схема была исследована на предмет устойчивости, протестирована на ряде типичных задач волновой оптики и сравнена с известными схемами второго порядка точности. Полученные результаты расчетов подтверждают совпадение практически наблюдаемого и теоретически ожидаемого порядка точности и демонстрируют существенное преимущество компактных схем. Показано также, что дальнейшее повышение порядка аппроксимации по эволюционной переменной не является целесообразным ввиду потери в этом случае свойства абсолютной устойчивости схемы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-21-00110)

Список литературы

1. Микеладзе Ш. Е. О численном интегрировании уравнений эллиптического и параболического типов // Известия АН СССР. Серия матем. 1941. Т. 5, № 1. С. 57–74.

О применении метода фиктивного поглощения в решении задач о вибрации штампов, плоских жестких включений и полостей

А. В. Павлова

ФГБОУ ВО "Кубанский государственный университет"

E-mail: pavlova@math.kubsu.ru

Работа посвящена развитию методов решения интегральных уравнений (ИУ) и систем ИУ смешанных динамических задач теории упругости, задаваемых в односвязных областях сложной формы. Представлено обобщение метода фиктивного поглощения [1,2] на случай невыпуклой в плане области, занимаемой дефектом или штампом. Указанный метод позволяет описывать решения не только внутри, но и в окрестности границ области контакта.

Метод может быть использован при решении контактных задач о вибрации штампов, полостей или жестких включений произвольной в плане формы. Для областей сложной конфигурации предполагается возможным представление их в виде объединения выпуклых ограниченных замкнутых областей, возможно, с общими граничными множествами. Предлагается модификация метода в части подбора базисных функций, присутствующих в решении лишь под знаками операторов. В качестве последних выбираются производные дельта-функций, что упрощает построение решения [3]. Метод фиктивного поглощения для построения вспомогательных решений, соответствующих задачам для сред с сильным затуханием, позволяет применять хорошо зарекомендовавшие себя методы решения смешанных статических задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-41-230184_p).

Список литературы

1. Бабешко В. А. Обобщенный метод факторизации в пространственных динамических смешанных задачах теории упругости. М.: Наука, 1984. 265 с.

2. Ворович И. И., Бабешко В. А., Пряхина О. Д. Динамика массивных тел и резонансные явления в деформируемых средах. М.: Научный мир, 1999. 248 с.

3. Капустин М. С., Павлова А. В., Рубцов С. Е., Телятников И. С. К моделированию взаимодействия фундамента с деформируемой грунтовой средой // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС). 2015. № 3. С. 44–51.

Численное исследование вынужденных нелинейных колебаний в одной математической модели микрорезонатора

Д. О. Пиманов¹, С. И. Фадеев², Э. Г. Косцов³

¹Новосибирский государственный университет

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

³Институт автоматизации и электрометрии СО РАН

E-mail: pimanov-daniil@yandex.ru

Исследуются нелинейные колебания материальной точки, описываемые дифференциальным уравнением второго порядка, под воздействием линейной упругой силы, силы трения и силы электростатического притяжения, меняющейся во времени с заданным периодом. Рассматриваемая проблема представляет математическую модель микрорезонатора, в котором недеформируемая платформа с заданной массой на пружине играет роль материальной точкой. В связи с этим формулируется нелинейная краевая задача с условиями периодичности, для исследования которой привлекается метод продолжения решения по параметру на основе дифференциальных прогонок метода множественной стрельбы. В результате были установлены области параметров, в которых существуют периодические решения задачи Коши для рассматриваемого дифференциального уравнения с периодом внешнего воздействия, их множественность и устойчивость. Показано существование устойчивых периодических решений с периодом, кратным периоду внешнего воздействия. Приведены примеры, в которых периодические решения переходят в хаотические колебания по сценарию Фейгенбаума через удвоение периода.

Границы областей решений дифференциальных уравнений с управляющими и возмущающими воздействиями

А. Н. Рогалев

Институт вычислительного моделирования СО РАН

E-mail: rogalyov@icm.krasn.ru

Рассматривается класс моделей и численных методов [1-3], основанных на символьных формулах, для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений с управлением или с ограничениями на переменные состояния и управления. Необходимость оценки решений в таких задачах появляется в различных инженерных приложениях, в задачах физики, химии, которые характеризуются нахождением оптимальных устойчивых состояний. В докладе описан класс численных методов определения границ области, в которой находятся все точные решения таких задач. При этом используются геометрические свойства точного решения, чтобы устранить сильное увеличение этих границ, характерное для большинства двусторонних методов и методов включения решений. Приводятся результаты вычислений.

Список литературы

1. Новиков В. А., Рогалев А. Н. Построение сходящихся верхних и нижних оценок решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений // ЖВММФ. 1993. Т.33, № 2. с. 219-231.
2. Rogalev A. N. Calculation of Guaranteed Boundaries of Reachable Sets of Controlled Systems. // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, Allerton Press. 2011. v.47, N 3. P. 287-296
3. Рогалев А. Н. Границы областей решений дифференциальных уравнений при накоплении возмущений // Сб. "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики", Новосибирск: Академиздат: 2015. С. 14-15.

Новый численный метод решения задачи Стокса в области с тупым углом*В. А. Рукавишников¹, А. В. Рукавишников²*¹ *Вычислительный центр ДВО РАН*² *Институт прикладной математики ДВО РАН**E-mail: 78321a@mail.ru*

Для задачи Стокса в многоугольной области с входящим тупым углом на границе построен новый весовой метод конечных элементов, основанный на определении R_ν -обобщённого решения [1,2].

Численные эксперименты модельной задачи в L-образной области показали, что приближенное R_ν -обобщённое решение (вектор скоростей) сходится к точному решению задачи со скоростью $O(h)$ в полунорме пространства $H_\nu^{-1}(\Omega, \delta)$, в отличие от приближённого обобщённого решения по методу конечных элементов, сходящегося – со скоростью $O(h^{0.55})$ в полунорме пространства $H^1(\Omega)$ (см. [3]).

Список литературы

1. Рукавишников В. А. О дифференциальных свойствах -обобщённого решения задачи Дирихле// Докл. АН СССР. 1989. Т. 309, № 6. С. 1318-1320.
2. Рукавишников В. А. О существовании и единственности -обобщённого решения для краевой задачи с несогласованным вырождением исходных данных// ДАН. 2014. Т. 458, № 3. С. 261-263.
3. Blum H. The influence of reentrant corners in the numerical approximation of viscous flow problems// Vol. 30 of Numerical Treatment of the Navier-Stokes Equations. Springer, 1990.

Весовой векторных метод конечных элементов для уравнений Максвелла с сингулярностью*В. А. Рукавишников, А. О. Мосолапов**Вычислительный центр ДВО РАН**E-mail: vark0102@mail.ru*

Рассматривается система уравнений Максвелла для гармонического по времени электромагнитного поля, преобразованная к уравнению второго порядка в двумерной области с входящим углом и граничными условиями сверхпроводимости. Наличие геометрической особенности границы области приводит к сингулярности решения. Авторами предложено определить решение этой задачи как R-обобщённое в специальном весовом множестве. Для приближенного нахождения решения построен весовой векторный метод конечных элементов [1] и доказана оценка скорости его сходимости в норме весового пространства Соболева-Монка, по показателю степени h превосходящая в полтора раза результаты зарубежных исследователей [2,3]. Проведен сравнительный численный анализ на модельных задачах.

Список литературы

1. Rukavishnikov V. A., Mosolapov A. O. New numerical method for solving time-harmonic Maxwell equations with strong singularity // Journal of Computational Physics 231 (2012). - P. 2438-2448.
2. Assous F., Ciarlet P., Garcia E., Segré J. Time-dependent Maxwell's equations with charges in singular geometries // Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 2006. V. 196. P. 665–681.
3. Costabel M., Dauge M. Weighted regularization of Maxwell equations in polyhedral domains // Numer. Math. 2002. V. 3. P. 239–277.

Численный анализ методов решения краевых задач с вырождением по всей границе области*В. А. Рукавишников, А. С. Рябоконт, Е. И. Рукавишникова**Вычислительный центр ДВО РАН*

Рассмотрена задача Дирихле для эллиптического уравнения второго порядка с вырождением решения на всей границе двумерной области. Для данной задачи построена схема метода конечных элементов на сетках со сгущением к границе области, где сгущение задается параметрами, зависящими от построенного подпространства [1] и весового МКЭ на основе введенного R-обобщённого решения [2]. Проведен сравнительный численный анализ МКЭ на квазиравномерных сетках, метода со сгущением сеток и весового метода конечных элементов. Экспериментально подтверждены

теоретические оценки. Приближенные решения, полученные вторым и третьим методами, имеют абсолютную погрешность в подавляющем числе узлов сетки на один – два порядка меньше, чем найденные классическим методом конечных элементов на квазиравномерных сетках.

Список литературы

1. Рукавишников В.А., Рукавишникова Е. И. Об изоморфном отображении весовых пространств эллиптическим оператором с вырождением на границе области // Дифференциальные уравнения. 2014. Т. 50, № 3. С. 349-355.
2. V. A. Rukavishnikov, H. I. Rukavishnikova, The Finite Element Method For Boundary Value Problem With Strong Singularity// Journal of Computational and Applied Mathematics. 2010. Vol. 234, № 9. P.2870-2882.

Применение метода декомпозиции с пересечением для решения внешней краевой задачи для уравнения Гельмгольца

А. О. Савченко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: savch@ommfao1.sgcc.ru

Рассматривается применимость альтернирующего метода Шварца и его модификации для решения внешней краевой задачи для уравнения Гельмгольца. Для решения задачи производится декомпозиция расчётной области на две пересекающиеся подобласти, ограниченную и неограниченную, на смежных границах которых ставятся итерируемые интерфейсные условия. Решение задачи во внешней подобласти производится с использованием формулы Грина, что позволяет получить достаточные условия сходимости метода в случае отрицательного коэффициента в уравнении Гельмгольца. Проведено исследование сходимости частного случая проблемы, позволяющее сделать вывод о применимости предложенного подхода для решения задачи с произвольным волновым числом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00485).

A New Approach to Model Solidification and Phase Transition Processes Using a Generalized Finite Difference Method

F. R. Saucedo-Zendejo¹, E. O. Resendiz-Flores¹, J. Kuhnert²

¹The Technological Institute of Saltillo

²Fraunhofer Institute for Industrial Mathematics ITWM

E-mail: feliks@live.com.mx

In this work we propose a novel way to model solidification and phase transition processes using a Generalized Finite Difference Method (GFDM). The meshfree and Lagrangian nature of this approach gives the advantage of naturally capture the motion and form of the phase boundaries without the need of adaptive remeshing algorithms. This approach is based on the works of S. Tiwari, J. Kuhnert, E. O. Resendiz-Flores and F. R. Saucedo-Zendejo, which provide a background to solve general elliptic equations in a meshfree framework and their application to solve multiphase and heat transfer problems. The main features behind this approach, as well as details of the computational implementation are presented. Finally, numerical results of the simulation of some two-dimensional problems using this approach are reported which show that this approach is promising for the modelling of this kind of problems.

Методы интегрирования уравнений движения пыли в околозвездных дисках: симплектичность и устойчивость

Г. И. Сахибгареева

Уфимский государственный нефтяной технический университет

E-mail: Sahibgareeva.gulfina@yandex.ru

Для моделирования динамики твердых тел в газопылевых околозвездных дисках требуется численно интегрировать уравнение движения твердой фазы на протяжении большого количества

оборотов вокруг звезды [1]. Тела движутся под действием гравитационной силы, аэродинамического трения и других сил. В случае мелкой пыли уравнения движения являются жесткими за счет того, что время выравнивания скоростей газа и пыли много меньше, чем время оборота пылинки вокруг звезды. Требования к временному шагу для уравнения движения определяется устойчивостью применяемой численной схемы и ее способностью сохранять геометрию орбиты на протяжении большого количества оборотов. В работе проводится поиск методов, которые по совокупности этих требований позволяют использовать максимальный временной шаг.

Автор выражает благодарность Стояновской О. П., Кирьяновой О. Ю., Губайдуллину И. М. за консультации по проблемной ситуации в данном научном направлении, а также за обсуждение результатов расчетов.

Список литературы

1. Стояновская О. П. Численное моделирование развития гравитационной неустойчивости и образования сгустков вещества в массивных околозвездных дисках с использованием интегральной характеристики для интерпретации результатов // Вычислительные методы и программирование. Т. 17. № 3 (2016). С. 339–352.

Об одном итерационном методе численного решения квазилинейной дифференциально-алгебраической системы уравнений в частных производных малого индекса

С. В. Свинина

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

E-mail: gaidamak@icc.ru

Объектом исследования автора являются дифференциально-алгебраические системы уравнений в частных производных, то есть системы, связывающие уравнения в частных производных, обыкновенные дифференциальные уравнения и алгебраические связи. Основная характеристика таких систем – индекс. Он определяет максимальный порядок производных исходных данных, входящих в решение соответствующей граничной задачи. Для линейных дифференциально-алгебраических систем уравнений в частных производных малого и высокого индекса автором предложены разностные схемы, имеющие высокий порядок точности. В основе их построения применяется аппроксимация искомой функции сплайном произвольного порядка по каждой независимой переменной [1-3]. В докладе рассматривается квазилинейная дифференциально-алгебраическая система уравнений в частных производных, для решения которой предлагается нелинейная сплайн-коллокационная разностная схема.

Список литературы

1. Гайдомак С. В. Об одном алгоритме численного решения линейной дифференциально-алгебраической системы уравнений в частных производных произвольного индекса // Журн. вычисл. матем. и матем. физ.. 2015. Т. 55, № 9. С. 1530–1544.

2. Гайдомак С. В. Об одной краевой задаче для линейной параболической системы первого порядка // Журн. вычисл. матем. и матем. физ.. 2014. Т. 54, № 4. С. 608–618.

3. Гайдомак С. В. Об устойчивости неявной сплайн-коллокационной разностной схемы для линейных дифференциально-алгебраических уравнений с частными производными // Журн. вычисл. матем. и матем. физ.. 2013. Т. 53, № 9. С. 1460–1479.

The limitations of solution accuracy for ellipsometric problems

S. N. Svitashева

Rzhanov Institute of Semiconductor Physics

E-mail: Svitashева@isp.nsc.ru

Modern nanotechnologies often require calculating of three parameters of metal films simultaneously using ellipsometric measurements at single wavelength. As a rule these measurements are needed for routine control of deposition conditions. The knowledge of exact values of film thickness and complex refractive index is highly important because they define reliability of device operation. In this paper a new algorithm of inverse ellipsometric problem solution using Mathcad platform is proposed and difficulties in obtaining

accurate results are considered. The solution accuracy limiting factors are the following: measurement accuracy, quality of ellipsometer alignment and homogeneity or uniformity of object of study.

Влияние выбора минимизируемого функционала на точность интерпретации измерений

С. Н. Свиташева

Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН

E-mail: Svitashева@isp.nsc.ru

Эллипсометрические измерения являются косвенными, то есть, измеренные величины (эллипсометрические углы Ψ и Δ в нуль-эллипсометре или интенсивности отражённого света в фотометрическом эллипсометре) не характеризуют непосредственно интересующие исследователя параметры объекта (показатели преломления, толщины слоев, наличие шероховатости и т. д.). Интерпретация результатов измерений состоит, как правило, из трех этапов. На первом выбирается физическая модель объекта, описываемая некоторым набором $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ параметров, часть которых может быть известна. На втором этапе выбирается математическая модель представления свойств исследуемой системы. На третьем этапе находится набор значений параметров, наилучшим образом соответствующий набору экспериментальных данных. Для реализации третьего этапа необходимо задать критерий (меру) точности описания экспериментальных величин данным набором параметров. Этим критерием является функция ошибок χ^2 или "целевая функция" (merit function, objective function or error function) выраженная, как правило, суммой квадратичных невязок (отклонений) между экспериментальными данными и рассчитанными согласно выбранным моделям. Таким образом, функция ошибок устанавливает точность соответствия между точкой (или набором точек) экспериментальных данных и точкой (или набором точек) в многомерном пространстве параметров. В идеальном случае для идеальной исследуемой системы функция ошибок χ^2 должна равняться нулю, что может быть реализовано только в машинном эксперименте и то, если не заданы "шумы измеренных" величин. Как правило, используются нормированные невязки, с учетом точности регистрации эллипсометрических углов, и с разной формой усреднения (3, 3а-3с), но иногда выбирается ненормированная сумма невязок, поэтому сравнивая величину минимума функционала как критерий успешности найденного решения, необходимо учитывать саму форму целевой функции. Поскольку нормирующие множители могут менять порядок величины функции ошибок. Основным недостатком χ^2 , использующих угол фазовый угол, является скачок функции невязок при переходе $0 \rightarrow 2\pi$, который был устранён автором в специальной программе.

Список литературы

1. Svetlana Svitashева, Modeling Methods of Optical Inhomogeneous Structures. Application of Ellipsometry, Lambert Academic Publishing, 2013.

Diverse blow-up regimes in nonlinear diffusion processes

Yu. N. Skiba¹, D. M. Filatov²

¹*National Autonomous University of Mexico, Centro de Ciencias de la Atmosfera*

²*Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences*

E-mail: skiba@unam.mx

Unbounded solutions, known as blow-up regimes, occupy a special place in the theory of nonlinear parabolic equations describing processes in plasma physics, chemical kinetics, biophysics, meteorology, etc. [1, 2]. The driving force of evolution of such systems is the unity of accumulation and dissipation processes.

This work deals with the nonlinear combustion and its three blow-up regimes when the temperature grows without limits within a bounded region for a finite time. We consider 2D and 3D nonlinear diffusion models on the surface of a sphere and in a spherical shell. The coordinate splitting [3] leads to implicit unconditionally stable second-order finite difference schemes for 1D split problems. The use of two coordinate maps on the sphere allows imposing periodic boundary conditions in the latitudinal and

longitudinal directions. A band structure of the resulting matrices allows applying fast non-iterative solvers [4]. Numerical experiments show the method's ability to simulate the HS- (in an expanding area), LS- (in a reducing area) and S-regime (in a fixed-size area) of combustion.

References

1. Kurdyumov S. P. Regimes with Blow-up. M.: Fizmatlit, 2006.
2. Samarskii A. A. et al. Blow-up in Quasilinear Parabolic Equations. B.: Walter de Gruyter, 1995.
3. Marchuk G. I. Methods of Computational Mathematics. N.-Y.: Springer, 1982.
4. Skiba Yu.N., Filatov D. M. Splitting-based schemes for numerical solution of nonlinear diffusion equations on a sphere // Appl. Math. Comp. 2013. V. 219, N. 16. P. 8467-8485.

Коллокационно-вариационные разностные схемы для дифференциально-алгебраических уравнений

Л. С. Соловарова

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

E-mail: soleilu@mail.ru

В докладе рассмотрены дифференциально-алгебраические уравнения (ДАУ). Данный класс уравнений имеет вид системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) с тождественно вырожденной квадратной матрицей перед главной частью. Характеристикой сложности таких уравнений является понятие индекса - минимального числа дифференцирований и конечных преобразований, необходимых для того, чтобы исходное ДАУ можно редуцировать к ОДУ, разрешенному относительно производной.

Для численного решения ДАУ предложены коллокационно-вариационные разностные схемы, построение которых основано на подходах [1], [2].

Приведены анализ таких схем и результаты численных расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-31-00219 мол-а).

Список литературы

1. Булатов М. В., Горбунов В. К., Мартыненко Ю. В., Нгуен Дин Конг. Вариационные подходы к численному решению дифференциально-алгебраических уравнений // Вычислительные технологии. 2010. Т. 15, № 5. С.3–14.
2. Булатов М. В., Рахвалов Н. П., Соловарова Л. С. Численное решение дифференциально-алгебраических уравнений методом коллокационно-вариационных сплайнов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2013. Т.5 3, № 3. С.46–58.

О решениях нелинейных уравнений тепломассообмена

И. В. Степанова

Институт вычислительного моделирования СО РАН

E-mail: stepiv@icm.krasn.ru

В работе рассматривается математическая модель молекулярного тепломассообмена в бинарных смесях, учитывающая эффекты перекрестной диффузии Соре и Дюфора [1]. Подобные модели представляют интерес в связи с многочисленными приложениями в термодинамике жидких и газовых бинарных смесей [2,3]. Особенностью рассматриваемой модели является учет зависимости коэффициентов переноса (теплопроводности, диффузии, термодиффузии и диффузионной теплопроводности) от параметров состояния. Проведено исследование симметрий исследуемых уравнений. Найдены новые точные решения стационарных и нестационарных уравнений модели в одномерной постановке, описывающих термодиффузионное разделение бинарной смеси в плоском слое, границы которого поддерживаются при различных постоянных температурах. Исследованы различные примеры бинарных смесей, для которых стационарные уравнения могут быть проинтегрированы в явном виде. Для нестационарных задач построены примеры аналитических и численных решений.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (номер гранта МК-4519.2016.1).

Список литературы

1. Гебхарт Б., Джалурия Й., Махаджан Р., Саммакия Б. Свободноконвективные течения, тепло – и массообмен. М.: Мир, 1991.
2. Рабинович Г. Д. Разделение изотопов и других смесей термодиффузией. М.: Атомиздат, 1981.
3. Коржуев М. А. Эффект Дюфора в суперионном селениде меди. // Физика твердого тела. 1989. Т. 40, № 2. С. 242–244.

Экономичные методы интегрирования жестких уравнений движения пыли в околозвездных дисках

О. П. Стояновская^{1,2}, В. Н. Снытников³, Э. И. Воробьев¹, Т. В. Маркелова¹

¹Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³НИИ физики Южного федерального университета

E-mail: stop@catalysis.ru

В работе проводится анализ методов численного интегрирования по времени уравнений движения твердой фазы, которые применяются в современных астрофизических кодах для моделирования газопылевых околозвездных дисков. Вычислительную трудность при этом представляет случай, когда характерное время обмена импульсом между фазами на несколько порядков меньше, чем характерные времена действия других сил.

1) Показано, что некоторые применяемые в кодах схемы, обладающие безусловной устойчивостью и первым порядком аппроксимации, имеют низкую фактическую точность при приемлемых шагах интегрирования по времени, а для достижения необходимой точности в несколько процентов требуется применять шаги по времени столь же мелкие, как и в явных методах для обеспечения устойчивости.

2) Приведены экономичные методы первого порядка аппроксимации, которые позволяют избежать дополнительных ограничений на шаг по времени со стороны трения при расчете движения тел любого размера [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (16-07-00916) и гранта Президента РФ (МК-5915.2016.1).

Список литературы

1. Стояновская О. П., Снытников В. Н., Воробьев Э. И. Расчет движения пылевых частиц в газопылевом околозвездном диске // *Астрономический журнал*, направлена в печать

О решении некорректно поставленной задачи для нелинейного дифференциального уравнения второго порядка

Е. В. Табаринцева

Южно-Уральский государственный университет

E-mail: eltab@rambler.ru

Рассматривается некорректно поставленная задача Коши для дифференциально-операторного уравнения второго порядка с несамосопряженным оператором в гильбертовом пространстве. Получены двусторонние оценки модуля непрерывности для данной задачи. Устойчивые приближенные решения задачи строятся с помощью метода квазиобращения и метода вспомогательных граничных условий. Получены точные по порядку оценки погрешности рассмотренных методов на одном из классов равномерной регуляризации. В качестве примеров применения полученных общих результатов рассмотрены обратная граничная задача для нелинейного параболического уравнения с условиями периодичности и граничная обратная задача для нелинейного параболического уравнения без начальных условий. Приводятся примеры численного решения граничных обратных задач.

Работа выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013), соглашение № 02.А03.21.0011”.

Список литературы

- Иванов В. К., Мельникова И. В., Филинков А. И. Дифференциально-операторные уравнения и некорректные задачи. - М.: Наука, 1995.
- Танана, В. П. Об оптимальном по порядку методе решения одной обратной задачи для параболического уравнения // Докл. РАН. – 2006. - Т.407. - № 3. - С.316-318.
- Ильин, А. М. Уравнения математической физики. Челябинск: Издательский центр ЧелГУ, 2005.
- Лаврентьев, М. М. О некоторых некорректных задачах математической физики /М. М.Лаврентьев. - Новосибирск: Наука, 1962.

О свойствах конечно-разностных методов для уравнений мелкой воды с дисперсией

З. И. Федотова, О. И. Гусев, Н. Ю. Шокина, Г. С. Хакимзянов
Институт вычислительных технологий СО РАН
E-mail: zf@ict.nsc.ru

Численное моделирование на основе уравнений мелкой воды является эффективным инструментом решения задач волновой гидродинамики, имеющих практические приложения. В последние полвека существенным дополнением к классическим моделям мелкой воды стали нелинейно-дисперсионные, применение которых позволило перейти от изучения очень длинных волн к умеренным и тем самым расширило диапазон описания волновых режимов, включив как процессы в прибрежной зоне, так и учет влияния дисперсии на формирование волн в масштабах океана [1].

До недавнего времени проблемным местом моделирования на основе нелинейно-дисперсионных уравнений оставались пробелы в исследовании свойств конечно-разностных схем [2]. В расчетах обычно выбирались "схемные" параметры по аналогии с известными для бездисперсионного случая. Проведенное нами исследование показало, что разностные схемы для уравнений, включающих дисперсию, обладают рядом специфических свойств. В частности, в условие устойчивости входит новый параметр – отношение "среднего" шага по пространству к толщине слоя жидкости. Полученные формулы позволяют ослабить ограничение на шаг по времени и корректировать его в процессе измельчения пространственной сетки.

Задача, которую решали многие исследователи – обеспечить преобладание физической дисперсии над "схемной". В настоящей работе эта проблема рассматривается в рамках метода дифференциальных приближений. Найденны соотношения шагов для ряда разностных схем, когда влияние "схемной" дисперсии будет минимальным. Обнаружена специфика двумерного случая, состоящая в "неоднородности" направления изменения фазы волны в отличие от дифференциальных постановок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-17-00219) и Гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущей научной школы РФ (№ НШ-7214.2016.9).

Список литературы

1. Федотова З. И., Хакимзянов Г. С., Гусев О. И., Шокина Н. Ю. Нелинейно-дисперсионные модели волновой гидродинамики: уравнения и численные алгоритмы. Новосибирск: Наука, 2017.
2. Федотова З. И., Хакимзянов Г. С., Гусев О. И. История развития и анализ численных методов решения нелинейно-дисперсионных уравнений гидродинамики. I. Одномерные модели // Вычисл. технологии. 2015. Т. 20, № 5. С. 120-156.

Разработка надежного численного метода решения краевой задачи Дирихле для сингулярно возмущенного эллиптического уравнения реакции – диффузии в двусвязной области

И. В. Целищева, Г. И. Шишкин
Институт математики и механики им. Н. Н. Красовского УрО РАН
E-mail: tsi@imm.uran.ru

В двусвязной области — прямоугольнике с выключенным кругом — рассматривается краевая задача Дирихле для сингулярно возмущенного эллиптического уравнения реакции–диффузии с возмущающим параметром ε , принимающим произвольные значения из полуинтервала $(0, 1]$. При стремлении параметра к нулю в окрестности границы возникают пограничные слои. В окрестности

наружной границы, но вне окрестности угловых точек прямоугольника, слой является регулярным, а в окрестности угловых точек — угловым; в окрестности внутренней границы появляется круговой регулярный слой. Погранслоем экспоненциально убывает при удалении от наружной и внутренней границ, что затрудняет построение специальных “связных” сеток, сгущающихся по нормали к границе. Для краевой задачи с использованием техники работ [1–3] строится ϵ -равномерно сходящаяся итерационная схема метода Шварца на перекрывающихся подобластях, содержащих или границу прямоугольника, или границу круга. Используются сетки Шишкина, сгущающиеся в окрестности пограничных слоев — сетки, кусочно-равномерные по нормали к гладким частям границ подобластей.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00727).

Список литературы

1. Шишкин Г. И. Сеточные аппроксимации сингулярно возмущенных эллиптических и параболических уравнений. Екатеринбург: УрО РАН, 1992.
2. Shishkin G. I., Shishkina L. P. *Difference Methods for Singular Perturbation Problems*. Chapman & Hall/CRC Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics, vol. 140. Boca Raton: CRC Press, 2009.
3. Шишкин Г. И., Целищева И. В. Параллельные методы решения сингулярно возмущенных краевых задач для эллиптических уравнений // Математическое моделирование. 1996. Т. 8, № 3. С. 111–127.

Compact θ -method for the generalized delay diffusion equation

Q. Zhang, D. Xu, Y. Xu

Zhejiang Sci-Tech University

E-mail: zhangqifeng0504@163.com

The generalized diffusion equation with a delay has inherent complex nature because its analytical solutions are hardly obtainable [1-4]. Therefore, one has to seek numerical methods, especially the high-order accurate ones, for their approximate solutions. In the talk, the results of the numerical asymptotic stability of the compact θ -method for the generalized delay diffusion equation are established. It has been shown that the compact τ -method is asymptotic stable if and only if $[(k+r)\tau]h^2 < (10 - \cos h)[(12(1 + \cos h))(1 - 2\theta)]$ for $\theta \in [0, 1/2]$ and unconditionally asymptotically stable for $\theta \in [1/2, 1]$, respectively. The convergent results in the maximum norm are studied according to the consistency analysis and Lax theorem. In the end, a series of numerical tests on stability and convergence are carried out to support our theoretical results.

This work was supported by NSFC (Grant No. 11501514), NSAF (Grant No. U1630116) and Natural Sciences Foundation of Zhejiang Province (Grant No. LQ16A010007).

References

1. Bellen, M. Zennaro, *Numerical Methods for Delay Differential Equations*, Oxford University Press, Oxford (2003)
2. M. A. Castro, F. Rodríguez, J. Cabrera, J. A. Martín, Difference schemes for time dependent heat conduction models with delay, *Int. J. Comput. Math.*, 91 (2014) 53–61.
3. H. Tian, Asymptotic stability of numerical methods for linear delay parabolic differential equations, *Comput. Math. Appl.*, 56 (2008) 1758–1765.
4. H. Tian, Asymptotic stability analysis of the linear θ -method for linear parabolic differential equations with delay, *J. Diff. Equ. Appl.*, 15(5) (2009) 473–487.

Разработка робастных разностных схем для сингулярно возмущенного уравнения переноса

Г. И. Шишкин

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

E-mail: shishkin@imm.uran.ru

Моделирование процессов переноса субстанции в случае, когда скорость переноса может быть достаточно малой, приводит к начально-краевым задачам для уравнения переноса, содержащим возмущающий параметр ϵ при пространственной производной, принимающий произвольные значения

из полуинтервала $(0,1]$. Наличие возмущающего параметра приводит к появлению пограничного слоя, в окрестности которого производные решения задачи по пространственной переменной x неограниченно растут при стремлении ε к нулю. По этой причине решение стандартной разностной схемы на равномерной сетке не сходится равномерно по параметру в равномерной норме. Сходимость имеет место лишь, когда шаг пространственной сетки много меньше параметра ε . Отметим, что численные методы для регулярных задач для уравнений переноса разрабатывались в школах Г. И. Марчука, А. А. Самарского, Н. Н. Калиткина (см., например, [1-3]). В настоящей работе для рассматриваемой задачи на основе подходов из [4,5] разрабатывается робастная разностная схема, то есть схема, сходящаяся равномерно по параметру ε в равномерной норме. Для решения начально-краевой задачи строится декомпозиция решения в виде суммы регулярной и сингулярной компонент решения. Для этих компонент решения получены априорные оценки и их производных. При построении разностной схемы используется стандартная монотонная сеточная аппроксимация задачи на кусочно-равномерной сетке Шишкина [5]. С использованием априорных оценок решения устанавливается равномерная по параметру ε сходимость сеточного решения с первым порядком точности по переменным x и t .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта № 16-01-00727).

Список литературы

1. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989.
2. Самарский А. А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1989.
3. Калиткин Н. Н., Корякин П. В. Численные методы. Методы математической физики. М.: Издательский центр "Академия", 2013.
4. Шишкин Г. И. Сеточные аппроксимации сингулярно возмущенных эллиптических и параболических уравнений. Екатеринбург: УрО РАН, 1992.
5. Shishkin G. I., Shishkina L. P. Difference Methods for Singular Perturbation Problems. Vol. 140 of Chapman and Hall/CRC Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics. Boca Raton: CRC Press, 2009.

Численное исследование стандартной и специальной разностных схем для сингулярно возмущенного уравнения переноса

Л. П. Шишкина

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

E-mail: Lida@convex.ru

Рассматривается сеточная аппроксимация начально-краевой задачи для сингулярно возмущенного уравнения переноса с возмущающим параметром ε при пространственной производной, принимающем произвольные значения из полуинтервала $(0,1]$. При стремлении параметра ε к нулю в решении такой задачи появляется пограничный слой, в окрестности которого производные решения задачи по пространственной переменной x неограниченно растут. По этой причине численные методы, разработанные в работах Г. И. Марчука, А. А. Самарского, Н. Н. Калиткина (см., например, [1-3]) для регулярных задач для уравнений переноса приводят к большим ошибкам в сеточных решениях сингулярно возмущенных задач. А подход к построению робастных разностных схем, разработанный для сингулярно возмущенных начально-краевых задач для параболических уравнений (см., например, [4,5] и библиографию там же), оказывается пригодным и для сингулярно возмущенной начально-краевой задачи в случае уравнения переноса. В настоящей работе проводится численное исследование стандартной и специальной разностных схем для сингулярно возмущенного уравнения переноса. Показано, что решение стандартной разностной схемы на равномерной сетке не сходится равномерно по параметру ε в равномерной норме в то время как решение специальной разностной схемы на кусочно-равномерной сетке Шишкина [5] сходится равномерно по параметру ε в равномерной норме с первым порядком точности по переменным x и t . Результаты численных экспериментов согласуются с теоретическими результатами.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта № 16-01-00727).

Список литературы

1. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989.
2. Самарский А. А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1989.
3. Калиткин Н. Н., Корякин П. В. Численные методы. Методы математической физики. М.: Издательский центр “Академия”, 2013.
4. Шишкин Г. И. Сеточные аппроксимации сингулярно возмущенных эллиптических и параболических уравнений. Екатеринбург: УрО РАН, 1992.
5. Shishkin G. I., Shishkina L. P. Difference Methods for Singular Perturbation Problems. Vol. 140 of Chapman and Hall/CRC Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics. Boca Raton: CRC Press, 2009.

Solution of the joint modeling problem for electric and magnetic fields

N. V. Shtabel

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

E-mail: orlovskayanv@ipgg.sbras.ru

To define the effective electromagnetic properties of the medium samples it is necessary to know the electric field and the rotation of magnetic field [1]. The vector finite element method is a good choice for electric field modeling [2]. The magnetic field can be calculated as a rotation of the electric field. However, after multiple rotations of the field, the accuracy of calculations falls dramatically. Bases used for electric field modeling should consist of polynomials of second or higher order. To reduce the loss of accuracy it is necessary to solve equivalent problem for the corresponding magnetic field. The result of modeling electric and corresponding magnetic fields is presented in the paper.

This work is funded by 2for Basic Research project “ofi_m” (code 16-29-15094) and by the Fundamental Research of the Presidium of Russian Academy of Sciences program № 43.

References

1. Shurina E., Epov M., Shtabel N., Mikhaylova E. The calculation of the effective tensor coefficient of the medium for the objects with microinclusions // Engineering. 2014. Т. 6. № 3. С. 101.
2. R. Hiptmair, Finite elements in computational electromagnetism // Acta Numerica. 2002. Т. 21. С. 237-339

Analysis of the model reduction possibility for three-dimensional electromagnetic problems

E. P. Shurina¹, D. V. Dobrolyubova², E. I. Shtanko²

¹*Новосибирский государственный технический университет*

²*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН*

E-mail: dobrolyubovad@ngs.ru

Increasing complexity of applications requires that computational schemes meet higher standards concerning their accuracy, computational cost and agreement with the underlying physics of the process described. On the other hand, it is common to reduce 3D problems in the media with complex internal structure to simplified 2D models [1-2]. When such model reduction is proposed, it is usually stated either that reverse transition to the 3D coordinate space can be performed naturally, or that the reduced model adequately meets the physics of the process considered. However, such an approach may fail to provide correct numerical approximations. In this work, we analyze the possibility of model reduction for 3D electromagnetic problems in complex media in a wide frequency range.

This work is funded by 2for Basic Research project “ofi_m” (code 16-29-15094) and by the Fundamental Research of the Presidium of Russian Academy of Sciences program № 43.

References

1. Fabbro V., Féral L., Galiègue H., Rougerie S. 3D to 2D approximation effect on propagation modeling, impact on scintillation indices in polar region // Beacon Satellite Symposium BSS 2016. – 2016.
2. Gas P., Kurgan E. Comparative analysis between the 2D and 3D models of interstitial microwave hyperthermia // Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE), 2016 17th Intern. Conference. IEEE, 2016. pp. 1-4.

Анализ смешанных вариационных постановок на базе неконформных конечно-элементных методов*Э. П. Шурина, С. А. Трофимова, Н. Б. Иткина**Новосибирский государственный технический университет**E-mail: shurina@online.sinor.ru*

Основная идея смешанных вариационных методов заключается в определении как первичной, так и дуальной переменной, при этом осуществляется поиск критической точки соответствующего функционала в конечно-элементном пространстве допустимых пробных функций, которое представимо в виде суммы двух или более подпространств. Основная проблема применения смешанных вариационных постановок заключается в том, что критическая точка функционала – седловая точка. Применение смешанных вариационных постановок позволило R.Ewing, M.Wheeler и другим получить вычислительную схему повышенной устойчивости для моделирования вытеснения нефти из пористой среды. Из-за того, что одновременно аппроксимируются как первичные, так и дуальные переменные, происходит резкое увеличение количества степеней свободы, и, соответственно, увеличение размерности дискретного аналога, матрица которого знаконеопределена. Один из способов построения устойчивой вычислительной схемы – применение неконформных конечно-элементных методов и специальных базисов. В работе анализируются специальные смешанные вариационные постановки на базе разрывного метода Галеркина и исследуется проблема влияния выбора конечно-элементного базиса на точность решения задачи фильтрации флюида в пористой слоистой среде с микровключениями.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ ОФИ-М № 16-29-15094 и проекта программы № 43 фундаментальных исследований Президиума РАН.

О граничных условиях в методе конечных элементов для задачи обтекания клиновидного профиля*Г. И. Щепановская, В. В. Шайдулов, М. В. Якубович**Институт вычислительного моделирования СО РАН**E-mail: gi@icm.krasn.ru*

В настоящей работе рассматривается численное моделирование обтекания клиновидного тела сверхзвуковым потоком вязкого теплопроводного газа. Предлагается численный алгоритм решения начально-краевой задачи для уравнений Навье – Стокса. Использование модифицированных уравнений Навье – Стокса, применение комбинации полу-Лагранжевой аппроксимации и метода конечных элементов позволяет построить алгоритм, довольно эффективный с вычислительной точки зрения, который не требует согласования триангуляций на соседних временных слоях [1]. Это значительно облегчает динамическое разрежение или сгущение триангуляции по времени для оптимизации вычислительной работы или улучшения аппроксимации в пограничных слоях и ударных волнах. Особое внимание в работе уделено выводу соотношений на границе расчетной области, что является важной составляющей в реализации метода конечных элементов. На примере задачи обтекания клиновидного профиля сверхзвуковым потоком вязкого теплопроводного газа исследованы “неотражающие” условия на границе расчетной области. Проведены тестовые расчёты для определения течения во всей исследуемой области около клиновидного профиля для широкого диапазона чисел Маха и Рейнольдса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00147).

Список литературы

1. Shaydurov, V., Shchepanovskaya G., and Yakubovich M. Mathematical model and numerical algorithm for aerodynamical flow / // AIP Conference Proceedings. – 2016. – V. 1773. – P. 020006-1–020006-10. DOI: 10.1063/1.4964960.

Анализ методов аппроксимации тороидального источника возбуждения электромагнитного поля

М. И. Эпов, Э. П. Шурина, Д. А. Архипов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

Проблемы геоэлектрики, к которым относятся и задачи электромагнитного каротажа, определяются типами источников возбуждения электромагнитного поля, точностью и физической адекватностью их аппроксимации. В работе рассматриваются два типа источников, а именно: соленоидальная и тороидальная катушки, их аппроксимация, учитывающая геометрические характеристики, физические свойства фрагментов. Правильная математическая модель этих объектов, использование векторных базисных функций второго типа, второго порядка, адаптивной тетраэдральной сетки обеспечивает совместность дискретного конечноэлементного аналога уравнения Гельмгольца при расчете напряженности электрического или магнитного поля. Менее разработанной является аппроксимация тороидальной катушки в связи со сложностью ее геометрического представления. Авторами выполнено исследование двух способов аппроксимации тороидального источника: локальными замкнутыми круговыми петлями и непрерывной токовой обмоткой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта ОФИ-М № 16-29-15094) и проекта Программы № 43 фундаментальных исследований Президиума РАН

Секция 2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ АЛГЕБРА И МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ

Моделирование развития электроэнергетической системы с учетом возрастной структуры

А. С. Апарцин, Е. В. Маркова, И. В. Сидлер, В. В. Труфанов
Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН
E-mail: apartsyn@isem.irk.ru

Данные исследования посвящены поиску и анализу оптимальных стратегий замены устаревшего генерирующего оборудования в интегральной модели развития электроэнергетической системы России [1]. В модели станции разделены на n возрастных групп, каждая из которых характеризуется некоторым коэффициентом эффективности. Рассматривается векторная модель с подразделением станций по видам топлива. Она включает базовое уравнение с n операторами Вольтерра (соответствующими возрастным группам), а также функциональные уравнения, описывающие структуру потребления электроэнергии, вырабатываемой на разных типах электростанций. Помимо этого, в модель входят ограничения-неравенства на ежегодный суммарный прирост установленной мощности.

Рассматривается численное решение задачи оптимального управления сроками вывода из эксплуатации устаревшего оборудования при $n=3$ с разделением станций на ГЭС, ТЭС и АЭС для различных вариантов экономических показателей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-01-01425).

Список литературы

1. Апарцин А. С., Сидлер И. В. Применение неклассических уравнений Вольтерра I рода для моделирования развивающихся систем // Автоматика и телемеханика. 2013. № 6. С. 3–16.

Альтернансы, канонические наборы точек и прямые теоремы теории приближений

А. Г. Бабенко¹, Ю. В. Крякин²
¹Институт математики и механики УрО РАН
²Mathematical Institute, University of Wrocław
E-mail: babenko@imm.uran.ru

Речь пойдет о наилучших приближениях тригонометрическими полиномами в интегральной и равномерной метриках некоторых индивидуальных функций, в том числе тригонометрических дробей специального вида, характеристической функции интервала и ее сверточных степеней (т. е. В-сплайнов).

Интерес к этой проблематике обусловлен задачами о точных константах в основных теоремах теории аппроксимации, в теоремах Уитни и Джексона – Стечкина. Подход, который мы используем, базируется на идеях, содержащихся в работах Чебышева (1859), Неймана (1877), Маркова (1884), Бернштейна (1912), Стеклова (1922), Геронимуса (1935), Фавара (1936), Сега (1964), Пейерсторфера (1979) и других математиков.

В докладе, в частности, планируется указать на взаимосвязь точек альтернанса (в задаче о наименее уклоняющихся от нуля в равномерной метрике тригонометрических дробей) с каноническими наборами точек заданной мощности, играющих ключевую роль в теории интегрального приближения функций тригонометрическими полиномами.

О погрешности аппроксимации производных для конечных элементов, построенных на симплексах размерностей 3 и 4

Н. В. Байдакова

Институт математики и механики УрО РАН

E-mail: baidakova@imm.uran.ru

Для случая интерполяции функции по равномерным узлам d -симплекса многочленом степени n в [1] получены оценки сверху величин аппроксимации производных функции в терминах характеристики, требующей вычисления максимума некоторой величины по всем единичным векторам d -мерного пространства. Указанные оценки являются близкими к неулучшаемому на естественном классе функций. В докладе обсуждаются оценки сверху через новую характеристику, близкие к оценкам из [1] и требующие вычисления максимума на конечном множестве, в трехмерном и четырехмерном пространствах.

Список литературы

1. Jamet. P. Estimation d'erreur pour des elements finis droits presque dégénérés // RAIRO Anal. Numer. 1976. Т. 10, № 3. С. 43–60.

Алгоритм расчета обтекания кругового конуса реальным газом

Э. А. Бибердорф, А. М. Блохин

Институт математики СО РАН

E-mail: biberdorf@ngs.ru

Работа посвящена математическому моделированию обтекания кругового конуса газом Ван-дер-Ваальса. Уравнения состояния газа Ван-дер-Ваальса описывает вещество в газообразном, жидком и даже двухфазном (переходном) состояниях в зависимости от сочетания параметров [1].

Вследствие осевой симметрии уравнения газовой динамики приобретают вид системы ОДУ четвертого порядка с условием непротекания на поверхности и четырьмя условиями на фронте ударной волны (условия Рэнкина – Гюгонио). При этом одна из границ области (угол ударной волны) также является неизвестной (см. [2]).

Алгоритм вычисления углов ударных волн и характеристик течения между конусом и ударной волной основан на итерационном уточнении решения краевой задачи с помощью одного из краевых условий. Способ построения первого приближения угла ударной волны основан на эмпирическом факте о пересечении двух кривых, подтвержденном большим количеством численных экспериментов. Такой подход обеспечивает достаточно близкое первое приближение и, следовательно, быструю сходимость метода в целом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 17-01-00791_a).

Список литературы

1. Блохин А. М., Голдин А. Ю. Построение промежуточных областей для обобщенного газа Ван-дер-Ваальса // Журн. тех. физ. Т. 86. № 12, 2016, стр.49-55.
2. Блохин А. М., Бибердорф Э. А. Численное решение задачи о стационарном обтекании конуса реальным газом // Журн. выч. техн. 2015. Т. 20, № 2. С. 29–43.

Об интерполировании L-сплайнами функций с большими градиентами в пограничном слое

И. А. Блатов¹, А. И. Задорин², Е. В. Китаева³

¹*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики*

²*Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королёва*

³*Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН*

E-mail: blatow@mail.ru

Рассматривается задача интерполирования экспоненциальными L-сплайнами функций, имеющих области больших градиентов в пограничном слое. Интерполяционный сплайн представляет

собой дважды непрерывно дифференцируемую функцию, являющуюся на каждом сеточном интервале суммой многочлена второй степени и функции типа пограничного слоя. Доказано существование и единственность интерполяционного L-сплайна и получены асимптотически точные двусторонние оценки погрешности на классе функций с экспоненциальным пограничным слоем. Установлено, что кубический и параболический интерполяционные сплайны являются предельными для решения рассматриваемой задачи. Как следствие основного результата получено, что для параболической сплайн-интерполяции в случае совпадения узлов интерполяции с узлами сплайна на равномерной сетке, несмотря на неограниченность совокупности констант Лебега на классе четырехжды непрерывно дифференцируемых функций имеет место сходимость третьего порядка по шагу сетки, как и в случае традиционной сплайн-интерполяции по Субботину или Марседену. Приводятся результаты численных экспериментов.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-06584, 16-01-00727).

Приложение дихотомии матричного спектра к исследованию устойчивости течений

М. А. Блинова¹, Н. И. Попова², Э. А. Бибердорф³

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН*

³*Институт математики СО РАН*

Одним из приемов исследования течений на устойчивость является дискретизация соответствующих дифференциальных операторов и изучение расположения спектра полученных матриц. Метод дихотомии матричного спектра (см., например, [1]) позволяет эффективно решать задачу о расположении спектра несимметричной матрицы относительно таких кривых как окружность, эллипс, прямая. Однако матрицы, получающиеся при дискретизации дифференциальных операторов, обладают рядом специфических особенностей, например, большой размер, большая норма и т.д. Кроме того, дискретизация спектральной задачи для таких течений как пограничный слой Блазиуса [2] приводит к нелинейной зависимости итоговой матрицы от собственных значений исходного дифференциального оператора.

Преодоление этих проблем требует модификации существующих алгоритмов и разработку методов дихотомии относительно парабол и гипербол. В данной работе демонстрируется использование метода дихотомии для исследования плоскопараллельного течения Пуазейля и пограничного слоя Блазиуса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 17-01-00791_a).

Список литературы

1. Годунов С. К. Современные аспекты линейной алгебры. // Новосибирск: Научная книга. 1997. С. 390
2. Бойко А. В., Грек Г. Р., Довгаль А. В., Козлов В. В. Физические механизмы перехода к турбулентности в открытых течениях // Москва-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика". Институт компьютерных исследований. 2006. С.304

Условия формосохранения при интерполяции параметрическими параболическими сплайнами

В. В. Богданов

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

E-mail: bogdanov@math.nsc.ru

Качество параметрической интерполяции кривой на плоскости, заданной конечным упорядоченным набором точек, представляющим собой исходные данные, зависит как от метода аппроксимации, так и от параметризации кривой, т.е. способа задания параметра, который ставится в соответствие каждой точке исходных данных. В результате возникает пара новых наборов интерполяционных данных на сетке параметров, и задача сводится к построению вектор-функции,

интерполирующей данные из этих наборов. Установленные ранее условия изометрической интерполяции для классических параболических сплайнов по Субботину [1] позволяют, в случае выбора их в качестве аппарата аппроксимации, сформулировать условия сохранения формы исходных данных интерполирующей кривой. Параметризация не однозначна. Выбором параметризации можно дополнительно влиять на условия сохранения изометрических свойств кривой, чего нет в случае интерполяции данных на однозначно заданной сетке. Кроме того, предлагается обсудить возможность выбора оптимальной сетки параметров на основе некоторых численных расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-07-07530).

Список литературы

1. Богданов В. В., Волков Ю. С. Об условиях формосохранения при интерполяции параболическими сплайнами по Субботину // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2016. Т. 22, № 4. С. 102–113.

Определение параметров гидротурбины по значению коэффициента быстроходности

В. В. Богданов¹, Ю. С. Волков¹, В. Л. Мирошниченко¹, А. Е. Салиенко²

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

²*ОАО "Тяжмаш" (Сызрань)*

E-mail: miroshn@math.nsc.ru

Основным документом для выбора параметров натурной гидравлической турбины (диаметр рабочего колеса, частота вращения и др.) является универсальная характеристика (зависимость КПД от приведенных оборотов и расхода воды), которая строится по результатам дорогостоящих энергетических испытаний модельной гидротурбины. Отметим также, что в силу различий в природных условиях, гидротурбины для каждой ГЭС уникальны. Поэтому после выбора типа турбины (радиально-осевая, поворотно-лопастная, ковшовая) проектирование турбины опирается на имеющиеся, близкие по требуемым характеристикам, турбины. Для интегрального описания гидравлических качеств гидротурбины по скорости вращения и пропускной способности и сравнения между собой близких по конструкции турбин в гидротурбостроении используется так называемый коэффициент быстроходности.

В докладе обсуждаются вопросы, связанные с построением универсальной характеристики по промежуточному значению коэффициента быстроходности относительно серии однотипных моделей гидротурбин с известными универсальными характеристиками. Это позволяет быстро получить достоверную оценку характеристик проектируемой турбины без проведения энергетических испытаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-07-07530).

Список литературы

1. Волков Ю. С., Мирошниченко В. Л., Салиенко А. Е. Математическое моделирование универсальной характеристики поворотно-лопастной гидротурбины // Машинное обучение и анализ данных. 2014. Т. 1, № 10. С. 1439-1450.

2. Волков Ю. С., Мирошниченко В. Л. Построение математической модели универсальной характеристики радиально-осевой гидротурбины // Сибирский журнал индустриальной математики. 1998. Т. 1, № 1. С. 77-88.

Сферические кубатурные формулы в пространствах Соболева

В. Л. Васкевич

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

E-mail: vask@math.nsc.ru

В докладе исследуются последовательности кубатурных формул на единичной сфере многомерного евклидова пространства. Множества узлов рассматриваемых кубатурных формул последовательно вкладываются друг в друга, образуя в пределе плотное на исходной сфере подмножество.

В качестве области действия кубатурных формул, т.е. в качестве класса подынтегральных функций, выступают сферические пространства Соболева. Допускается, что эти пространства могут иметь дробную гладкость. Доказано, что среди всевозможных сферических кубатурных формул с заданной совокупностью узлов существует и единственная формула с наименьшей нормой функционала погрешности - оптимальная. Установлено, что веса оптимальной кубатурной формулы являются решением специальной невырожденной системы линейных уравнений. Доказано, что при неограниченном возрастании числа узлов нормы функционалов погрешности оптимальных кубатурных формул стремятся к нулю.

Численное моделирование нестационарных тепловых полей с учетом фазовых переходов

В. С. Гладких, В. П. Ильин, А. В. Петухов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: victor_gladkikh@lapasrv.sccc.ru

В работе рассматривается процесс изменения тепловых полей в многолетнемерзлых грунтах под воздействием сезонных колебаний температуры на поверхности грунта и антропогенных объектов, таких как эксплуатационные скважины и замораживающие колонки. Математическая модель процесса описывается нестационарным уравнением теплопроводности с учетом фазовых переходов поровой влаги. Численная реализация основана на схеме Кранка-Николсона для аппроксимации по времени и методе барицентрических конечных объемов для аппроксимации по пространству. Приводятся результаты численных расчетов для набора трехмерных модельных задач на последовательности сгущающихся сеток. Приводятся результаты численного моделирования трехмерных тепловых полей при наличии эксплуатационных скважин и замораживающих колонок с учетом сезонных колебаний температуры на поверхности грунта на вычислительных системах с общей памятью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-29-15122), Российского научного фонда (код проекта 15-11-10024, 14-11-00485).

Метод конечных объемов для оценки опционов в модели Блэка – Шоулза

Н. И. Горбенко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: nikolay.gorbenko@gmail.com

В докладе приведено интегральное представление потока для уравнения Блэка – Шоулза, которое основано на решении локальной краевой задачи для основной краевой задачи, включая производную по времени и источник. Поток представляется в виде суммы решений, соответствующих решению однородной задачи и частному решению краевой задачи. Применяя соответствующие квадратурные формулы для вычисления интегрального представления, получаем полное представление потока, которое аппроксимируется с третьим порядком точности. В дальнейшем полученная аппроксимация потока комбинируется с методом конечных объемов, включая и интегрирование по времени. Результирующая схема тестируется на различных аналитических решениях для уравнения Блэка – Шоулза.

Алгебро-геометрические особенности параллельных методов декомпозиции при решении многомерных задач фильтрации на разнесенных сетках

Я. Л. Гурьева, В. П. Ильин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: yana@lapasrv.sccc.ru

В работе исследуются алгоритмические и технологические аспекты распараллеливания итерационных методов декомпозиции областей (МДО) для решения трехмерных задач стационарной фильтрации на разнесенных сетках. Алгебро-геометрические особенности соответствующих дискретных постановок обуславливаются определением значений давления и разных компонент

вектора скорости в различных точках сетки, что привносит свою специфику в алгоритмы аппроксимации и декомпозиции сеточной расчетной области без пересечений или с параметризованными пересечениями, а также в реализацию интерфейсных условий Пуанкаре – Стеклова на внутренних границах контактирующих подобластей. Решение получаемых систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) осуществляется блочными методами Якоби – Шварца в подпространствах Крылова, ускоряемых на основе алгоритмов грубосеточной коррекции последовательных приближений. Распараллеливание итераций по подобластям осуществляется средствами передачи сообщений MPI, а синхронное решение вспомогательных систем в подобластях выполняется с помощью многопоточковых вычислений в системе OpenMP. Эффективность реализованных алгоритмов демонстрируется результатами численных экспериментов на представительной серии методических задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта оф-м 16-29-15122) и Российского научного фонда (код проекта 14-11-00485).

Построение индикаторов разрывов тензорного поля по его известным экспоненциальным лучевым преобразованиям

Е. Ю. Деревцов

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

E-mail: dert@math.nsc.ru

В работе построены операторы индикатора разрывов тензорного поля, заданного в единичном круге и обладающего разрывами первого рода. В качестве исходных данных выступают экспоненциальные лучевые преобразования тензорных полей, представляющие собой обобщения продольных, поперечных и смешанных лучевых преобразований [1]. Обобщения осуществлены в рамках математической модели томографии, ранее построенной для сред с поглощением, рефракцией и внутренними источниками [2], и распространенной на случай векторных и тензорных полей. Индикаторы разрывов тензорных полей представляют собой комбинации дифференцирований по пространственным переменным и по переменным, от которых зависят лучевые преобразования, а также операторов обратной проекции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан (проект 0115PK00681).

Список литературы

1. Derevtsov E. Yu., Svetov I. E. Tomography of tensor fields in the plane // Eurasian J. Math. Comp. Applications. 2015. Vol. 3, No. 2. P. 24-68.
2. Derevtsov E. Yu., Kleshchev A. G., Sharafutdinov V. A. Numerical solution of the emission 2D-tomography problem for a medium with absorption and refraction // J. Inverse Ill-posed Problems. 1999. Vol. 7, No. 1. P. 83-103.

Методы решения СЛАУ, получаемых в результате конечноэлементной аппроксимации трехмерных задач магнитотеллурического зондирования

П. А. Домников

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: p_domnikov@mail.ru

Рассматриваются подходы к моделированию магнитотеллурических полей [1] в трехмерных средах с использованием скалярного и узлового метода конечных элементов [2] и методы решения конечноэлементных систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), возникающих при использовании данных подходов. Проводится сравнение прямых и итерационных методов решения СЛАУ [3] с комплексно-симметричными и несимметричными матрицами. Предлагаются подходы к симметризации конечноэлементных матриц. Исследуется применение различных предобусловливателей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых–кандидатов наук (номер гранта МК-4858.2016.5).

Список литературы

1. Бердичевский М. Н., Дмитриев В. И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир, 2009, 680 с.
2. Соловейчик Ю. Г., Рояк М. Э., Персова М. Г. Метод конечных элементов для решения скалярных и векторных задач. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2007. - 896 с.
3. Saad Y. Iterative methods for sparse linear systems. SIAM, Philadelphia, 2003, 528 p.

Численное решение задачи собственных значений и собственных векторов несамосопряженных матриц

А. А. Елеуов, Р. Елеуова, Н. Н. Тунгатаров

КазНУ им. Аль-Фараби

E-mail: Eleuov@mail.ru

Актуальность проблемы приближенного вычисления собственных значений и собственных векторов несамосопряженных операторов возрастает в связи с возникновением новых задач физики и механики. Как правило, приближенное решение этих задач сводится к вычислению собственных значений и собственных векторов конечномерных матриц. Для матриц больших размерностей вычисления собственных значений и собственных векторов являются трудоемкой задачей даже для современных быстродействующих вычислительных средств. Поэтому последние 40-50 лет появились многочисленные исследования, посвященные методам вычисления собственных векторов и собственных значений конечномерных матриц. [1]-[5].

Хорошо известно, что вариационный метод позволяет весьма эффективно организовать вычисления собственных векторов и собственных значений самосопряженных матриц. Для несамосопряженных матриц дело обстоит гораздо сложнее. В данной работе используется, вариационный метод нахождения собственных значений и собственных векторов несамосопряженных матриц сводим к вычислению собственных значений и собственных векторов самосопряженных матриц.

Список литературы

1. Воеводин В. В., Кузнецов К. А. Матрицы и вычисления. – М.: Наука, 1984.
2. Богачев К. Ю. Практикум на ЭВМ. Методы решения линейных систем и нахождения собственных значений. – М.: МГУ, 1998.
3. Дробышев В. И., Дымников В. П., Ривиков Г. С. Задачи по вычислительной математике. М.: Наука, 1980.
4. Гантмахер Д. Теория матриц. М.: Наука, 1989.
5. Годунов С. К. Современные аспекты линейной алгебры. – Новосибирск: Научная книга, 1997.

Метод бисекции для задачи на собственные значения с нелинейной зависимостью от спектрального параметра

В. С. Желтухин, С. И. Соловьёв, П. С. Соловьёв

Казанский (приволжский) федеральный университет

E-mail: sergei.solovyev@kpfu.ru

Моделирование баланса заряженных частиц высокочастотного разряда сводится к нахождению минимального собственного значения, отвечающего положительной собственной функции дифференциальной задачи на собственные значения второго порядка с коэффициентами, нелинейно зависящими от спектрального параметра [1]. Решение этой задачи определяет условие, необходимое для поддержания стационарного высокочастотного разряда пониженного давления.

Задача аппроксимируется сеточной схемой метода конечных элементов произвольного порядка с численным интегрированием. Исследована погрешность приближений к минимальному собственному значению и отвечающей положительной собственной функции. Сеточная задача эквивалентна матричной задаче на собственные значения с нелинейной зависимостью от спектрального параметра. Для вычисления минимального собственного значения матричной задачи на собственные значения

чения построен и исследован метод бисекции. В отличие от результатов [2] здесь не предполагается монотонная зависимость коэффициентов дифференциальной задачи от спектрального параметра.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-41-02672, 16-01-00301).

Список литературы

1. Абдуллин И. Ш., Желтухин В. С., Кашапов Н. Ф. Высоочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2000.
2. Соловьёв С. И. Нелинейные задачи на собственные значения. Приближенные методы. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2011.

Оценка упорядочений для перепостроения базисов линейного программирования

Г. И. Забиняко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: zabin@rav.sccc.ru

В докладе рассматриваются алгоритмы перепостроения LU разложений, которые используются после выполнения определенного числа итераций модифицированного симплекс-метода. Предварительное определение ведущих элементов основывается на решении задач назначения. В целях экономии памяти и сокращения числа операций с помощью симметричных перестановок устанавливается очередность использования ведущих элементов. В докладе на большом статистическом материале сопоставляются алгоритм минимальной степени и алгоритм поиска минимального разделителя.

Last feature in Intel MKL Pardiso

A. A. Kalinkin, A. V. Anders, R. V. Anders

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: alexander.a.kalinkin@gmail.com

В данном докладе идет речь о последних разработках функциональности Intel MKL Pardiso [1] – функциональности для решения систем линейных уравнений с сильно разреженной матрицей [2]. Основой данного алгоритма является мультифронтальный подход, предложенный в начале 90-х годов [3, 4]. А именно, о способе, которым высчитывается дополнение Шура [5], способе ускорения вычислений для серии задач, в которых только несколько ненулевых элементов меняются, представляющем новый подход к распараллеливаю прямого и обратного хода решения.

References

- 1 Intel MKL PARDISO <https://software.intel.com/en-us/node/470282>
- 2 Intel® Math Kernel Library (Intel® MKL) <https://software.intel.com/en-us/intel-mkl>
- 3 I. S. Duff and J. K. Reid, “The Multifrontal Solution of Indefinite Sparse Symmetric Linear,” ACM Transactions on Mathematical Software, Vol. 9, No. 3, 1983, pp. 302-325. <http://dx.doi.org/10.1145/356044.356047>
4. P. R. Amestoy, I. S. Duff and C. Veml, “Task Scheduling in an Asynchronous Distributed Memory Multifrontal Solver,” SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications, Vol. 26, No. 2, 2005, pp. 544-565.
- 5 Kalinkin, A Anders, A. and Anders, R. (2015) Schur Complement Computations in Intel® Math Kernel Library PARDISO. Applied Mathematics, 6, 304-311. doi: 10.4236/am.2015.62028.

О решении двумерных краевых задач на локально – модифицированных квазиструктурированных сетках

А. Н. Козырев, В. М. Свешников

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: victor@lapasrv.sccc.ru

В докладе исследуются алгоритмы и технологии решения двумерных краевых задач на предлагаемых локально – модифицированных квазиструктурированных сетках, состоящих из структурированных прямоугольных подсеток, которые могут быть несогласованными. Решение краевых

задач ищется методом декомпозиции расчетной области на подобласти, сопрягаемые без наложения. Сшивка решений в подобластях осуществляется на основе прямой аппроксимации уравнения Пуанкаре – Стеклова на интерфейсе. Разработаны алгоритмы и технологии локальной модификации подсеток и сетки на интерфейсе. Предложены технологии аппроксимации уравнения Пуанкаре Стеклова для несогласованных сеток. Проведены серии численных экспериментов на различных макросетках, которыми расчетная область разбивается на подобласти, подсетках в подобластях, сетках на интерфейсе, при различных способах интерполяции функций на интерфейсе и при различных аппроксимациях уравнения Пуанкаре – Стеклова. Результаты численных экспериментов подтверждают эффективность предлагаемых подходов.

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

Численные алгоритмы распределения объемного заряда при решении задач сильноточной электроники

А. Н. Козырев, В. М. Свешников

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: victor@lapasrv.ssc.ru

Точность решения самосогласованных нелинейных задач сильноточной электроники существенно зависит от того насколько точно распределяется заряд, вносимый пучком заряженных частиц по узлам сетки, на которой проводится дискретизация задачи. В докладе предлагаются теоретически и экспериментально обосновываются численные алгоритмы распределения объемного заряда, вносимого заряженными частицами, по узлам сеточных элементов различных форм. Рассматриваются параллелепипедальные и тетраэдральные элементы в трехмерном случае, треугольные и четырехугольные элементы в двумерном случае. Теоретически показано, что предлагаемые алгоритмы обеспечивают второй порядок точности расчета потенциала электрического поля. Приводятся результаты численных экспериментов, подтверждающие теоретическую оценку.

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

Точные по порядку робастные апостериорные оценки погрешности численных решений уравнений реакции-диффузии

В. Г. Корнеев

Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: vad.korneev2011@yandex.ru

В статье получена новая апостериорная функциональная мажоранта погрешности приближенных решений эллиптического уравнения порядка $2n$, $n \geq 1$, с произвольным неотрицательным постоянным коэффициентом σ перед младшим членом. Она существенно уточняет известную мажоранту Обэна (J.-P. Aubin), которая теряет смысл при $\sigma \equiv 0$ и огрубляет оценку погрешности при σ из значительной окрестности нуля, а также другие мажоранты, полученные для случая $\sigma \equiv 0$. Показано, что при применении к решениям метода конечных элементов на квазиоднородных сетках полученная мажоранта является не улучшаемой по порядку точности, совпадающим с порядком точности неулучшаемых априорных оценок погрешности.

Об учете кривизны границы обтекаемого профиля для разработки расчетной схемы вихревого метода повышенной точности

К. С. Кузьмина, И. К. Марчевский

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

E-mail: kuz-ksen-serg@yandex.ru

Рассмотрена задача о разработке расчетной схемы высокого порядка точности для решения граничного интегрального уравнения второго рода, которое возникает при моделировании плоскопараллельных течений несжимаемой среды вихревыми методами.

Вместо замены границы профиля многоугольником, состоящим из прямолинейных панелей, которая обычно производится в вихревых методах, предлагается кусочно-полиномиальная аппроксимация границы. В работе использованы полиномы третьей степени, обеспечивающие эрмитову аппроксимацию формы профиля (задаются положения N узлов профиля и направления касательных в них) с 4-м порядком точности.

Для разработанной расчетной схемы получены формулы для вычисления коэффициентов СЛАУ, аппроксимирующей исходное интегральное уравнение. При расчете потенциального течения схема обеспечивает 4-й порядок точности в интегральной норме, при этом известные схемы, не учитывающие явно кривизну границы профиля, обладают 2-м порядком точности.

Предложенный подход может быть обобщен на случай расчета обтекания подвижных и/или деформируемых профилей и решения сопряженных задач гидроупругости.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента (проект МК-7431.2016.8) в рамках государственного задания вузам (проектная часть, проект 9.2422.2017/ПЧ).

Неполное треугольное разложение плохо обусловленных матриц

В. Н. Лутай

Southern Federal University

E-mail: vnlutay@sfedu.ru

В докладе рассматривается способ неполного LU (компактная схема Гаусса) и ННТ (метод квадратных корней) разложения плотной положительно определенной матрицы A , число обусловленности которой велико вследствие близости строк (столбцов) к линейной зависимости. Предлагается изменить стандартную схему разложения [1] следующим образом: использовать при вычислении диагональных элементов треугольной матрицы не полное произведение соответствующих двух элементов, а часть, полученную после отсечения некоторого количества его младших разрядов. Операцию отсечения можно использовать как для одного диагонального элемента, так и для нескольких.

В результате неполного разложения элементы верхней треугольной матрицы U и матрицы N возрастают по сравнению с полным разложением. Произведение матриц LU (ННТ) дает матрицу M , которая равна сумме исходной матрицы A и матрицы ошибок неполного разложения N [2]. Матрица N является вырожденной, ненулевые значения могут быть только на главной диагонали и вычисляются во время разложения. Матрица M отличается от A только значениями диагональных элементов и имеет значительно меньшее число обусловленности.

Результаты неполного разложения можно использовать как для приближенного, так и для точного решения систем ЛАУ. В последнем случае к операциям стандартного разложения прибавляются дополнительные, основными из которых является решение одной или нескольких СЛАУ с полученной треугольной матрицей.

В докладе приводятся результаты вычислительных экспериментов с матрицей Гильберта. Из них следует, что, используя неполное разложение, можно получить существенно меньшие значения невязок решений, а в методе квадратных корней, кроме того, предотвратить срывы вычислительного процесса, возникающие при больших значениях числа обусловленности матриц [3].

Список литературы

1. Воеводин В. В., Кузнецов Ю. А. Матрицы и вычисления. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984.
2. Ильин В. П. Методы неполной факторизации для решения алгебраических систем. М.: Физматлит, 1995.
3. Голуб Дж., Ван Лоун Ч. Матричные вычисления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1999.

Оптимальная локальная аппроксимация кубическими сплайнами

В. Л. Мирошниченко

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

E-mail: miroshn@math.nsc.ru

Рассматриваются алгоритмы построения формул локальной аппроксимации кубическими сплайнами класса C^2 . Дается сравнительная характеристика различных вариантов таких формул.

Для случая равномерной сетки выделяются формулы локальной аппроксимации оптимальные по точности приближения. Оптимальные формулы для достаточно гладких функций обеспечивают точность приближения асимптотически в два раза более высокую по сравнению с классическими интерполяционными кубическими сплайнами класса C^2 и фактически реализуют наилучшее приближение кубическими сплайнами. Предлагаются методы распространения полученных результатов на неравномерные сетки. Обсуждаются вопросы, связанные с аппроксимацией функций многих переменных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-07-07530).

Список литературы

1. Завьялов Ю. С. Методы сплайн-функций. М.: Наука, 1980.
2. Miroschnichenko V. L. Exact error bounds for the best approximation by cubic splines // The international conference "Wavelets and Applications, June 18-23, 2015, St. Petersburg, Russia". Abstracts. St. Petersburg, 2015. P. 51-53.

Численное решение задачи фильтрации в трещиноватой среде на основе дискретной модели сети трещин

Д. Я. Никифоров

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

E-mail: dju92@mail.ru

В данной работе рассматривается численное решение задачи течения жидкости в трещиновато-пористой среде. Учет трещин производится явно с использованием дискретной модели сети трещин (DFM) [1-4]. Поставленная однофазная задача фильтрации решается методом конечных элементов на неструктурированных сетках, которые разрешают трещины на сеточном уровне. Системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) решаются итерационными методами подпространства Крылова, в частности, с использованием библиотеки параллельных вычислений Krylov [5]. Представляются некоторые результаты решения модельной задачи. Проводится численное исследование вычислительной реализации при различных значениях контрастности коэффициентов задачи, которые существенно сказываются на количестве необходимых итераций для сходимости метода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00732) и гранта Правительства РФ (номер договора гранта 14.Y26.31.0013).

Список литературы

1. Kim J, Deo M. D. Finite element, discrete-fracture model for multiphase flow in porous media. AICHE J 46:1120–1130, 2000
2. Gong B., Karimi-Fard M., and Durlofsky L. J. Upscaling discrete fracture characterizations to dual-porosity, dual-permeability models for efficient simulation of flow with strong gravitational effects. SPE J., 13(1):5867, 2008.
3. Yalchin Efendiev, Seong Lee, Guanglian Li, Jun Yao, and Na Zhang. Hierarchical multiscale modeling for flows in fractured media using generalized multiscale finite element method. arXiv preprint arXiv:1502.03828, 2015.
4. Akkutlu I. Y., Efendiev Y., Vasilyeva M. Multiscale model reduction for shale gas transport in fractured media/arXiv preprint arXiv: 1507.00113.-2015.
5. Бутюгин Д. С., Ильин В. П., Ицкович Е.А и др. Krylov: библиотека алгоритмов и программ для решения СЛАУ. Современные проблемы математического моделирования. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Сборник трудов Всероссийских научных молодежных школ. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2009. С. 110-128.

Свойства дополнительных функций в конструкции биортогональных базисов мультивсплесков

Е. А. Плещева

Институт математики и механики УрО РАН

E-mail: eplescheva@gmail.com

В работе автора [1] приведен метод построения биортогональных базисов мультивсплесков по известным мультимасштабирующим функциям. Этот метод использует аналог векторного произведения в многомерном пространстве. Для построения масок мультивсплесков используются маски мультимасштабирующих функций и достаточно произвольные дополнительные функции. Для построения базисов пространств мультивсплесков с полезными в приложениях свойствами, такими, как симметричность или компактность носителя, можно ввести ограничения на дополнительные функции. В докладе планируется рассмотреть такие ограничения и привести примеры дополнительных функций, обеспечивающих данные свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00702).

Список литературы

1. Плещева Е. А. Биортогональные базисы пространств n -раздельного кратномасштабного анализа и всплесков // Тр. ИММ УрО РАН. 2016. Т. 22, № 4. С. 225–232.

Кубатурные формулы для сферы, инвариантные относительно групп симметрии правильных многогранников

А. С. Попов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: popov@labchem.sscs.ru

Основы теории кубатурных формул для сферы, инвариантных относительно преобразований конечных групп вращений, были заложены С. Л. Соболевым [1]. К настоящему времени наибольшее распространение получили кубатурные формулы, инвариантные относительно групп симметрии правильных многогранников. Среди этих кубатурных формул особый интерес представляют кубатуры, имеющие положительные веса и содержащие при этом минимальное число узлов (кубатуры гауссова типа). В случае наличия для данного порядка точности нескольких кубатур с положительными весами и одинаковым числом узлов в [2] был предложен новый критерий оптимальности, согласно которому наилучшей среди этих кубатур считается та, которая имеет наименьший главный член погрешности. В данной работе этот критерий будет использован для поиска всех кубатурных формул до 35-го порядка точности, наилучших среди всех групп симметрии правильных многогранников.

Список литературы

1. Соболев С. Л. О формулах механических кубатур на поверхности сферы // Сиб. мат. журн. 1962. Т. 3, № 5. С. 769–796.

2. Попов А. С. Поиск наилучших кубатурных формул для сферы, инвариантных относительно группы вращений октаэдра // Сиб. журн. вычисл. математики. 2002. Т. 5, № 4. С. 367–372.

Оценка скорости сходимости весового векторного метода конечных элементов для системы уравнений Максвелла с сингулярностью

В. А. Рукавишников, А. О. Мосолапов

Вычислительный центр ДВО РАН

E-mail: msandrew84@gmail.com

Рассматривается система уравнений Максвелла для гармонического по времени электромагнитного поля, преобразованная к уравнению второго порядка в двумерной области с входящим углом и граничными условиями сверхпроводимости. Наличие геометрической особенности приводит к

сингулярности решения. Авторами предложено определить решение этой задачи как R -обобщенное в специальном весовом множестве. Для приближенного нахождения решения построен весовой векторный метод конечных элементов [1] и доказана оценка скорости его сходимости в норме весового пространства, по показателю степени h превосходящая в полтора раза результаты ряда зарубежных исследователей [2,3].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-11-01031).

Список литературы

1. Рукавишников В. А., Мосолапов А. О. Весовой векторный метод конечных элементов для одной задачи электромагнетизма с сильной сингулярностью // ДАН. 2013. Т. 449, № 2. С. 144–148.
2. Assous F., Ciarlet P., Garcia E., Segré J. Time-dependent Maxwell's equations with charges in singular geometries // Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 2006. V. 196. P. 665–681.
3. Costabel M., Dauge M. Weighted regularization of Maxwell equations in polyhedral domains // Numer. Math. 2002. V. 3. P. 239–277.

Аппроксимация собственных колебаний стержня с упруго присоединенной массой

А. А. Самсонов, С. И. Соловьёв, П. С. Соловьёв
Казанский (приволжский) федеральный университет
E-mail: sergei.solovyev@kpfu.ru

Исследуется задача о собственных колебаниях стержня с упруго присоединенным грузом [1]. Задача сводится к отысканию собственных значений и собственных функций обыкновенной дифференциальной задачи второго порядка со спектральным параметром, нелинейно входящим в граничное условие в точке присоединения груза. Доказывается существование счетного множества простых положительных собственных значений дифференциальной задачи. Задача аппроксимируется сеточной схемой метода конечных элементов произвольного порядка. Исследуется сходимость и погрешность приближенных решений. Подобные результаты справедливы также для задач о собственных колебаниях пластин и оболочек с упруго присоединенными грузами [2, 3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-01-00301, 16-31-00378).

Список литературы

1. Соловьёв С. И. Собственные колебания стержня с упруго присоединенным грузом // Дифференциальные уравнения. 2017. Т. 53, № 3. С. 418–432.
2. Андреев Л. В., Дышко А. Л., Павленко И. Д. Динамика пластин и оболочек с сосредоточенными массами. М.: Машиностроение, 1988.
3. Соловьёв С. И. Нелинейные задачи на собственные значения. Приближенные методы. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2011.

Исследование конечномерных аппроксимаций вариационных задач на собственные значения

А. А. Самсонов, С. И. Соловьёв, П. С. Соловьёв
Казанский (Приволжский) федеральный университет
E-mail: sergei.solovyev@kpfu.ru

Исследуется спектральная задача для самосопряженного линейного фредгольмова пучка билинейных форм в бесконечномерном вещественном гильбертовом пространстве. Исходная задача аппроксимируется задачей в конечномерном подпространстве гильбертова пространства. Исследуется сходимость и погрешность приближенных собственных значений, собственных элементов и собственных подпространств. Установленные результаты применяются для исследования схемы метода конечных элементов с численным интегрированием для дифференциальной задачи на собственные значения второго порядка в двумерной области с гладкой границей. Результаты работы обобщают и развивают результаты, полученные в [1, 2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-01-00301, 16-31-00378).

Список литературы

1. Соловьёв С. И. Нелинейные задачи на собственные значения. Приближенные методы. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2011.
2. Соловьёв С. И. Аппроксимация знаконеопределенных спектральных задач // Дифференциальные уравнения. 2012. Т. 48, № 7. С. 1042–1055.

Global search theory for general d.c. constrained problem

A. S. Strekalovsky

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

E-mail: strekal@icc.ru

We consider the general nonconvex problem with the goal function and constraints given by d.c. functions.

We reduce this problem to a problem without constraints by the exact penalty approach. Relations between the original and the penalized problems are investigated.

In addition, employing the d.c. structure of penalized problem the Global Optimality Conditions (GOCs) [1, 2] are developed and analyzed. We prove that the GOCs possess the constructive property, i.e. when the GOCs are violated, it is possible to find a feasible (in original problem) vector which is better than the point under investigation.

Moreover, it is shown that the point satisfying the GOCs turns out to be a KKT vector in the original problem.

Besides we establish that the verification of the GOCs consists in a solution of a family of the partially linearized problems, and consecutive verification of the principal inequality of the GOCs.

The effectiveness of the GOCs is verified by a number of examples in which the GOCs confirm its ability to escape stationary points and local minima with improving the goal function.

This work has been supported by the Russian Science Foundation, Project No. 15-11-20015.

References

1. Strekalovsky A. S. On solving optimization problems with hidden nonconvex structures // Optimization in Science and Engineering, New York: Springer, 2014, 465-502.
2. Strekalovsky A. S. Global optimality conditions in nonconvex optimization, JOTA, 2017, DOI: 10.1007/s10957-016-0998-7.

О локальном поиске в задаче с d.c. ограничениями

A. С. Стрекаловский, И. М. Минарченко

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

E-mail: sla669@gmail.com

Рассматривается невыпуклая задача оптимизации, в которой целевая функция и ограничения-неравенства заданы d.c. функциями. С помощью точного штрафа [1] данная задача сводится к задаче без ограничений, целевая функция которой, в свою очередь, также является d.c. функцией. Для решения оштрафованной задачи предлагается специальный метод локального поиска [2], основанный на линеаризации по базовой невыпуклости и представляющий собой последовательное решение линеаризованных выпуклых задач. Исследованы вопросы сходимости данного метода. В частности, показано, что предельная точка генерируемой методом последовательности является KKT-решением исходной задачи в том случае, если она удовлетворяет соответствующим ограничениям-неравенствам. Проведено предварительное численное тестирование метода на тестовых задачах из открытых источников, а также на случайно сгенерированных задачах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 15-11-20015).

Список литературы

1. Byrd R., Nocedal J., Waltz R. Steering exact penalty methods for nonlinear programming // Optimization Methods & Software. 2008. V. 23 (2). P. 197-213.
2. Strekalovsky A. On local search in d.c. optimization problems // Applied Mathematics and Computation. 2015. V. 255. P. 73-83.

Формулы численного дифференцирования функций с большими градиентами

С. В. Тиховская, А. И. Задорин

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Омский филиал

E-mail: s.tihovskaya@yandex.ru

Решению сингулярно возмущенных задач с возмущающим параметром ε соответствуют функции с большими градиентами. Поэтому актуален вопрос интерполяции и численного дифференцирования такого вида функций.

При интерполяции функций широко применяется интерполяция на основе многочленов Лагранжа на равномерной сетке. Тем не менее, известно, что для функций с большими градиентами использование такого типа интерполяции приводит к неравномерным по ε оценкам и погрешностям порядка $O(1)$. Добиться равномерных по ε оценок можно либо используя полиномиальную интерполяцию на кусочно-равномерной сетке Шишкина, как показано в [1], либо построить на равномерной сетке интерполяционную формулу, точную на погранслоистой составляющей, как показано в [2].

В данной работе на основе разработанных в [2] формул интерполяции исследованы формулы численного дифференцирования, точные на погранслоистой составляющей, для функций с большими градиентами, и получены равномерные по ε оценки погрешности. Приведены результаты численных экспериментов, подтверждающие теоретические результаты.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-06584, 17-01-00727).

Список литературы

1. Tikhovskaya S. V., Zadorin A. I. Analysis of polynomial interpolation of the function of two variables with large gradients in the parabolic boundary layers // Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences. AIP Conference Proceedings. 2016. V. 1773. P. 100008-1 – 100008-9.
2. Задорин А. И. Интерполяционные формулы для функций с большими градиентами в пограничном слое и их применение. Моделирование и анализ информационных систем. 2016. 23 (3). С. 377–384.

Интерполяция рациональными функциями

В. Г. Чередниченко

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: kimt@ngs.ru

I. Интерполяция.

- 1.1. Постановка задачи, диагональ Паде.
- 1.2. Построение решений.
- 1.3. Задача о трех полиномах.
- 1.4. Обобщение формулы Ньютона полиномиальной интерполяции на рациональную.
- 1.5. О двух исторических примерах полиномиальной интерполяции.
- 1.6. Спектральная картина разрешимости интерполяционной задачи.

II. Аппроксимация.

- 2.1. Схемы аппроксимаций, решение уравнений.
- 2.2. Аппроксимация ступенчатых функций.
- 2.3. Аппроксимация ζ -функции Римана.
- 2.4. Корректирующий интерполянт.
- 2.5. Аппроксимации Паде.
- 2.6. Оценки аппроксимации.

Интервальная регуляризация систем линейных алгебраических уравнений*С. П. Шарый**Институт вычислительных технологий СО РАН**E-mail: shary@ict.nsc.ru*

Рассматривается задача решения плохо обусловленных систем линейных алгебраических уравнений. Для улучшения устойчивости решения предлагается погружение исходной системы в интервальную систему линейных алгебраических уравнений той же структуры и далее рассмотрение её допускового множества решений [1, 2]. В результате "раздувающаяся" матрица системы приобретает близкие и лучше обусловленные матрицы, для которых решение соответствующих систем более устойчиво.

В качестве псевдорешения исходной системы линейных алгебраических уравнений берётся точка из допускового множества решений "раздувшейся" интервальной линейной системы. Для её нахождения может быть использована техника, основанная на применении так называемого распознающего функционала [1, 2], либо субдифференциальный метод Ньютона [2].

Список литературы

1. Shary S. P. Solving the linear interval tolerance problem // *Mathematics and Computers in Simulation*. 1995. Vol. 39. P. 53–85.

2. Шарый С. П. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2017. [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.nsc.ru/interval/?page=Library/InteBooks> (дата обращения: 12.03.2017).

Алгоритм с расщеплением вейвлет-преобразования кубических сплайнов на неравномерной сетке*Б. М. Шумилов**Томский государственный архитектурно-строительный университет**E-mail: sbm05@yandex.ru*

Пусть на конечном отрезке задана вложенная последовательность сеток, полученных добавлением по одному узлу на каждом шаге вложенной сетки, так что в результате на каждом уровне вложенности узлы нумеруются от 0 до натуральной степени двойки, включая концы отрезка. Пространством аппроксимации служит пространство сплайнов третьей степени, непрерывных до производных второго порядка включительно [1]. В стандартном подходе для определения сплайна к интерполяционным условиям в узлах добавляются, например, значения первой производной в концах. В отличие от этого, мы предлагаем вычесть из заданных величин значения эрмитового интерполяционного многочлена, так чтобы были выполнены однородные краевые условия. Разность между полученными пространствами на соседних уровнях вложенности образует пространство вейвлетов. Для случая равномерной сетки базисные вейвлеты и калибровочные соотношения были получены в [2], тогда как алгоритм с расщеплением представлен в [3]. Для неравномерного случая базисные вейвлеты были введены в [4], а калибровочные соотношения можно вывести из леммы [5]. В докладе предложено представление матрицы вейвлет-преобразования в виде трехдиагональной системы линейных алгебраических уравнений относительно коэффициентов. Абсолютная устойчивость алгоритма обеспечивается переходом к матрице с диагональным преобладанием согласно [6]. После восстановления по значимым вейвлет-коэффициентам аппроксимационного сплайна 3-й степени к нему добавляются значения многочлена, вычтенного ранее. Исследовано применение к задачам дифференцирования и прогнозирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p_a).

Список литературы

1. Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам. М.: Радио и связь. 1985.

2. Wang J. Cubic spline wavelet bases of sobolev spaces and multilevel interpolation // *Applied and Computational Harmonic Analysis*. 1996. V. 3, № 2. P. 154–163.

3. Шумилов Б. М. О сплайн-вейвлетах, полуортогональных с производными, и алгоритме с расщеплением // Сибирский журнал вычислительной математики. 2017. Т. 20, № 1. С. 85–96.
4. Wang J. Interpolating cubic spline wavelet packet on arbitrary partitions // Journal of Computational Analysis and Applications. 2003. V. 5, № 1. P. 179–193.
5. Boor C., Fix G. Spline approximation by quasi-interpolants // J. Approx. Theory. 1973. V. 8. P. 19–45.
6. Завьялов Ю. С., Квасов Б. И., Мирошниченко В. Л. Методы сплайн-функций. М.: Наука, 1980.

Кубические сплайн-вейвлеты, ортогональные многочленам первой степени, и алгоритм с расщеплением

Б. М. Шумилов

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: sbm05@yandex.ru

Для случая равномерной сетки узлов общее решение для сплайн-вейвлетов, ортогональных многочленам любой заданной степени, было получено в [1]. Однако в приложениях возникают некоторые трудности при адаптации этих вейвлетов к границам отрезка. Например, для сплайнов третьей степени, непрерывных до производных второго порядка включительно и удовлетворяющих однородным краевым условиям Дирихле второго порядка [2], граничные вейвлеты, ортогональные всем многочленам первой степени, были получены в [3]. Кроме этого, в двух частных случаях была доказана рессовость полученного базиса. В докладе предложена факторизация полной матрицы вейвлет-преобразования в виде решения трехдиагональной системы линейных алгебраических уравнений относительно модифицированных значений нечетных коэффициентов сплайна на густой сетке и последующего вычисления коэффициентов вейвлет-разложения на прореженной сетке посредством серии локальных усредняющих формул. Абсолютная устойчивость алгоритма обеспечивается аналитическим исключением двух первых и двух последних неизвестных на границах, что гарантирует строгое диагональное преобладание полученной системы. Исследовано применение к обработке материалов лазерного сканирования автомобильных дорог.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p_a).

Список литературы

1. Koro K., Abe K. Non-orthogonal spline wavelets for boundary element analysis // Engineering Analysis with Boundary Elements. 2001. V. 25. P. 149–164.
2. Wang J. Cubic spline wavelet bases of sobolev spaces and multilevel interpolation // Applied and Computational Harmonic Analysis. 1996. V. 3, № 2. P. 154–163.
3. Cerna D., Finek V. Cubic spline wavelets with short support for fourth-order problems // Applied Mathematics and Computation. 2014. V. 243. P. 44–56.

Многомасштабный метод конечных элементов для полиэдральных носителей

Э. П. Шурина, А. Ю. Кутищева

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: Kutischeva.Anastasia@yandex.ru

В настоящее время для решения широкого класса задач, связанных с геометрической и физической многомасштабностью, применяются конечноэлементные методы, для которых строится иерархия пространств и соответствующих сеточных разбиений. Пространство решений представляется в виде суммы двух подпространств: макроподпространства, отражающего свойства всей среды в целом, и микроподпространства, учитывающего мелкомасштабные особенности. Одним из методов, реализующих данную идеологию, является многомасштабный метод конечных элементов (MsFEM) и его модификации.

Для трехмерных задач на верхнем уровне иерархии (макроподпространство) в MsFEM используются только конечные элементы-параллелепипеды, что существенно ограничивает область применения данного метода. Кроме того, требуется согласованность конечноэлементных сеток на

микроуровне на границах соседних макроэлементов, для построения согласованных многомасштабных неполиномиальных функций формы.

В данной работе для решения эллиптической краевой задачи в областях с контрастными микровключениями предлагается модификация классического MsFEM, лишенная указанных недостатков. На верхнем уровне иерархии применяется разрывный метод Галёркина в несимметричной IP-постановке с полиэдральными носителями.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ офи_м (заявка № 16-29-15094) и проекта Программы № 43 фундаментальных исследований Президиума РАН.

Вычислительные схемы сплайнов и вейвлетов: их место и роль в развитии теории обработки информации в технических системах

Э. А. Эшаров

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: elzare78@mail.ru

Развитие способов построения вычислительных схем на основе сплайнов и вейвлетов, наиболее подходящих как для анализа конкретных данных, так и во многих других областях, представляет собой огромное значение. Перечислим некоторые области, в которых применяется математический аппарат сплайнов и вейвлетов: обработка экспериментальных данных, обработка изображений, сжатие данных, системы передачи данных и цифровой обработки сигналов [1-3].

В предлагаемом докладе раскрывается место и роль вычислительных схем сплайнов и вейвлетов в теории обработки информации в технических системах. Проводится сравнение сплайнов и вейвлетов с методами Фурье и конечных разностей по гладкости аппроксимации, устойчивости, по заполненности матрицы и числу обусловленности. Например, для $n=0$ сравнение проводится между сплайнами нулевой степени и вейвлетами Хаара по свойствам ортогональности и компактности носителя. Для $n \geq 1$ сравнение проводится между вычислительными схемами сплайнов и вейвлетов по свойствам ортогональности, полуортогональности и точности на многочленах. На основе проведенного сравнения ставится задача на оптимизацию вычислительных схем сплайнов и вейвлетов. А также рассматриваются вопросы реализации выбора вычислительных схем сплайнов и вейвлетов, анализ и сравнение результатов оптимизации вычислительных схем сплайнов и вейвлетов. Примеры такого построения для случаев сплайнов пятой степени и кубических вейвлетов содержатся в [4, 5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p_a).

Список литературы

1. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – Москва: Наука, 1980. – 352 с.
2. Столниц, Э. Вейвлеты в компьютерной графике: Пер. с англ. / Э. Столниц, Т. ДеРоуз, Д. Салезин. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2002. – 272 с.
3. Малла, С. Вейвлеты в обработке сигналов. Пер. с англ. / С. Малла. – Москва: Мир, 2005. – 671 с.
4. Шумилов Б. М. Сплайн-аппроксимационные схемы, точные на многочленах // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. – 1992. Т.32. – № 8. – С. 1187-1196.
5. Шумилов Б. М. О сплайн-вейвлетах, полуортогональных с производными, и алгоритме с расщеплением // Сибирский журнал вычисл. матем. – 2017. – № 1. – С. 107-120.

Оптимизация сплайн-вейвлетных алгоритмов по количеству арифметических операций

Э. А. Эшаров¹, А. А. Макаров²

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет

²Санкт-Петербургский государственный университет

E-mail: elzare78@mail.ru

Вычислительная эффективность алгоритма оценивается количеством элементарных операций, затрачиваемых алгоритмом на решение конкретной задачи. Сложность зависит не только от

размерности входных данных, но и от самих данных. Очевидно, что чем сложнее алгоритм в вычислительном плане, тем больше времени и вычислительных ресурсов потребует его выполнение. Различают временную и пространственную сложность. Первая определяет время, требуемое на решение задачи заданной размерности с помощью данного алгоритма, а вторая – количество требуемых ресурсов (памяти) при тех же условиях. Каждый вычислительный алгоритм может быть отнесен к одному из двух классов сложности [1].

В данной работе мы анализируем алгоритмы [2] и [3] для вейвлет-разложения простых кубических сплайнов с точки зрения количества вычислительных операций в сравнении с классическим подходом, изложенным в [4–6], и сравниваем возможности оптимизации параллельной реализации представленных алгоритмов по быстродействию и объему памяти.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p_a).

Список литературы

1. Завьялов, Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – Москва: Наука, 1980. – 352 с.
2. Макаров А. А. Один вариант сплайн-вейвлетного разложения пространств В-сплайнов // Вестн. С.-Петербург. ун-та. Сер. 10. 2009. Вып. 2. С. 58–70.
3. Шумилов Б. М. О сплайн-вейвлетах, полуортогональных с производными, и алгоритме с расщеплением // Сибирский журнал вычислительной математики. 2017. Т. 20, № 1. С. 85–96.
4. Wang J. Cubic spline wavelet bases of sobolev spaces and multilevel interpolation // Applied and Computational Harmonic Analysis. – 1996. – Vol. 3, iss. 2. – P. 154–163.
5. Cai W., Wang J. Adaptive multiresolution collocation methods for initial boundary value problems of nonlinear PDEs // SIAM J. on Numerical Analysis. – 1996. – Vol. 33, iss. 3. – P. 937–970.
6. Kumar V., Mehra M. Cubic spline adaptive wavelet scheme to solve singularly perturbed reaction diffusion problems. // Int. J. of Wavelets, Multiresolution and Information Processing. – 2007. – Vol. 5. – iss. 2. – P. 317–331.

Разработка методов построения трехмерных моделей окружающей обстановки по данным мобильных видеоизмерений

Э. А. Эшаров, Н. В. Лаходьнова

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: elzare78@mail.ru

В измерительной технике под видеоизмерениями понимается компьютерная обработка изображения в стандартном аналоговом телевизионном видеосигнале, результатом которой является массив цифровых данных, содержащих информацию о горизонтальной и вертикальной координатах, яркости и цвете всех точек видеокadra [1].

В данной работе рассматривается построение и обоснование решения обратной задачи стереограмметрии, состоящей в идентификации по последовательности кадров видеосъемки окружающей обстановки пространственной триангуляционной сети опорных точек, принадлежащих поверхности изучаемого объекта; разработан метод восстановления триангулированной поверхности через измерения координат опорных точек на кадрах видеопотока. А также поставлены задачи обоснования и реализации аппроксимационных сплайнов повышенной точности и гладкости на треугольной сетке и построения устойчивых алгоритмов вейвлет-разложения триангулированных поверхностей на их основе [2–7].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p_a).

Список литературы

1. [Electron. resource]. <http://www.fastvideo.ru/products/framegrabber/framegrabber.htm>.
2. Завьялов Ю. С. Методы сплайн-функций / Ю. С. Завьялов, Б. И. Квасов, В. Л. Мирошниченко. – Москва: Наука, 1980. – 352 с.

3. Столниц Э. Вейвлеты в компьютерной графике: Пер. с англ. / Э. Столниц, Т. ДеРоуз, Д. Салезин. – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2002. – 272 с.
4. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и её применение / А. В. Скворцов. – Томск: Изд-во Том.ун-та, 2002. – 128 с.
5. Скворцов А. В. Построение сверхбольшой триангуляции Делоне / А. В. Скворцов // Изв. вузов. Физика, 2002, № 6, с. 22-25.
6. Шумилов Б. М. О локальной интерполяции на равномерной треугольной сетке сплайнами четвертой степени // Изв. вузов. Математика. № 5, 1988, 77-81. [Electron. resource]. <http://www.mathnet.ru/links/718951f2e80847426b2270468471832a/ivm7964.pdf>.
7. Шумилов Б. М. Гладкая интерполяция поверхностей сплайнами второй степени на нерегулярной сетке // Журн. выч. матем. и матем. физики, т. 32, № 5, 1992, 802-807. [Electron. resource]. <http://www.mathnet.ru/links/259452450e6a3bdae0716fbbfd81fe81/zvmmf2903.pdf>.

Оптимизационный подход к решению систем нелинейных алгебраических уравнений

М. В. Янулевич, А. С. Стрекаловский

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

E-mail: max@irk.ru

Рассматривается задача численного решения системы нелинейных алгебраических уравнений [1]. Исследуемая задача редуцируется к оптимизационной задаче, для решения которой применяется теория глобального поиска [2, 3], основанная на необходимых и достаточных условиях глобальной оптимальности для задач д.с. минимизации. Метод глобального поиска включает в себя два основных этапа: локальный поиск и процедуру улучшения (критических) точек, полученных локальным поиском. На этапах локального и глобального поисков необходимо решать вспомогательные выпуклые негладкие задачи оптимизации, решение которых предлагается осуществлять без использования методов негладкой оптимизации, редуцируя негладкие задачи к гладким и применяя известные методы и пакеты программ для выпуклой оптимизации (в частности, IBM ILOG CPLEX [4] или Gurobi [5]). Проведен вычислительный эксперимент, в ходе которого исследована эффективность работы методов локального и глобального поисков на различных тестовых задачах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 15-11-20015).

Список литературы

1. Rheinboldt W. C. *Methods for Solving Systems of Nonlinear Equations* / 2nd ed. New York: SIAM, 1998.
2. Стрекаловский А. С. *Элементы невыпуклой оптимизации*. Новосибирск: Наука, 2003.
3. Strekalovsky A. S. On solving optimization problems with hidden nonconvex structures / Rassias T. M., Floudas C. A., Butenko S. (eds.) *Optimization in Science and Engineering*. New York: Springer, 2014. pp. 465-502.
4. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. [Электрон. ресурс]. URL: www.ibm.com/software/products/ru/ibmilogcpleoptistud (дата обращения: 28.03.2017).
5. Gurobi Optimization, Inc. [Электрон. ресурс]. URL: <http://www.gurobi.com> (дата обращения: 28.03.2017).

Секция 3. ЧИСЛЕННОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ МОНТЕ-КАРЛО

Статистические алгоритмы прогнозирования для нелинейных стохастических систем с пуассоновской составляющей

Т. А. Аверина^{1,2}, К. А. Рыбаков³

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

³Московский авиационный Институт

E-mail: ata@osmf.ssc.ru

Модель динамической системы описывается стохастическими дифференциальными уравнениями в смысле Ито, содержащем общий пуассоновский процесс [1]. Для этой динамической системы ставится задача прогнозирования, состоящая в оценивании вектора состояния по результатам измерений. Отрезок времени функционирования системы $[t_0, T]$. Для каждого текущего момента времени t прогноз строится на промежутке $(t, t+e]$, где e – величина опережения по времени. В работе построены новые статистические алгоритмы решения этой задачи. В их основе лежит моделирование траекторий вспомогательного процесса с обрывами и ветвлениями с последующим усреднением для получения оптимальной оценки по критерию минимума среднеквадратического отклонения ошибки оценивания [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-01-05052).

Список литературы

1. Аверина Т. А., Рыбаков К. А. Два метода анализа стохастических систем с пуассоновской составляющей // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2013, № 3. С. 85–116.
2. Рыбаков К. А. Статистические алгоритмы оптимальной фильтрации сигналов в нелинейных диффузионно-скачкообразных стохастических системах // Вестник УГАТУ. 2016. Т. 20, № 4(74). С. 107–113.

Алгоритмы методов Монте-Карло для исследования поля интенсивности излучения, проходящего через случайную среду

А. Ю. Амбос

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: ambos.andrey@gmail.com

На основе численного статистического моделирования и вероятностного анализа осуществляется эффективное осреднение стохастических радиационных моделей, то есть построение детерминированных моделей, воспроизводящих осреднённые вероятности прохождения частиц через стохастическую среду. В связи с этим построены "реалистические" вычислительные модели положительных изотропных "разорванных" экспоненциально коррелированных случайных полей, реализации которых близки к непрерывным и имеют достаточно естественное условное одномерное распределение в непустой части среды, определяемое первыми двумя моментами при заданной вероятности нуля, которая определяет "степень разорванности". Показано, что соответствующая осреднённая вероятность прохождения кванта практически определяется корреляционным масштабом и степенью заполненности среды, а также указанным выше условным распределением. Численно исследовано случайное поле проходящей радиации.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П и Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-00894, 16-01-00530).

Оценка числа обусловленности большой плохо обусловленной матрицы методом Монте-Карло

В. С. Антюфеев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: ant@osmf.sccc.ru

Рассматриваются плохо обусловленные детерминированные (неслучайные) матрицы систем линейных алгебраических уравнений со случайной ошибкой вектора правой части. Исследуется число ν обусловленности матрицы системы. Показано: если случайный вектор ошибки правой части системы и матрица системы удовлетворяют некоторым естественным условиям, величина числа ν может быть значительно уменьшена сравнительно со "стандартной" величиной.

Список литературы

1. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, 1984.
2. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М.: Наука, 1969.
3. Беллман Р. Введение в теорию матриц. М.: Наука, 1969.

Об одной модели формирования нелокальностей в аномальной диффузии

Н. С. Аркашов, В. А. Селезнев

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: nicky1978@mail.ru

Пусть имеется информация о степенном росте по времени среднего квадрата перемещения некоторой частицы. Целью настоящей работы является определение соотношения, в котором находятся параметры памяти и пространственной нелокальности, формирующие степенной показатель среднего квадрата стохастического перемещения, при условии конечности моментов второго порядка этих перемещений. В представленной работе изменение импульса определяется действием стохастических сил, распределенных по времени некоторой функцией памяти (см. [1, 2]). Параметры, характеризующие пространственно-временную нелокальность, формируются структурой стохастических сил и видом функции памяти, при этом суб- и супердиффузионный режим блуждания определяется в рамках конечности момента второго порядка. Отметим, что конечность момента второго порядка для всех режимов блуждания, а также использование феноменологии потока памяти отличает предлагаемую модель от моделей дробной кинетики, где используется феноменология дробного закона Фика, при этом в супердиффузионном режиме применяется техника устойчивых распределений с бесконечным вторым моментом (см. [3]).

Список литературы

1. А. И. Олемской, А. Я. Флат, УФН, 163:12 (1993), 1–50.
2. Р. Р. Нигматуллин, ТМФ, 90:3 (1992), 354–368.
3. R. Metzler, J. Klafter, Physics Reports, 339 (2000), 1–77.

Исследование двух алгоритмов моделирования однородных случайных полей с четырехпараметрической экспоненциальной корреляционной функцией

Г. А. Бабичева, Н. А. Карганолова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: galinab2811@gmail.com

В работе исследуются два алгоритма моделирования на регулярных сетках специального класса однородных гауссовских двумерных полей с четырехпараметрической экспоненциальной корреляционной функцией. Первый алгоритм основан на методе условных распределений для моделирования векторных гауссовских последовательностей с блочно-теплицевой корреляционной матрицей. В основе второго алгоритма лежат метод факторизации корреляционной функции и рандомизация

ее параметров. Основным вопросом, рассматриваемым в работе – исследование областей практической применимости указанных алгоритмов. В частности, показано, что второй алгоритм применим для более узкого, по сравнению с первым, класса корреляционных функций, но позволяет моделировать поля на сетках с существенно большим числом узлов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-01458-а, 16-31-00038-мол-а, 16-31-00123-мол-а) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-659.2017.1).

Решение кинетического уравнения Смолуховского с помощью статистической оценки по столкновениям

А. В. Бурмистров¹, М. А. Коротченко²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, НГУ*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, НГУ*

E-mail: burm@osmf.sccc.ru

Рассматривается нелинейное уравнение Смолуховского, которое часто возникает при описании процессов коагуляции частиц в различных физических системах. В работе изучается уравнение с линейными коэффициентами коагуляции, зависящими от размера взаимодействующих частиц [1]. Для численной оценки линейных функционалов от решения этого уравнения строится "модельная" эволюция "физической" многочастичной системы с помощью соответствующих цепей Маркова. В рамках "веса" статистического моделирования разработаны новые оценки "по столкновениям" для численного решения рассматриваемого кинетического уравнения. Построенные оценки могут быть использованы для рандомизированного ветвления траекторий модельного ансамбля коагулирующих частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-01-00698, 16-01-00530).

Список литературы

1. Бурмистров А. В., Коротченко М. А. Весовые алгоритмы метода Монте-Карло для оценки и параметрического анализа решения кинетического уравнения коагуляции // Сиб. журн. вычисл. математики. 2014. Т. 17, № 2. С. 125–138.

Усовершенствование стохастической дифференциальной модели ценового ряда

А. В. Бурмистров^{1,2}, А. В. Новиков³

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

³*ООО "Мой Капитал"*

В работе рассматривается задача построения адекватной математической модели ценового ряда в рамках стохастической дифференциальной модели [1]. Проводится анализ динамики вероятностных характеристик ценовых рядов: коэффициента роста и коэффициента волатильности. Для этих коэффициентов по историческим данным строятся стохастические дифференциальные уравнения, наиболее адекватно описывающие их историческую динамику.

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

Список литературы

1. Новиков А. В. Адаптированные стохастические дифференциальные модели ценового ряда. Новосибирск, 2003. 27 с. Препринт / РАН. Сиб. Отд-ние. ИВМиМГ; 1157.

О построении кинетической модели газовой динамики с зонами фокусировки излучения*Д. А. Быковских, В. А. Галкин**Сургутский государственный университет**E-mail: dmitriy.bykovskih@gmail.com*

Работа посвящена исследованию численного метода моделирования особенностей течения газа в задачах переноса для динамических систем, состоящих из невзаимодействующих частиц [1-2]. К таким задачам относится описание областей фокусировки и кумулятивных явлений в динамике фотонного газа, нейтронов и т.п. [3]. Спецификой представленной работы является наличие управляющего воздействия на структуру течения за счет пространственно-временного изменения границ областей. Выполнено исследование особых зон высокой плотности, возникающих в замкнутых областях различной конфигурации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 15-41-00013, № 15-41-00059, № 16-29-15105.

Список литературы

1. Черчиньяни К. Теория и приложения уравнения Больцмана. М.: Мир, 1978.
2. Галкин В. А. Анализ математических моделей: системы законов сохранения, уравнения Больцмана и Смолуховского. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011.
3. Арнольд В. И. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1989.

О выборе плотностей распределения узлов адаптивных сеток в стохастических алгоритмах многомерного численного интегрирования и приближения функций*А. В. Войтишек**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**E-mail: vav@osmf.sgcc.ru*

В докладе сформулирован аналог принципа эквираспределения (см., например, [1]) для стохастических адаптивных сеток, используемых при решении многомерных задач численного интегрирования. Принцип означает, что интеграл от плотности одномерной случайной величины ξ по интервалу (ξ^1, ξ^2) между двумя выборочными значениями величины ξ имеет "универсальное" распределение с плотностью, равной так называемой "функции-крышке".

Принцип выборки по важности представлен как метод построения адаптивной сетки для задачи численного интегрирования. Предложен дискретно-стохастический подход [2] с использованием "моделируемого" базиса Стренга-Фикса для численного построения соответствующей адаптивной сетки.

Рассмотрена также проблема выбора плотности распределения узлов при реализации алгоритма самоорганизации Т. Кохонена [3] для построения адаптивных сеток при решении задачи численного приближения функций. Для гладких приближаемых функций в одномерном случае предложено использовать в качестве плотности адаптивных узлов корня квадратного из модуля второй производной приближаемой функции. Приведен пример функции, для которой сформулированная рекомендация приводит к улучшению аппроксимационных свойств сеточного приближения.

Большая часть результатов сформулирована в простейшей одномерной форме. В заключительной части доклада представлены: обзор возможных многомерных версий этих результатов, а также направления дальнейших исследований.

Список литературы

1. Хакимзянов Г. С., Шокин Ю. И. Разностные схемы на адаптивных сетках. Ч. 1, 2. Новосибирск: НГУ, 2009.
2. Voytishchek A. V., Kablukova E. G. Using the approximation functional bases in Monte Carlo methods // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2003. V. 18, № 6. P. 521–542.
3. Kohonen T. Self-Organizing Maps. Springer-Verlag, 2001.

Метод Монте-Карло в моделях анализа надежности энергоснабжения*Е. В. Губий, В. И. Зоркальцев, С. М. Пержабинский**Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН**E-mail: zork@isem.irk.ru*

В докладе обсуждаются опыт, возможности и проблемы использования метода Монте-Карло в моделях анализа и оптимизации состава средств обеспечения надежности энергоснабжения. Метод Монте-Карло служит для имитации случайных ситуаций, в которых могут оказаться системы энергоснабжения. В каждой ситуации производится имитация правил поведения системы на основе специальных моделей оценки состояний. На основе обработки результатов многократных статистических испытаний определяются показатели надежности энергоснабжения и математического ожидания эффективности функционирования систем энергетики при заданном составе средств обеспечения надежности. Варьируя состав средств обеспечения надежности можно определять их оптимальный набор.

Рассматриваются особенности и способы повышения эффективности применения метода Монте-Карло в моделях анализа балансовой надежности электроэнергетических систем [1, 2] и в моделях анализа надежности топливоснабжения [1, 3]. Приводятся результаты исследований колебаний температур воздуха в зимний период и продолжительности отопительных периодов для всех экономических районов бывшего СССР на основе данных метеонаблюдений с 1881 года [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов: 15-07-07412-а, 16-37-00333-мол_а).

Список литературы

1. Справочник по общим моделям анализа и синтеза надежности систем энергетики / под ред. Ю. Н. Руденко. М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. Зоркальцев В. И., Пержабинский С. М. Модели оценки дефицита мощности электроэнергетической системы // Сиб. журн. индустр. матем. 2012. Т. 15, № 1. С. 34–43.
3. Зоркальцев В. И. Методы прогнозирования и анализа эффективности функционирования системы топливоснабжения. М.: Наука, 1988.
4. Зоркальцев В. И. Многолетние колебания температур и проблемы надежности топливоснабжения. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015.

Применение метода случайного блуждания по сферам в сочетании с методом Эйлера для расчета теплового состояния сотовых теплозащитных конструкций*С. А. Гусев¹, В. Н. Николаев²**¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**²Сибирский научно-исследовательский Институт авиации им. С. А. Чаплыгина**E-mail: sag@osmf.sccc.ru*

Одним из перспективных направлений в конструировании теплозащитных покрытий в технике является применение сотовых теплозащитных панелей. Сотовая теплозащитная панель представляет собой конструкцию, состоящую из двух тонких пластин, между которыми заключен тонкий каркас из поликарбоната в виде пчелиных сот, заполненных некоторой субстанцией с низкой теплопроводностью. В работе [1] для расчета теплопереноса в таких панелях предложено использовать метод стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) на основе вероятностного представления решения уравнения теплопроводности. При этом делалось сглаживание разрывных коэффициентов уравнения теплопроводности, а численное решение СДУ осуществлялось методом Эйлера. В данном докладе предлагается рассчитывать движение трехмерного винеровского процесса по каркасу и в заданной его окрестности также методом Эйлера, а внутри ячеек - путем статистического моделирования точки и времени выхода на границы шаров, расположенных на некотором расстоянии от каркаса. Для расчета времени выхода на границу шара используется определение времени выхода из соответствующего интервала одномерного случайного процесса, так называемого бесселевского процесса [2], [3], значение которого совпадает с нормой трехмерного винеровского процесса.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 17-01-00698-а)

Список литературы

1. Gusev S. A., Nikolaev V. N. Calculation of heat transfer in heterogeneous structures such as honeycomb by using numerical solution of stochastic differential equations // *Advanced Materials Research*. 2014. V. 1016, P. 758–763.
2. Revuz, D. Yor, M. *Continuous Martingales and Brownian Motion*. 3ed., Springer 1999.
3. Deaconu M., Herrmann S., Maire S. The walk on moving spheres: A new tool for simulating Brownian motion's exit time from a domain// *Mathematics and Computers in Simulation*. 2017. V. 135, P. 28–38.

Численные операции над ядерными оценками в задаче восстановления функции плотности вероятности

Б. С. Добронетц, О. А. Попова

Сибирский федеральный университет

E-mail: BDobronets@yandex.ru

В работе рассматриваются новые подходы к повышению точности ядерных оценок для функций плотности вероятности. Для повышения точности оценок аппроксимации функции плотности вероятности по эмпирическим данным применяется экстраполяция Ричардсона [1]. На основе правила Рунге, предложен алгоритм построения оценок вторых производных функции плотности вероятности, апостериорных оценок точности ядерных оценок [1,2,6,7]. Оценки вторых производных позволяют выбрать оптимальные параметры для построения ядерных оценок. Показано, что использование экстраполяции Ричардсона повышает точность оценок для математического ожидания функции плотности вероятности на два порядка относительно параметра сглаживания h . Рассмотрены вопросы построения кусочно-полиномиальной аппроксимации функции плотности вероятности. Разработаны численные арифметические операции над ними.

Список литературы

1. В. В. Шайдуров Г. И. Марчук. Повышение точности решений разностных схем. Наука, Новосибирск, 1979.
2. Dobronets B. S., Popova O. A. Improving the accuracy of the probability density function estimation *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Математика и физика*. 2017. Т. 10. № 1. С. 16-21.
3. Dobronets B., Popova O. Numerical probabilistic analysis under aleatory and epistemic uncertainty. *Reliable Computing*, 19:274–289, 2014.
4. Dobronets B., Popova O. Numerical probabilistic approach for optimization problems. *Lecture Notes in Computer Science*, 9553:43–53, 2016.
5. Добронетц Б. С., Попова О. А. Численный вероятностный анализ неопределенных данных: монография. Сиб. федер. ун-т, Красноярск, 2014.
6. Попова О. А. Информационный подход к апостериорным оценкам погрешности численного моделирования. *Информатизация и связь*, 2:40–43, 2016.
7. Добронетц Б. С., Шайдуров В. В. Двусторонние численные методы. Наука, Новосибирск, 1990.

Анализ СДУ в частных производных методом Монте-Карло

А. А. Иванов, С. С. Артемьев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: brrrr@mail.ru

В работе исследуются решения одномерных стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) в частных производных. Для уравнений переноса и Бюргерса построена дискретная модель, обобщающая явный метод Эйлера, в которой при моделировании мультипликативных или аддитивных шумов вносится сглаживающая поправка при дискретизации производных по пространственной переменной. Для анализа результатов расчетов разработаны частотная и статистическая характеристики, дающие более полную информацию о решении СДУ в частных производных. Так же проведен численный анализ нелинейного стохастического уравнения Кортевега – де Вриза, у которого при определенном наборе начальных условий существует точное решение – солитон (уединенная

волна). Исследуется, что будет с волной при изменении начальных условий, а так же эффект влияния случайных шумов разной интенсивности на солитон. Приведены графики частотных и статистических портретов решений, рассчитанных методом Монте-Карло на кластере НКС-30Т Сибирского суперкомпьютерного центра СО РАН.

Статистическое моделирование особенностей переноса солнечного излучения в атмосферной облачности и водной среде, обусловленных многократным рассеянием

Е. Г. Каблукова, С. М. Пригарин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kablukovae@sscc.ru

Методом Монте-Карло исследуется радиационный режим в атмосферной облачности и водной среде в рамках плоскопараллельной модели. Отражение и преломление излучения на поверхности морского волнения учитывается с помощью фацетной модели. В работе исследуются освещенность, потоки и угловые распределения излучения на различных уровнях в облачном слое и водной толще при различных отражающих свойствах подстилающей поверхности и силе волнения на море. Изучаются различные эффекты (см., например, [1]), которые могут возникать за счет многократного рассеяния излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 15-01-00783, 16-01-00145) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П.

Список литературы

1. Kablukova E. G., Prigarin S. M., Monte Carlo simulation of specific features of radiation regime in clouds caused by underlying surface, Proc. SPIE 10035, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 100351N

Суперкомпьютерное моделирование стохастического разрушения кулоновского кристалла в оптической решетке

Л. П. Каменщиков, И. В. Краснов

Институт вычислительного моделирования СО РАН

E-mail: lpk@icm.krasn.ru

Ионные кулоновские кристаллы в традиционных радиочастотных ловушках — объект интенсивных исследований уже около трех десятилетий. В последние годы появились работы [1–3], где исследуются перспективные чисто оптические способы удержания таких кристаллов. В данной работе делается акцент на моделировании динамики разрушения плоского ионного кулоновского кристалла. Математической моделью является система стохастических дифференциальных уравнений для трехмерного движения ионных частиц с мультипликативным шумом [3], для решения которой разработан оригинальный численный метод. Вычисления проводились на суперкомпьютере MVS-10P в МСЦ РАН (Москва). При количестве ионных частиц 49–81 время счета могло превышать сутки, а число используемых процессоров достигало в отдельных вариантах 512–1024.

Численные эксперименты показывают, что существует сильная иерархия характерных времён, соответствующая различным стадиям эволюции кристалла: 1) время установления температуры; 2) время жизни идеального кристалла, т.е. кристалла без наличия даже единичного дефекта; 3) время полного разрушения внешнего слоя кристалла при сохранении внутреннего кристаллического ядра. Эти времена отличаются друг от друга на один или несколько порядков.

Список литературы

1. Schneider C., Enderlein M., at el. Optical trapping of an ion // Nature Photonics. 2010. № 4. P. 772–775.
2. Krasnov I. V., Kamenshchikov L. P. All optical trapping of strongly coupled ions // Optics Communications. 2014. V. 312, № 3. P. 192–198.
3. Krasnov I. V., Kamenshchikov L. P. Ions in the cell of the dissipative optical superlattice: cooling trapping and Coulomb cluster formation // Laser Physics. 2015. V. 25, № 11, P. 115501 (8pp).

Моделирование комплекса метеорологических параметров с учетом их годовой нестационарности

Н. А. Каргаполова, В. А. Огородников

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: nkargapolova@gmail.com

В работе предложена стохастическая модель комплекса из трех метеорологических элементов: индикатора наличия/отсутствия осадков в течение суток, минимальной и максимальной суточной температуры. Модель построена в предположении годовой нестационарности рассматриваемых метеопроцессов. Для моделирования индикаторного ряда используется латентный гауссовский процесс, а моделирование рядов температуры осуществляется в предположении гауссовости их одномерных распределений. При этом параметры распределений являются функциями времени. В работе также приведены аналитические преобразования уравнений, связывающих корреляционные функции латентного гауссовского и индикаторного процессов, позволяющие существенно сократить время вычислений значений корреляционной функции латентного процесса при заданных значениях корреляционной функции индикаторного.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-01458-а, 16-01-00145-а, 16-31-00038-мол-а, 16-31-00123-мол-а) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-659.2017.1).

Восстановление матрицы аэрозольного рассеяния по наземным наблюдениям поляризованного излучения

А. С. Корда, С. А. Ухинов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: asc@osmf.sccc.ru

Рассматривается задача восстановления матрицы аэрозольного рассеяния атмосферы по наблюдениям поляризованного излучения в альмукуантарате Солнца. Предложены итерационные алгоритмы, основанные на измерениях первых трех компонент вектора Стокса и численном статистическом моделировании переноса поляризованного излучения. Для обоснования сходимости методов разработан алгоритм расчета матриц Якоби операторов перехода итерационных методов. Проведены тестовые расчеты, показывающие сходимость методов при определенных параметрах среды. Численно исследовано влияние ошибки начальных данных на восстановление компонент матрицы рассеяния.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-00894 а, 17-01-00823 а).

Весовые оценки метода Монте-Карло для решения прямых и обратных задач оптики мутных сред

А. В. Ланна, А. Е. Анчугова

Chelyabinsk State University

E-mail: lappa@csu.ru

В рамках кинетической модели в работе записаны прямое и сопряженное интегральные представления для линейных характеристик поля оптического излучения в гетерогенной мутной среде, корректно учитывающие особенности распространения света в веществе, в частности его отражение и преломление на поверхностях разрыва показателя преломления. Эти представления имеют существенные отличия от их аналогов в задачах переноса ионизирующих излучений, что не позволяет напрямую применять разработанные для этих задач методы. На основе записанных представлений в работе получен ряд новых монте-карловских оценок весового типа для вычисления указанных линейных характеристик, и сформулированы условия несмещенности оценок. Разработаны алгоритмы для решения обратных задач оптики мутных сред, и эти алгоритмы применены к одной из центральных задач биомедицинской оптики: неразрушающему определению оптических параметров

биологических тканей, исходя из измерений характеристик отраженного излучения. Алгоритмы, в частности, позволяют с высокой точностью, одновременно для большого набора сред с различными оптическими параметрами рассчитывать радиационные характеристики и их производные по этим параметрам.

Использование методов статистического моделирования для оценки интегральных характеристик природных пожаров

Н. Э. Лепп

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М. Ф. Решетнева

E-mail: leppnatalia@mail.ru

Стохастический подход к моделированию природных пожаров является актуальным и перспективным направлением исследований [1–3]. Задача такого подхода состоит в получении дополнительной информации о процессе распространения, оценке его интегральных характеристик с учетом погрешности во входных данных, характеризующих среду пожара.

Работа посвящена численной реализации неотрицательных случайных полей и их последующему использованию для прогнозирования и анализа динамики пожара. Представлена модификация авторегрессионной схемы моделирования однородных гауссовых случайных полей [4], состоящая во включении в схему формирования отсчетов поля случайных величин, имеющих гамма-распределение с параметром формы k ($0 < k < 1$). Методом Монте-Карло проведено численное исследование динамики пожара на случайных полях скоростей, построены вероятностные контуры, получены оценки осреднённой модели развития пожара. Результаты компьютерного моделирования показали увеличение скорости продвижения горячей кромки, площади, пройденной огнём при увеличении корреляционной зависимости отсчетов поля по пространственным координатам.

Построенные модели случайных полей скорости распространения могут быть использованы для прогнозирования и анализа динамики процессов различной природы, распространяющихся под действием случайных факторов, в неоднородных условиях внешней среды.

Список литературы

1. Finney M., Grenfell I., McHugh C., Seli R., Trethewey D., Stratton R., Brittain S. A method for ensemble wildland fire simulation // *Environmental Modeling & Assessment*. 2011. V. 16. No. 2. P. 153–167.
2. Хвостиков С. А., Баргалева С. А., Лупян Е. А. Вероятностное прогнозирование развития природных пожаров методом Монте-Карло на основе интеграции в имитационную модель данных спутникового детектирования очагов горения // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т.13. № 5. С.145-156.
3. Лери М. М. Пожар на конфигурационном графе со случайными переходами огня по ребрам // *Информатика и ее применение*. 2015 Т.9 № 3, С. 65–71.
4. Хабиби А. Двумерная байесовская оценка изображений // *ТИИЭР*. 1972. № 7. С. 153-159.

Сходимость спектральных моделей морской поверхности и волн-убийц

К. В. Литвенко¹, С. М. Пригарин²

¹*НФ Полюс-СТ*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

E-mail: litchristina@gmail.com

Для численного моделирования стохастической пространственно-временной структуры поверхности морского волнения эффективным средством являются спектральные модели случайных полей. В рамках используемого нами подхода гигантские океанические волны-убийцы интерпретируются как выбросы случайных полей, которые могут быть смоделированы с помощью условных спектральных моделей [1, 2]. В нашей работе получены достаточные условия сходимости в различных функциональных пространствах для спектральных моделей морской поверхности и волн-убийц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 15-01-01458, 16-01-00145) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П.

Список литературы

1. Litvenko K. V., Prigarin S. M., The error analysis for spectral models of the sea surface undulation. Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling (2014), V.29, No.4, P.239-250
2. Литвенко К. В., Пригарин С. М., Численные стохастические модели поверхности морского волнения и гигантских океанических волн, Сибирский журнал вычислительной математики, 2014, Т.17, № 4, С.349-361

Алгоритмы метода Монте-Карло для вычисления диффузионных характеристик электронной лавины в газе

Г. З. Лотова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: lot@osmf.sccc.ru

В работе рассматриваются задачи теории переноса электронов в газе под действием сильного внешнего электрического поля. На основе трехмерного алгоритма ELSHOW [1] получены выборки состояний частиц в электронной лавине для заданного момента времени с целью вычисления соответствующих "диффузионных радиусов" и коэффициентов диффузии.

С помощью группированных выборок построены рандомизированные проекционные и, для контроля, ядерные оценки плотности распределения частиц в лавине. Тестовые расчеты показали высокую эффективность проекционных оценок для вычисления диффузионных характеристик.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-08988, 15-01-00894, 16-01-00530, 16-01-00145, 17-01-00823) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН (номер гранта I.33П).

Список литературы

1. Лотова Г. З., Марченко М. А., Михайлов Г. А., Рогазинский С. В., Рыжов В. В., Ухинов С. А., Шкляев В. А. Параллельная реализация метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газе // Известия высших учебных заведений. Физика. 2014. Т. 57, № 3-2. С. 182-185.

Моделирование квантовых систем методом Монте-Карло

В. Л. Лукинов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: Vitaliy.Lukinov@gmail.com

При решении нелинейного уравнения Шредингера, описывающего процессы распространения и взаимодействия солитонов на длинных расстояниях в ВОЛС со случайными шумами, трудность при реализации численных алгоритмов заключается в существенной разнице между временным и пространственным интервалами и в малости времени взаимодействия [1-3]. Для построения приемлемых численных алгоритмов принято использовать расщепление решения уравнения в произведение независимых пространственной и временной составляющей, а для преодоления разницы масштабов применять прямое и обратное преобразование Фурье [1]. Представлены новые статистические алгоритмы, разработанные с использованием адаптивных пространственных сеток - малых в момент взаимодействия солитонов и больших до и после взаимодействия. На малых решается соответствующее СДУ [4], а на больших используется описанная выше классическая схема.

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

Список литературы

1. G. A. Agrawal, Nonlinear Fiber Optic, Academic Press, Boston, 2001.
2. Redyuk, A. S. Skidin, A. V. Shafarenko, M. P. Fedoruk, "Direct modelling of error statistics for data transmission through a high data rate communication line using a four-level phase modulation format", Kvant. electron., 42:7 (2012), 645-649

3. E. Ismagulov, S. A. Babin, E. V. Podivilov, M. P. Fedoruk, I. S. Shelemba, O. V. Shtyrina, "Modulation instability of narrow-band nanosecond pulses propagating in anomalous-dispersion fibre", *Kvant. electron.*, 39:8 (2009), 765–769

4. Artemiev S. S. etc., *The analysis of stochastic fluctuations by Monte Carlo method on supercomputers*, Novosibirsk, 2016

Векторные алгоритмы метода Монте-Карло с конечной трудоемкостью

И. Н. Медведев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: min@osmf.ssc.ru

В работе изучается вопрос конечности трудоемкости векторных весовых алгоритмов метода Монте-Карло для оценки линейных функционалов от решения системы интегральных уравнений 2-го рода. Построена универсальная модификация весовой векторной оценки по столкновениям с ветвлением траектории цепи соответственно элементам матричного веса. Доказано, что трудоемкость построенного алгоритма ограничена, если ограничены базовые функционалы. Представлены результаты численных расчетов с использованием модифицированной весовой оценки для некоторых задач теории переноса излучения с учетом поляризации.

Список литературы

1. Михайлов Г. А., Медведев И. Н. Оптимизация весовых алгоритмов статистического моделирования. Новосибирск: Омега Принт, 2011. 304 с.

Численные стохастические модели временных рядов температуры с периодическими свойствами

А. М. Медвяцкая, В. А. Огородников

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: medvyatskaya@mail.ru

В докладе рассматриваются две численные стохастические модели временных рядов температуры воздуха с учетом суточной периодичности средних значений, дисперсий и корреляционной функции. Первая приближенная гауссовская модель строится по данным реальных наблюдений с использованием алгоритмов моделирования периодически коррелированного процесса на основе спектрального представления. Вторая модель строится на основе алгоритмов моделирования векторного стационарного гауссовского процесса. Для спектральной модели по данным наблюдений получена оценка спектральной плотности процесса с учетом ее суточной периодичности. Векторный стационарный процесс строится на основе выборочной матричной корреляционной функции. Проведен сравнительный анализ моделей и представлены результаты численных расчетов по их верификации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-01458-а, 16-01-00145-а, 16-31-00038-мол-а).

Способ неаналогового моделирования геометрических распределений самопоглощающих источников излучений

В. Г. Могулян

Расчетно-физический филиал АО "Инженерный центр ядерных контейнеров"

E-mail: mogulyan46@yandex.ru

Рассматривается задача оценки функционалов потока излучений самопоглощающего источника произвольной геометрической формы методом Монте-Карло. Предлагается способ розыгрыша геометрических координат частиц источника, который обеспечивает снижение дисперсий оценок для функционалов, определенных за пределами геометрической области источника. Минимизация дисперсии оценки достигается путем использования экспоненциального преобразования [1] распределения расстояния от точки рождения до точки ожидаемого вылета частицы из источника.

Разработанный алгоритм реализован в комплексе программ BRAND [2]. В докладе представлены оценки эффективности модификации на примере модельных задач, а также приведены результаты апробации на примере задачи оценки мощностей доз за пределами контейнера, загруженного отработавшим ядерным топливом.

Список литературы

1. Михайлов Г. А., Медведев И. Н. Использование сопряженных уравнений в методе Монте-Карло. Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2009.

2. Андросенко П. А., Белоусов В. И., Коньков А. В., Царина А. Г., Современный статус комплекса программ BRAND // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика ядерных реакторов. 2006. Вып. 1. С. 74–84.

Исследование бесконечнолинейной системы массового обслуживания $VMAP|GI|_{\infty}$ с заявками случайного объема

С. П. Моисеева, И. А. Кононов

Томский государственный университет

E-mail: fragilegod111@gmail.com

С конца XX века значительно стали расти IT-технологии. В связи с этим, возник ряд проблем, связанных с передачей данных по сети, оценкой загруженности линий, затратами на хранение данных. Многие из этих проблем можно разрешить, применив аппарат теории массового обслуживания. Конкретно, системы массового обслуживания с заявками случайного объема [1] имеют свое применение в задачах подобного типа. Эти системы характеризуются тем, что на прибор приходит требование случайного объема, где под объемом подразумевается случайная величина, имеющая смысл объема памяти, занимаемого требованием при обработке.

В данной работе исследуется система с входящим $VMAP$ -поток [2]. Это означает, что заявки приходят на прибор "пачками" случайного числа. Цель работы – исследовать двумерный случайный процесс числа занятых приборов и суммарного объема в системе. Были получены вид асимптотической характеристической функции и основные характеристики двумерного случайного процесса, т. е. мат. ожидание и дисперсия.

Список литературы

1. Печинкин А. В. Система $M|G|1|n$ с дисциплиной обслуживания LIFO и ограничением на суммарный объем требований // Автоматика и телемеханика, 1998. № 4. С. 106-116.

2. Назаров А. А., Моисеева С. П. Метод асимптотического анализа в теории массового обслуживания // Томск: Изд-во НТЛ. 2006. 112 с.

Исследование статистической структуры кусочно-линейных процессов на пуассоновских точечных потоках

В. А. Огородников, О. В. Сересева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: seresseva@mail.ru

В работе исследуются статистические свойства кусочно-линейных процессов на пуассоновских потоках с независимыми негауссовскими случайными величинами в пуассоновских опорных точках. Исследуются асимптотические свойства некоторых вероятностных характеристик, в частности начальных моментов данного процесса и скорости их выхода на стационарный режим.

Рассмотрен подход к вычислению корреляционной функции процесса. Представлены результаты расчета корреляционной функции по модельным выборкам. Приведена зависимость корреляционной функции процесса от времени.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-01458-а, 16-31-00123-мол-а).

Комбинированный векторный метод Монте-Карло для моделирования переноса поляризованного излучения

С. А. Роженко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: sergroj@mail.ru

Известны два векторно-весовых метода численно-статистического моделирования переноса поляризованного излучения: "адаптивный", обеспечивающий конечность дисперсии оценки интенсивности (т. е. первой компоненты вектора Стокса) и стандартный – с конечной дисперсией интенсивности для соответствующей скалярной модели. Оценка разности этих величин, т.е. влияния поляризации на интенсивность в рамках каждого из этих методов, затруднительна, т.к. альтернативные значения в этих методах имеют большую, а возможно, и бесконечную дисперсию. Поэтому разработана комбинация упомянутых методов с использованием соответствующей смеси плотностей вероятности перехода по угловой переменной. Тестовые расчёты показали практическую эффективность такой модификации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (коды проектов 16-01-00145, 16-31-00038мол) и программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33.

Stochastic simulation of GaN nanowire growth in plasma-assisted molecular beam epitaxy in vicinity of nucleation and bundling

К. К. Sabelfeld, E. G. Kablukova

Институт вычислительной математики и математической геофизики

E-mail: kablukovae@sscc.ru

This study reports on our recent results on the development of stochastic simulation model for the GaN nanowire (NW) growth by the plasma-assisted method of molecular beam epitaxy. A stochastic model suggested first in our paper [1] was of heuristic nature but raised some important questions about the nanowire height self-equilibration. In the paper [2] we have developed a direct Monte Carlo simulation algorithm based on atomic trajectory modelling starting with a preliminarily formed random ensemble of nanowires thus assuming the starting configuration is known. Simulations with this method have confirmed the self-equilibration phenomenon. In the recent study [3] performed in cooperation with a group of experimental physicists we have however found that a new phenomenon, a coalescence (bundling) of nanowires during their growth has a considerable impact on the evolution of the growing nanowires. In the present study we have included the nanowire bundling in our stochastic model. Moreover, we have suggested a stochastic model of appearance of new NW nuclei which also has been included in the model. Here we present the results of simulation with this extended stochastic model and analyze the NW growth kinetics and transformation of their radius-height distributions.

Support of the Russian Science Foundation under grant N 14-11-00083 is kindly acknowledged.

Список литературы

1. K.K. Sabelfeld, V.M. Kaganer, et al., Height self-equilibration during the growth of dense nanowire ensembles: order emerging from disorder, *Appl. Phys. Lett.* 103 (2013) 133105.
2. K.K. Sabelfeld, E.G. Kablukova, Stochastic simulation of nanowire growth in plasma-assisted molecular beam epitaxy. *Computational Materials Science*, v.125(2016), 284-296.
3. V.M. Kaganer, S. Fernandez-Garrido, P. Dogan, K.K. Sabelfeld, O. Brandt, Nucleation, growth and bundling of GaN nanowires in molecular beam epitaxy: disentangling the origin of nanowire coalescence, *Nano Lett.* 16 (2016) 3717–3725.

Стохастическое моделирование рекомбинации электронов и дырок при наличии диффузии и дрейфовой скорости, обусловленной внешними потенциалами

К. К. Сабельфельд, А. Е. Киреева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kireeva@ssd.ssc.ru

С помощью стохастического алгоритма, разработанного в [1], моделируется рекомбинация электронов и дырок в неоднородном полупроводнике при наличии диффузии и дрейфовой скорости частиц под воздействием внешнего электрического поля. Этот алгоритм является расширением стохастической модели рекомбинации частиц [2], основанной на интегро-дифференциальной системе уравнений типа Смолуховского для бимолекулярных реакций. В данной работе строится комбинированный стохастический метод, в котором взаимодействие частиц моделируется с помощью кинетического частотного метода, а линейный диффузионный и дрейфовый транспорт моделируется с помощью метода блуждания по сферам. С помощью программной реализации стохастического алгоритма рекомбинации электронов и дырок изучаются характеристики процесса в зависимости от числа Пекле, характеризующего отношение дрейфовой скорости к диффузионной, а также проводится анализ пространственно-временных распределений электронов и дырок. Работа обобщает результаты численных расчетов из [3] на случай ненулевого числа Пекле.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 14-11-00083).

Список литературы

1. Sabelfeld Karl K. Random walk on spheres algorithm for solving transient drift-diffusion-reaction problems. Monte Carlo Methods and Applications, 2017. Vol. 23, Issue 2 (принята в печать).
2. Sabelfeld K.K., Brandt O., Kaganer V.M. 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, P. 651-669.
3. Sabelfeld K.K., Kireeva A.E. Stochastic simulation of spatially separate electrons and holes recombination in 2D and 3D disordered semiconductors, Journal of Computational Electronics, published online, 2017. DOI: 10.1007/s10825-017-0961-3.

Метод случайных блужданий в моделировании субдиффузии

В. А. Селезнев, Л. В. Пехтерева, Е. В. Исаева

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: lia8@ngs.ru

Разработан метод Монте-Карло для STRW-модели процесса субдиффузии. Доказана сходимость функции концентрации, полученной методом случайных блужданий частиц, к решению уравнения динамики концентрации (функции плотности вероятности оказаться в момент t в точке x).

Разработаны численные методы решения уравнения динамики концентрации и реализация метода случайных блужданий [1, 2]. Нами доказано и экспериментально подтверждено, что стохастический метод позволяет получить функцию концентрации с любой требуемой точностью, причем стохастическое моделирование экономичнее численного решения уравнения динамики концентрации: время вычислений на порядки ниже, и требуются меньшие затраты на хранение данных.

Список литературы

1. Пехтерева Л. В., Селезнев В. А., Исаева Е. В. Моделирование субдиффузии асимптотически эквивалентными STRW-процессами. // Научный вестник НГТУ, 2013, № 3(52), С. 119–124.
2. Пехтерева Л. В., Селезнев В. А. О методе Монте-Карло для уравнения субдиффузионного процесса с дробной производной по времени. // Сборник научных трудов Sworld, 2015, Т. 21, вып. 1, С. 70–78.

Оценки статистических характеристик неоднородных метеорологических полей по выборкам малого объема

С. С. Скворцов, Н. А. Каргаполова, О. В. Сересева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: skvortsovstepan54@gmail.com

В работе приведены результаты анализа по выборкам малого объема реальных данных статистической структуры случайных полей среднесуточной приземной температуры воздуха и относительной влажности на территории Новосибирской области. Приведены результаты исследования одномерных распределений рассматриваемых полей, построены соответствующие аппроксимации аналитическими функциями. Для аппроксимации распределений температуры использованы смеси двух нормальных распределений, аппроксимация распределений влажности проведена с использованием бета-распределения. На основе специально разработанного критерия была проверена гипотеза об однородности полей по корреляциям. Полученные результаты является входными параметрами стохастической модели совместных полей среднесуточной температуры и относительной влажности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-01458-а, 16-31-00038-мол-а, 16-31-00123-мол-а) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-659.2017.1).

Новые статистические характеристики для численного анализа стохастических дифференциальных уравнений в частных производных методом Монте-Карло на суперкомпьютере

Д. Д. Смирнов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: smirnovdd@mail.ru

В данной работе проводится численный анализ стохастических дифференциальных уравнений в частных производных [1] методом Монте-Карло на суперкомпьютере. В этих уравнениях случайными могут быть, как коэффициенты, входящие в уравнения, так и внешние (аддитивные) и внутренние (мультипликативные) шумы. Также случайными могут задаваться начальные данные и граничные условия. Дается описание новых статистических характеристик [2]. Показана информативность новых статистических характеристик для описания динамики процесса, заданного стохастическим дифференциальным уравнением в частных производных. Приведены алгоритмы распараллеливания и сравнение явных и неявных методов [3] решения стохастических дифференциальных уравнений в частных производных.

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

Список литературы

1. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Изд-во МГУ, 1999.
2. С. С. Артемьев, А. А. Иванов, Д. Д. Смирнов, "Новые частотные характеристики численного решения стохастических дифференциальных уравнений", Сиб. журн. вычисл. матем., 18:1 (2015), 15–26; Num. Anal. Appl., 8:1 (2015), 13–22.
3. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука, 1978.

Масштабирование квадратных решеток с экспоненциально широким распределением кондактансов связей

О. А. Ткаченко, В. А. Ткаченко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

E-mail: vtkach@isp.nsc.ru

Вычислялись зависимости $\langle G \rangle(L)$ – усредненной по реализациям беспорядка проводимости решеток из $L \times L$ узлов ($4 \leq L \leq 500$) с распределениями кондактанса связей $g_i = F(x_i)$, где i – номер связи, x_i – случайное число из интервала $[0, 1]$, $F(x)$ – заданная функция. Перебор реализаций, т.е. векторов $\{x_i\}$, выполнялся методом Монте-Карло, а проводимость G для каждого $\{x_i\}$ находилась решением уравнений Кирхгофа. Для исследования 2D нанорешеток, в межузельных связях которых происходят переходы от классически разрешенного прохождения к туннелированию, мы выбираем $F(x)$ в виде константы, переходящей в экспоненту при некотором $x_0 < 0.5$. Расчеты выполнялись с изменением в широких пределах x_0 и коэффициента k в показателе экспонент $-k \cdot (x - x_0)$. Обнаружено, что при L меньше длины беспорядка $LD \approx 0.2k^\nu$ зависимость $\langle G \rangle(L)$ становится степенной функцией L^{-n} , здесь $\nu = 4/3$ – универсальный критический индекс перколяционного радиуса корреляции R в 2D системах. Для простых $F(x)$ (например, бинарного 0-1) превращение $\langle G \rangle(L)$ в L^{-n} при $L < R$ известно в теории перколяции. По этой теории критический индекс проводимости есть $t = n \cdot \nu$, где $t = 1.3$ для бинарного и некоторых других $F(x)$. В нашем случае LD играет ту же роль, что R при перколяции, но $1 < n(k, x_0) < 10$. Возможно, это говорит о новых вариантах неуниверсальности критического индекса t .

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-22-00143) и гранта Президента РФ (НШ-10211.2016.8).

Проекционные оценки метода Монте-Карло для исследования угловых характеристик поляризованного излучения

Н. В. Трачева, С. А. Ухинов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: tnv@osmf.ssc.ru

В данной работе представлен разработанный авторами метод Монте-Карло, основанный на проекционном разложении плотности углового распределения излучения по полиномам, ортонормальным с ламбертовским весом [1]. Данный метод применяется для численного изучения влияния параметров среды на угловые характеристики поляризованного излучения, проходящего и отраженного оптически толстым слоем рассеивающего и поглощающего вещества. Проведены расчеты компонент вектора Стокса, описывающих, в совокупности, все характеристики поляризованной волны. Исследованы угловые распределения интенсивности и степени поляризации излучения. Моделирование траектории проводилось с использованием модификаций "без поглощения" и "по рассеянию", а также использовалась локальная оценка "по направлениям". Падающее излучение может быть произвольным, в том числе, поляризованным.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-00894 а, 16-31-00123 мол_а, 17-01-00823 а).

Список литературы

1. Михайлов Г. А., Трачева Н. В., Ухинов С. А. Рандомизированный проекционный метод для оценки угловых распределений поляризованного излучения на основе численного статистического моделирования // ЖВМиМФ. 2016. Т. 56, № 9. С. 1560–1570.

Статистическое моделирование трансспектральных процессов взаимодействия света с водной средой с учетом волнения водной поверхности

О. С. Ухинова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: olsu@osmf.ssc.ru

Исследуются особенности статистического моделирования трансспектральных процессов, используемых при лазерном зондировании параметров водной среды. Произведено статистическое моделирование влияния поглощения, упругого и неупругого (комбинационного) рассеяния света, а также флуоресценции хлорофилла и растворенного органического вещества на спектральные значения коэффициента диффузного отражения R . За основу для моделирования трансспектральных процессов была взята трехкомпонентная модель ВЕО [1]. При моделировании водной поверхности использовалась "фацетная" модель Кокса-Манка [3]. Показано, что альbedo водной поверхности оказывает значительное влияние на результаты зондирования.

Список литературы

1. Д. В. Поздняков, А. В. Лясковский, Х. Грассл, Л. Петерсон Численное моделирование трансспектральных процессов (ТП) взаимодействия света с водной средой. Воздействие ТП на спектральный состав восходящего излучения // Исследование Земли из космоса, 2000, № 5, с. 3-15.
2. Р. Р. Кантер, С. М. Пригарин Численное моделирование морского ветрового волнения для исследования поля отраженного оптического излучения. //СО АН СССР, Вычислительный центр, Новосибирск, 1989.
3. Cox C, Munk W. Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the sun glitter // J. Optical. Soc. America.- 1954.-v.44, № 11.- P.838-850/

Обобщенная теория возмущений на основе вариационного интерполирования

В. В. Учайкин, Е. В. Кожемякина

Ульяновский государственный университет

E-mail: vuchaikin@gmail.com

Известно, что двойственное представление задач (через основную и сопряженную в смысле Лагранжа функцию) позволяет сформулировать эффективную версию теории малых возмущений (Л.Н. Усачёв, Г.И.Марчук, В.В. Орлов и др.), однако попытки расширить область применения путем повышения порядка теории возмущений резко усложняют процедуру решения (С.Б. Шихов и др.). В связи с этим в ряде работ были предприняты поиски альтернативных подходов. К их числу относится и наш подход [1], в котором в качестве основной ("невозмущенной") задачи предлагается выбирать не одну, а несколько. В пространстве моделей они представляют собой набор точек, для которых известны решения (в двойственном представлении). Искомое же решение ищется в виде стационарного функционала от линейной комбинации опорных решений (типа приведенного в [2]). В настоящем докладе продолжают исследования особенностей этого метода, начатые еще в [1] для однопараметрической задачи. Здесь же речь идет о стационарной диффузии в бесконечной (с поглощением) среде от плоского равномерного источника. В этой задаче два параметра (коэффициент диффузии и диффузионная длина), образующие систему координат пространства моделей. Рассматривается несколько расположений опорных точек, показываются области ограниченной значимости 0,01, 0,03, 0,10 относительной погрешности. Результаты сопоставляются с аналогичными характеристиками 1-го, 2-го, и 3-го приближений теории возмущений. Сопоставление свидетельствует о высокой эффективности предлагаемого метода.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00556).

Список литературы

1. Учайкин В. В. Метод вариационного интерполирования в ядерно-технических расчетах // Атомная энергия. 1989. Том 61, вып. 1. С. 54-55.
2. Марчук Г. И., Ордов В. В. К теории сопряженных функций// Сб. Нейтронная физика. М.: Госатомиздат, 1961. С.30-45.

The Optimal Two-Sample Test with Lifetime Data under the Wald Maximin Model of Decision Making under Risk and Uncertainty

P. Philonenko, S. Postovalov

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: petr-filonenko@mail.ru

In hypothesis testing, there are always such two alternative hypotheses A and B where one two-sample test is more preferable in the alternative A and less preferable in the alternative B than another two-sample test [1]. Hence, the most powerful two-sample test does not exist in the general case. However, the analysis of two-sample tests power by the Wald test [1] for decision making under risk and uncertainty can determine what the test is more preferable in a certain type of alternative hypotheses. We have constructed the types of alternative hypotheses and determined three two-sample tests complementing each other in terms of the test power [1]. They are Multiple Crossing [2], Monotonic Ratio [3] and weighted Kaplan-Meier [4] two-sample tests. Using test statistics of these tests, we have proposed a new two-sample test MIN3 that has the test power close to the maximum of these tests power. The proposed test is a Wald optimal test and its test power do not have the difference more than 5 % from the corresponding Wald test statistic.

This research has been supported by Russian Ministry of Education and Science as a part of the state task (project 1.1009.2017) and by Novosibirsk State Technical University as a young scientist project (project C-15, 2017).

References

1. P. Philonenko, S. N. Postovalov, Test power in two-sample problem testing as the utility function in the theory of decision making under risk and uncertainty // Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2016) : XIII International Scientific-Technical Conference, Novosibirsk, Russia, October 03-06, 2016 : v.1, p.2. – pp.369-373, 2016 ISBN 978-5-7782-2991-4.
2. Bagdonavičius V. B., Nikulin M., On goodness-of-fit tests for homogeneity and proportional hazards, Applied Stochastic Models in Business and Industry, vol. 22, no. 1, pp. 607-619, 2006.
3. Bagdonavičius V. B., J. Kruopis, M. Nikulin, Nonparametric tests for censored data, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2010, 233 pp.
4. M. S. Pepe and T. R. Fleming, Weighted Kaplan-Meier statistics: A class of distance tests for censored survival data, Biometrics 45 (1989), pp. 497-507.

Определение свойств гидравлической проницаемости пористой среды по корреляционной функции потенциала на основе стохастического метода коллокаций

И. А. Шалимова, К. К. Сабельфельд

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: ias@osmf.sgcc.ru

Настоящая работа посвящена численному нахождению параметров распределения гидравлической проницаемости пористой среды по известному распределению потенциала. В работе [1], мы использовали эффективный подход для решения стационарного уравнения Дарси со случайным коэффициентом гидравлической проницаемости на основе разложения решения в полиномиальный хаос. Коэффициенты разложения вычисляются на основе стохастического метода коллокаций. Трудоемкость полученного алгоритма определяется порядком приближения полиномиального хаоса и числом точек коллокаций. При этом точность результатов оказывается достаточной для численного разделения корреляционных функций потенциала, соответствующих различным свойствам среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 14-11-00083.

Список литературы

1. Shalimova and K. Sabelfeld. Stochastic polynomial chaos based algorithm for solving PDS with random coefficients. Monte Carlo Methods and Applications, vol.20 (2014), issue 4, 279-289.

Применение метода Монте-Карло в обратных задачах геофизики

М. И. Шимелевич¹, Е. А. Оборнев¹, И. Е. Оборнев², Е. А. Родионов²

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*

E-mail: o_ivano@mail.ru

При решении обратных нелинейных задач геофизики в последние годы эффективно применяются НС методы [1], которые основаны на аппроксимации приближенного обратного оператора задачи с помощью многослойной нейронной сети (НС аппроксиматора). Оптимизационные задачи построения (обучения) НС аппроксиматора и оценки погрешности получаемых приближенных решений ОЗ решаются с использованием методов группы Монте-Карло. [2] Для этого рассчитываются выборки решений прямых задач (порядка нескольких тысяч) для различных векторов параметров среды, которые изменяются случайным образом, и на их основе определяются оценки решений рассматриваемых оптимизационных задач. Исследуются вопросы сходимости и устойчивости получаемых оценок при увеличении объема выборки. Приводятся численные примеры, иллюстрирующие работу алгоритмов на модельных и полевых данных для задач геоэлектрики.

В работе использовались ресурсы суперкомпьютерных кластеров МВС-100К МСЦ РАН. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (код проекта № 14-11-00579, И. Е. Оборнев, НИИЯФ МГУ).

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. Модифицированный нейросетевой метод решения обратной задачи МТЗ геоэлектрики / М. И. Шимелевич, Е. А. Оборнев, И. Е. Оборнев, Е. А. Родионов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2013. № 3. С. 46–52.

Численное моделирование алмазных структур при газофазном осаждении

Е. В. Шкарупа¹, М. Ю. Плотников²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе*

E-mail: sev@osmf.ssc.ru

Метод газофазного химического осаждения широко используется для получения алмазных пленок из газовой фазы в результате химических реакций на поверхности подложки. При этом предполагается активация исходной углеродсодержащей смеси газов (в нашем случае это разложение метана и водорода на метил и атомарный водород). Одним из перспективных способов моделирования роста алмазных структур на поверхности подложки является кинетический метод Монте-Карло (КМК) [1]. Процесс роста алмазной пленки моделируется на базе трехмерной модели решеточного газа в предположении, что поток событий в системе имеет пуассоновский характер. При этом используются константы скоростей реакций, полученные на основе квантово-химических вычислений и теории переходных состояний. Предполагается, что такой подход позволяет строить "точную" математическую модель событий, происходящих на атомарном уровне в ходе химических реакций. В данной работе этот метод применяется для оценки скорости роста алмазной пленки при газоструйном осаждении из смеси метана и водорода [2]. В качестве концентраций активных радикалов газовой фазы вблизи подложки используются оценки, полученные в результате моделирования течения в цилиндрическом канале методом прямого статистического моделирования с учетом гетерогенных и газофазных реакций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-00894, 15-01-08988, 16-01-00530)

Список литературы

1. Netto A., Frenklach M. // *Diamond & Related Materials*. 2005. Vol. 14. P. 1630 – 1646.
2. Rebrov A. K., Andreev M. N., B'yadovskiy T. T., Kubrak K. V., and Yudin I. B. // *Rev. Sci. Instrum.* 2016. Vol.87. P. 103902:1-8.

Анализ стохастических осцилляторов методом статистического моделирования

М. А. Якунин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: yma@osmf.ssc.ru

С помощью метода статистического моделирования исследуется влияние винеровских и пуассоновских случайных шумов на поведение линейного осциллятора и осциллятора Ван-дер-Поля. Для линейного осциллятора получены аналитические выражения автоковариационной функции, математического ожидания и дисперсии решения стохастического дифференциального уравнения (СДУ), позволяющие исследовать оценки моментов численного решения СДУ на основе обобщенного явного метода Эйлера. Для осциллятора Ван-дер-Поля численно исследовано влияние пуассоновской составляющей на характер колебаний первого и второго моментов решения СДУ, в частности, исследованы искажения колебаний моментов в случае нецентрированной пуассоновской меры по сравнению с центрированной при большой величине скачков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта 17-01-00698 А.

Секция 4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОФИЗИКА

Электродинамика естественного электромагнитного поля и ее приложения

В. В. Аксёнов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: aksenov@omzg.ssc.ru

В докладе обсуждаются следующие проблемы.

О гидромагнитных эффектах в электромагнитном поле (ЭМП) Земли. О пределах применимости электродинамик Максвелла, Паркера, прикладного геомагнетизма. Определение несилловых и силовых ЭМП. Теоремы существования несилловых и силовых ЭМП. Теорема об источнике несилловых и силовых ЭМП. Теорема о восстановлении гидромагнитных полей по данным о нормальной компоненте магнитного поля на сфере. Теорема о полном разделении ЭМП на Земле. Приложения теории несилловых и силовых ЭМП к наблюдаемым данным двух МГТ и всемирной магнитной съемке. Источники Главного геомагнитного поля и спокойных солнечно-суточных вариаций (Sq-вариаций). О сверхглубинном зондировании Земли полем Sq-вариаций. Об эффекте Ааронова – Бома. О неустойчивости горячей плазмы в токамаках. О несилловом магнитном поле токов смещения в конденсаторах.

Суррогатное моделирование разработки нефтяных месторождений при забойном давлении ниже давления насыщения

И. В. Афанаскин, С. Г. Вольтин, П. В. Ялов

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН

E-mail: aivlife@yandex.ru

Доминирующий метод разработки месторождений нефти в РФ - заводнение. Большинство месторождений находятся на третьей или четвертой стадии разработки; в продукции добывающих скважин много воды. Необходимо решать задачи по контролю и регулированию разработки. Для быстрого оценочного решения этих задач предлагается двухфазная модель фильтрации нефти и воды на базе концепции суперэлементов [1] и полностью явная численная схема. Для моделирования работы скважин использована формула Фетковича [2]. Показано, что использование формулы Фетковича (по сравнению со стандартной формулой Дюпюи, не учитывающей влияние газа) существенно уточняет показатели работы отдельных скважин.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16–29–15135).

Список литературы

1. Афанаскин И.В., Егоров А.А., Колеватов А.А. Экспресс-моделирование заводнения нефтяных месторождений с помощью концепции суперэлементов // Вестник кибернетики, № 2(22), 2016. – с. 153-163.
2. Корнаева Д.А. Совершенствование методов гидродинамических исследований скважин, работающих при забойном давлении ниже давления насыщения // Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: ОАО "ВНИИнефть", 2015. – 109 с.

Вычислительные методы дистанционной диагностики свойств рассеивающего дифракционного экрана в задачах математической геофизики

С. Ю. Белов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: Belov_Sergej@mail.ru

Предложен новый некогерентный метод оценки параметра сигнал/шум. Выполнен сравнительный анализ и показано, что по аналитической (относительной) точности определения этого параметра новый метод на порядок превосходит широко используемый стандартный и одного порядка с известной когерентной методикой [1–3].

Список литературы

1. Белов С. Ю. Экспериментальное исследование характеристик когерентной и некогерентной обработки информации при дистанционном зондировании атмосферы и “шероховатой” земной поверхности в коротковолновом диапазоне радиоволн. // "Изв. ВУЗ Физика". 2016. Т.59. №12-3. ISSN 0021-3411. С.121-124.
2. Belov S. Yu. The analysis of monitoring data of the parameter scattering power the earth's surface in the short-wave range of radio waves. // Иссл. по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН. eISSN 2308-5983. Т.4. №2. 2016. С.50.
3. Белов С. Ю. Программа регистрации квадратурных компонент n кратного отражённого от земной поверхности радиосигнала. Свидетельство о регистрации права на программное обеспечение №RU.2016612172 от 19.02.2016г.

Разрушение решения одной начально-краевой задачи для системы уравнений несжимаемых двухскоростных сред

А. С. Бердышев¹, Х. Х. Имомназаров²

¹*КНПУ им. Абая*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

E-mail: imom@omzg.ssc.ru

Разрушение решения одной начально-краевой задачи для системы уравнений несжимаемых двухскоростных сред

Уравнения гидродинамики и их различные обобщения являются одним из основных инструментов описания нелинейных волн в макроскопической физике. В докладе рассматривается начально-краевая задача для систем вязких двухжидкостных сред с равновесием фаз по давлению. С помощью метода пробных функций, предложенного в работах С. И. Похожаева и Э. Митидиери, исследуется влияние граничных и начальных условий на появление, время и скорость разрушения решений этих задач.

Численное усреднение и многомасштабные методы для моделирования упругих волн в трещиноватых пористых средах

М. В. Васильева

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова

E-mail: vasilyevadotm@gmail.com

В работе рассматривается математическое моделирование распространение упругих и вязкоупругих волн через трещиноватые пористые среды [1]. Для моделирования трещин используется интерфейсное условие (linear slip interface model, LSM), которое описывает взаимодействие упругих волн с трещинами [2-4]. Поскольку трещины могут характеризоваться большим разнообразием масштабов, а их разрешение на сеточном уровне ведет к увеличению размерности дискретной задачи, то для таких задач необходимо использовать те или иные методы усреднения для нахождения эффективных характеристик и/или многомасштабные методы.

Для мелкомасштабных трещин относительно длины волны, в данной работе мы используем метод численного усреднения для вычисления эффективных характеристик для некоторого репрезентативного объема (REV). Далее для более крупных трещин и последующего уменьшения размерности задачи, мы используем многомасштабный метод конечных элементов [5,6]. Результаты представлены для волнового уравнения в частной области (уравнения Гельмгольца) для упругой и вязкоупругой среды при наличии разномасштабных трещин.

Работа выполнена при финансовой поддержке мега-гранта Правительства РФ (номер гранта 14.Y26.31.0013) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-9613.2016.1).

Список литературы

1. Biot M. A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low-frequency range //The Journal of the acoustical Society of america. – 1956. – Т. 28. – №. 2. – С. 168-178.
2. Nichols D., Muir F., Schoenberg M. Elastic properties of rocks with multiple sets of fractures //SEG Technical Program Expanded Abstracts 1989. – Society of Exploration Geophysicists, 1989. – С. 471-474.

3. Schoenberg M., Sayers C. M. Seismic anisotropy of fractured rock // *Geophys.* 1995. Т. 60. №. 1. P. 204-211.
4. Carcione J. M., Santos J. E., Picotti S. Fracture-induced anisotropic attenuation // *Rock mechanics and rock engineering.* – 2012. – Т. 45. – №. 5. – С. 929-942.
5. Chung E. T., Efendiev Y., Gibson R. L., Vasilyeva M. A generalized multiscale finite element method for elastic wave propagation in fractured media // *GEM-Intern. J. on Geomathematics.* 2016. Т. 7. №. 2. С. 163-182.
6. Cho Y., Vasilyeva M., Efendiev Y., Gibson R. Simulation of elastic wave propagation in fractured media with multiscale finite elements // *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2016.* – Society of Exploration Geophysicists, 2016. – С. 4003-4007.

Моделирование нестационарных трехмерных тепловых полей в грунте от различных инженерных объектов функционирующих в зоне распространения вечной мерзлоты

Н. А. Ваганова, М. Ю. Филимонов

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

Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина

E-mail: fmy@imm.uran.ru

Для исследования процесса растепления многолетнемерзлых пород от различных инженерных объектов, функционирующих в арктических районах, предложена новая трехмерная модель теплового взаимодействия в системе "источник тепла-грунт" с учетом различных физических и климатических факторов, влияющих на распространения тепла [1]. Приведены численные расчеты, иллюстрирующие возможность разработанного комплекса программ для проведения долгосрочных прогнозов по определению изменения границ распространения зон вечной мерзлоты на примере эксплуатации добывающих скважин на северных нефтегазовых месторождениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00401) и программы УрО РАН 15-16-1-10.

Список литературы

1. M.Yu. Filimonov, N.A. Vaganova. Simulation of permafrost changes due to technogenic influences of different engendering constructions used in northern oil and gas fields // *Journal of Physics: Conference Series.* 2016. Vol. 754. № 112004.

Initial tsunami source estimated by inversion with intelligent selection of tsunami waveforms data recorders for the 2015 Illapel Chile Tsunami

T. A. Voronina

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: vta@omzg.sscs.ru

A method based on the least square inversion and a truncated SVD approach for estimating the initial tsunami source is proposed. This technique is independent of the earthquake parameters, because there are used only recorded tsunami waveforms and a series of spatial harmonics as auxiliary basis functions, instead of a fault model. The method proposed suppresses the negative effect of the ill-posedness of the problem determining the inevitable instability of the numerical solution. The analysis of the singular spectrum of the matrix obtained in the cause of the numerical calculations allows estimating a future inversion by a certain observational system and provides the selection of a more effective part of the monitoring system that increases the accuracy, and the model's ability to reveal the underlying physical nature associated with the tsunami-generating processes. In this paper, the method proposed was applied to the Illapel Chile Tsunami of 16 September 2015.

References

1. Voronina T.A., Romanenko A.A. The New Method of Tsunami Source Reconstruction With r-Solution Inversion Method // *Pure Appl. Geophys.* (2016) 173, Issue 12, pp 4089-4099.
2. Lavrentiev M.M, Romanenko A.A., Lysakov K.F. Modern Computer Architecture to Speed-Up Calculation of Tsunami Wave Propagation" // *Proc. of the Eleventh (2014) Pacific/Asia Offshore Mech. Symp. Shanghai,*

Разработка программных средств постоянно действующего мониторинга для задач управления процессами разработки и эксплуатации месторождений углеводородов

Г. Н. Ерохин¹, К. С. Алсынбаев^{1,2}, В. М. Брыксин², В. В. Савеленко², В. И. Строков², А. В. Козлов², М. В. Козлов²

¹НИИ прикладной информатики и математической геофизики БФУ им. И. Канта

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Рассмотрена технология постоянного мониторинга состояния месторождений углеводородов (УВ) (MicroseismicPRM), включающая мониторинг мероприятий по интенсификации добычи УВ и мониторинг процессов, протекающих между этими мероприятиями. Технология включает определение параметров микросейсмических событий на основе решения обратных задач с последующим применением пространственно-временной фильтрации полученных событий и определением тензоров сейсмических моментов.

Представлены алгоритмы моделирования и определения численных характеристик образований в виде полигонов и граничных фигур. Все модули объединены в единый вычислительный комплекс. Графический пользовательский интерфейс позволяет интерактивно редактировать вычислительные процессы, представленные в форме ациклического графа обработки. Счётные модули работают на удаленном суперкомпьютере, а управление и 3D-визуализация осуществляются на персональных рабочих станциях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-29-15090 офи_м, 16-07-00684 А).

Моделирование динамических задач для насыщенных минерализованной жидкостью пористых сред

Х. Х. Имомназаров, А. А. Михайлов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: imom@omzg.sgcc.ru

Исследование влияния минерализации на динамические свойства гетерофазных сред, на характер фильтрации и распространение акустических волн в пористых средах является актуальным для широкого класса прикладных задач.

В данной работе для моделирования волновых полей в насыщенных минерализованной жидкостью пористых средах используется система динамических уравнений теории двухскоростного континуума с учетом примесей. При численном моделировании данная система сводится к двум последовательно решаемым системам. А именно, сначала решается система динамических уравнений пороупругости, а затем решается уравнение для концентрации растворов. Другими словами, учитывая обратное влияние концентрации растворов на распространения сейсмических волн в пористой среде. Численное моделирование волновых полей в данной среде позволяет объяснять наблюдаемые эффекты распространения сейсмических волн с учетом минерализации насыщающей жидкости.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№16-01-00729).

Анализ радарограмм опытного образца георадара на мишенях в лабораторных и полевых условиях

К. Т. Искаков, С. А. Боранбаев, А. Т. Кусаинова, О. Туенбаев

Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева (Казахстан)

E-mail: ainurkussainova89@gmail.com

В работе представлены результаты проведения тестовых экспериментов с опытным георадаром [1] для определения максимальной глубины зондирования и разрешающей способности при различных частотах зондирующего импульс на искусственных мишенях в лабораторных условиях [2]. Проведена диагностика глубины зондирования опытного образца георадара на основе известных инженерно-технических приемов [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и наук Республики Казахстан по договору № 266 от 09.03.2017 года.

Список литературы

1. Искаков К. Т., Боранбаев С. А., Туенбаев О., Грамыка А., Ұзаққызы Н. Технические характеристики и основные компоненты опытного образца георадиолокационной системы // Вестник ЕНУ им. Л. Н. Гумилева. - 2016. - №6.
2. Искаков К. Т., Кусаинова А. Т., Научно-технические основы систем георадиолокации // Материалы международной научной конференции "Информатика и прикладная математика", посвященной 25-летию Независимости Республики Казахстан и 25-летию Института информационных и вычислительных технологий. 21-24 сентября 2016. - г. Алматы 2016. – С. 269-275.
3. Турарова М. К., Пархоменко А. В., Оралбекова Ж. О., Жумажанов Б. Ж., Жунусов К. Д. Инженерно-технические приемы определения глубины зондирования опытного образца георадиолокационной системы // Вестник ЕНУ им. Л. Н. Гумилева. - 2016. - № 6.

Кратномасштабный вейвлет-анализ трассы радарограммы

К. Т. Искаков, С. А. Боранбаев, Н. Ұзаққызы
Евразийский университет им. Л. Н. Гумилева (Казахстан)
E-mail: nura_astana@mail.ru

Основная область применения вейвлетных преобразований – анализ и обработка сигналов и функций, нестационарных во времени или неоднородных в пространстве, когда результаты анализа должны содержать не только частотную характеристику сигнала (распределение энергии сигнала по частотным составляющим), но и сведения о локальных координатах, на которых проявляют себя те или иные группы частотных составляющих или на которых происходят быстрые изменения частотных составляющих сигнала [1].

Дискретное вейвлет преобразование радарограммы получают применением набора фильтров. Сначала радарограмма x пропускается через низкочастотный (НЧ) фильтр с импульсным откликом g , и получается свёртка.

Одновременно сигнал раскладывается с помощью высокочастотного (ВЧ) фильтра h . В результате получают детализирующие коэффициенты (после ВЧ-фильтра) и коэффициенты аппроксимации (после НЧ-фильтра). Типовой метод подавления шумов – удаление высокочастотных составляющих из спектра сигнала. Применительно к вейвлетным разложениям это может быть реализовано непосредственно удалением детализирующих коэффициентов высокочастотных уровней [2].

Объектом исследования является железная бочка диаметром 59 см, закопанная на глубине 220 см. Результатом георадиолокационного обследования является набор одиночных трасс (сигналов), зарегистрированных приемной антенной при каждом положении георадара.

На основании проведенного анализа существующих подходов к очищению сигналов георадара в качестве математического аппарата выбран кратномасштабный вейвлет-анализ, применение которого позволяет выделить и сохранить локальные особенности сигналов георадара. Проведенные исследования показали, что наилучший результат дает вейвлеты Добеши db2.

Работа поддержана грантом МОН РК по договору №266 от 09.03.2017 года.

Список литературы

1. Владов М. Л., Старовойтов А. В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. – М.: Издательство МГУ, 2004.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001.

Моделирование распространения сейсмических волн для упругих сред с существенно неоднородным распределением значений параметров

Д. А. Караваев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kda@opg.sccc.ru

Рассматривается решение задачи численного моделирования распространения упругих волн в двумерно неоднородных средах с использованием разностного метода [1]. В работе проводится исследование работы численного алгоритма [2] на различных модельных примерах. Разработана программа для проведения расчетов сейсмических полей на графических устройствах. Представлены результаты восстановления геометрии и распределения значений упругих параметров по разреженным данным, а также теоретические результаты расчетов поля сейсмических волн для рифтовой зоны. Моделирование проводилось с использованием вычислительных ресурсов центра коллективного пользования Сибирского суперкомпьютерного центра.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-07-06821, 16-07-01052, 17-07-00872).

Список литературы

1. Levander A. Fourth-order finite difference P-SV seismograms // *Geophysics*, 53, 1988 p. 1425-1436
2. Moczo P., Robertsson J., Eisner L. The finite-difference Time-Domain Method for Modeling of Seismic Wave propagation // *Advances in Geophysics*, Vol. 48, 2007. p. 106

Решение обратной кинематической задачи сейсмоки с помощью минимизации энтропии Гаусса и Шеннона в пространствах L_p , $p < 1$

А. В. Кириленко

Новосибирский государственный университет

E-mail: alexkirnsu@gmail.com

Данная работа посвящена исследованию методов решения обратной кинематической задачи сейсмоки (ОКЗ) в случае, когда восстанавливаемая скоростная модель среды имеет разреженную структуру. Исходя из сделанного предположения о строении среды, предлагается решать задачу путем минимизации энтропии Гаусса и Шеннона в пространствах L_p , где $p < 1$. Минимизация осуществляется с помощью алгоритма FOCUSS [1-2].

Список литературы

1. Rao B.D., Kreutz-Delgado K. An Affine Scaling Methodology for Best Basis Selection // *IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING*. 1999. VOL. 47, NO. 1, pp. 187-200
2. Engan K., Rao B.D., Kreutz-Delgado K. Regularized FOCUSS for subset selection in noise // *NORSIG* 2000, Sweden, June 2000, pp. 247-250.

Особенности расчета процесса вытеснения нефти газом с применением параллельной версии программы для моделирования многокомпонентной фильтрации

А. В. Королев¹, В. А. Бахтин², Н. В. Поддерюгина²

¹*Научно-исследовательский Институт системных исследований РАН*

²*Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН*

E-mail: alexandre.korolev@mail.ru

Изучение процессов вытеснения нефти, протекающих при закачке в пласт двуокиси углерода, азота, газов высокого давления немислимо без применения композиционных моделей фильтрации. Система дифференциальных уравнений в частных производных решается с применением численного метода неявного по давлению и явного по составу (мольной плотности). Расчет равновесных составов фаз выполняется с применением эффективного алгоритма, основанного на использовании метода с минимумом переменных [1], позволяющего надежно рассчитывать варианты вытеснения со смесимостью вытесняющего и вытесняемого агентов.

Данный подход к решению задач многокомпонентной многофазной изотермической фильтрации реализован в виде численной трехмерной модели и программы на языке Фортран-DVMH [2]. Оценка эффективности различных реализаций параллельной версии программы с использованием DVM-системы выполнялась на расчетах вариантов разработки нефтяной залежи системой добывающих и нагнетательных скважин при закачке в пласт "сухого" газа и "жирного" (обогащенного промежуточными фракциями) газа [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16–29–15105 офи_м).

Список литературы

1. Королев А. В. Моделирование фазовых равновесий многокомпонентных систем с использованием уравнений состояния. Сб. трудов ВНИИ №87, 1984, с.78-87.
2. Бахтин В. А. , Клинов М. С. , Крюков В. А. и др. Расширение DVM-модели параллельного программирования для кластеров с гетерогенными узлами // Вестник Южно-Уральского университета, Серия "Математическое моделирование и программирование", Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012, №18 (277), Выпуск 12, с. 82-92.
3. Бахтин В. А. , Королёв А. В. , Поддерюгина Н. В. Создание параллельной версии программы для моделирования многокомпонентной фильтрации при разработке месторождений нефти и газа с использованием DVM-системы. Доклад на XVI международной конференции "Супервычисления и математическое моделирование", 3 – 7 октября 2016 г. в г. Сарове, Тезисы докладов, с.27-28.

Применение метода граничных интегральных уравнений для моделирования и инверсии данных электромагнитного каротажа в двумерных моделях среды

Д. Ю. Кушнир, Г. В. Дятлов, Е. А. Коркунова, Ю. А. Дашевский
ЗАО "Бейкер Хьюз"
E-mail: dmitry.kushnir@bakerhughes.com

Для определения электродинамических параметров и геометрических характеристик геологического разреза широко используются приборы электромагнитного зондирования прискважинной зоны. Современные приборы позволяют делать достаточно большое количество измерений за счёт увеличения пар источник-приёмник и количества рабочих частот. Совместная интерпретация результатов измерений является актуальной проблемой.

Наиболее распространённым способом интерпретации данных является поинтервальная инверсия в рамках слоистой 1D модели среды с плоскопараллельными границами [1]. В сложных геологических условиях, например, в случае выклинивания пласта, сброса пласта, субвертикального разлома или стратиграфического несогласия 1D модель недостаточна для корректного описания среды [2]. В таких ситуациях предлагается использовать 2D или 3D геоэлектрические модели.

В данной работе описываются алгоритмы для прямого численного моделирования результатов измерений приборов и решения обратной задачи восстановления модели среды по данным каротажа в рамках 2D модели. В основе решения прямой задачи лежит метод граничных интегральных уравнений [3]. Для решения обратной задачи используются методы оптимизации Нелдера-Мида [4] и DiRect [5]. Приведён ряд синтетических примеров.

Список литературы

1. Sviridov M., Mosin A., Antonov Yu., Nikitenko M., Martakov S., Rabinovich M. New Software for Processing of LWD Extradep Resistivity and Azimuthal Resistivity Data // SPE Reservoir Evaluation & Engineering. – 2014. – V. 17. – P. 109–127.
2. Dupuis C., Omeragic D., Chen Y.-H., and Habashy T. Inversion-based workflow to image faults crossed by the wellbore using deep directional resistivity provides new way of understanding complex formations // SPWLA 55th Annual Logging Symposium, Abu Dhabi, UAE, May 18-22, 2014. – SPWLA-2014-WWW.
3. Dyatlov G., Kushnir D., and Dashevsky Yu. Treatment of singularity in the method of boundary integral equations for 2.5D electromagnetic modeling // Geophysics. – 2017 (accepted).

4. Conn A. R., Scheinberg K., Vicente L. N. Introduction to Derivative-free Optimization. – SIAM, 2009 – Engineering mathematics – 277 p.
5. Jones D. R., Perttunen C. D., and Stuckmann B. E. Lipschitzian optimization without the lipschitz constant // Journal of Optimization Theory and Applications. – 1993. – Vol. 79 (1). – P. 79–157.

О дифференциальных законах сохранения и других формулах для уравнения эйконала

А. Г. Меграбов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: mag@sscc.ru

Уравнение эйконала является основной математической моделью в кинематической сейсмике и геометрической оптике. Рассматривается трехмерное уравнение эйконала для скалярного поля времен $\tau(x,y,z)$ в неоднородной изотропной среде с показателем преломления $n(x,y,z)$. Найдены дифференциальные законы сохранения для этого уравнения различного порядка. Т.е. найдены дивергентные тождества, в левой части которых стоит дивергенция некоторого векторного поля, а в правой – нуль. Векторное поле, стоящее под знаком дивергенции, выражается либо через решение τ уравнения эйконала (поле времен) и показатель преломления n , либо через классические геометрические характеристики лучей – их орты Френе (единичные векторы касательной, главной нормали и бинормали), кривизну и кручение, либо через классические геометрические характеристики фронтов – их нормаль, главные кривизны, главные направления, гауссову и среднюю кривизны. В конечном итоге все величины могут быть выражены либо через поле времен τ , либо через единичный касательный вектор луча, либо через единичную нормаль к фронту. Представлены формулы, связывающие геометрические характеристики лучей и фронтов, а также выражения для гауссовой и средней кривизны фронтов. Обсуждаются приложения полученных формул. Все формулы найдены на основе общих геометрических формул (дифференциальных законов сохранения и других формул), полученных автором для семейств произвольных гладких кривых и семейств произвольных гладких поверхностей. В двумерном случае найденные формулы переходят в результаты, представленные автором в статьях в Докладах РАН: 2004, т. 395, № 2; 2009, т. 424, № 5; 2010, т. 433, № 3, 4; 2011, т. 441, № 3.

Численное моделирование сейсмических волновых полей в трещиноватых средах: анализ проявления связности и флюидонасыщенности трещин.

М. А. Новиков, В. В. Лисица

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

E-mail: NovikovMA@ipgg.sbras.ru

Прохождение сейсмических волн через среду с системой трещин, заполненных высокопористым материалом, при наличии в трещинах флюида приводит к возникновению потоков, индуцированных этими волнами [1]. Для численного моделирования распространения сейсмических волн в поропругой флюидонасыщенной трещиноватой среде построена конечно-разностная схема, аппроксимирующая динамическую систему уравнений Био [2]. По результатам проведенных численных экспериментов для анализа проявления связности и флюидонасыщенности трещин получены частотно-зависимые фазовая скорость и затухание волны.

Расчеты проводились на кластере НВС-30К Сибирского суперкомпьютерного центра и на кластере "Ломоносов" МГУ.

Работа поддержана грантами РФФИ № 16-05-00800, 17-05-00579, 17-05-00250.

Список литературы

1. Rubino J.G., Qi Q., Müller T.M. Incorporating capillarity into models for P-wave attenuation and dispersion in partially saturated rocks // SEG Technical Program Expanded Abstracts 2014, edited. – 2014. – P. 2936–2940.
2. Biot M.A. Theory of propagation of elastic waves in fluid-saturated porous solid. I. Low-frequency range // Journal of the Acoustical Society of America. – 1956. – Vol. 28. – P. 168–178.

Численное моделирование импульсного источника поперечных волн с использованием преграды

Н. Е. Сибиряков¹, Е. Б. Сибиряков²

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука*

E-mail: kolyasibir@yandex.ru

В работе численно исследовалась эффективность импульсного возбуждения поперечной упругой волны с использованием барьера в ближней зоне. Давление на стенки вычислялось с помощью итерационного метода решения уравнения Лапласа. Перемещение, в дальней зоне (в упругой среде), находилось с помощью модифицированного метода граничных элементов в достаточно широком диапазоне частот. Расчёт давлений на стенки показал слабое изменение максимальной разности давлений на противоположные стенки при увеличении количества зарядов. При этом наибольшее отношение давлений на противоположные стенки достигалась в случае одного заряда, помещённого между барьером и ближайшей стенкой ямы. Результаты вычислений вектора перемещений на некоторой глубине в полубесконечной среде показывают преобладание сдвиговой компоненты вектора перемещений в некотором диапазоне частот. Можно сделать вывод о перспективности использования барьеров для возбуждения поперечных волн в обводнённых грунтах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-05-04165).

Эффективные коэффициенты для задачи распространения упругих волн в двухмерной случайной фрактальной среде

О. Н. Соболева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: Olga@nmsf.sccc.ru

В геофизической неоднородной среде, как правило, координаты мелкомасштабных неоднородностей точно неизвестны. По этой причине физические параметры среды описываются статистическими полями. Лабораторные исследования кернов и полевые измерения показали, что в сильно неоднородных средах увеличивается разброс параметров среды, если масштаб измерений уменьшается. Этот факт привел многих исследователей к пониманию того, что такие среды хорошо описываются случайными фрактальными полями [1]. В настоящей работе с помощью метода подсеточного моделирования получены уравнения для эффективных коэффициентов в уравнениях для упругих волн, если модуль параметра среды аппроксимируется непрерывными мультипликативными каскадами с логарифмически нормальным распределением. Предполагается, что длина волны много больше максимального масштаба неоднородностей среды. Волны возбуждаются источником с доминантной частотой. Полученные теоретические результаты сравниваются с результатами прямого численного моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-01-01458).

Список литературы

1. Sahimi M. Flow phenomena in rocks: from continuum models, to fractals, percolation, cellular automata, and simulated annealing. *Rev Modern Phys.* 1993 V. 65, P. 1393–1534.

Алгоритмы численного трёхмерного моделирования задач магниторазведки

И. В. Суродина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: sur@ommfaol.sccc.ru

В работе рассмотрены параллельные алгоритмы для реализации на графических процессорах прямых трёхмерных задач магниторазведки.

Используется конечно-разностный метод решения, который приводит к большим, разреженным, плохо обусловленным матрицам. Соответствующие системы линейных алгебраических уравнений решаются итерационными методами.

Важную роль в этом процессе имеет преобуславливание. Для получения максимального ускорения для GPU-реализации требуется полная параллелизация как построения преобуславливателя, так и последующее решение полученной переобусловленной системы.

В работе использован оригинальный полностью параллельный алгоритм, построенный с помощью метода Хотеллинга-Шульца.

К исследованию поведения составных покрытий при вибрационных воздействиях

И. С. Телятников

ФГБУ Н Южный научный центр Российской академии наук

E-mail: ilux_t@list.ru

Разработка новых методов прогноза региональной сейсмичности требует изучения медленной подготовки сейсмического события, проявляющейся в изменении напряженно-деформированного состояния геологических структур. Работа посвящена исследованию взаимодействия двумерных пластин на деформируемом трехмерном основании, моделирующих литосферные плиты, контактирующие вдоль прямолинейного разлома.

Несмотря на универсальность топологического метода блочного элемента [1], для случая прямолинейных и плоских границ, когда краевые задачи для двух полуограниченных пластин на трехмерном основании рассматриваются в качестве моделей разноразмерной блочной структуры под действием локализованной поверхностной нагрузки (гармонической или стационарной), можно использовать упрощенный метод. Задачи сводятся к решению систем нагруженных уравнений Винера – Хопфа для Фурье-образов амплитуд контактных напряжений между подложкой и покрытием [2]. Разработанный метод позволяет определить основные характеристики напряженно-деформированного состояния рассматриваемой блочной структуры при различных условиях контакта пластин на разломе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-31-00067_мол).

Список литературы

1. Бабешко В. А., Бабешко О. М., Евдокимова О. В. Блочные элементы в теории плит сложной формы // Известия РАН. МТТ. 2012. № 5. С. 92–97.
2. Телятников И. С. К моделям и методам изучения взаимодействия литосферных структур в области разломов // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС). 2016. № 2. С. 78–89.

Применение геоинформационной системы ITRIS для моделирования и прогноза сейсмического режима Казахстана

А. Т. Турарбек

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

E-mail: turarbek_asem@mail.ru

Различные природные условия республики Казахстан предопределяют значительную ее подверженность природным катастрофам. Угрозе разрушительных землетрясений постоянно подвержены Алматинская, Восточно-Казахстанская, Жамбылская, Южно-Казахстанская области и г. Алматы. По данным Министерства по чрезвычайным ситуациям, землетрясения занимают первое место среди опасных стихийных бедствий для Казахстана. В сейсмически опасной зоне расположено 27 городов и более 400 населенных пунктов [1, 2].

Применение геоинформационной системы ITRIS (Integrated Tsunami Research and Information System) для моделирования сейсмического режима Казахстана позволит визуально увидеть и оценить возможные разрушения и последствия землетрясений. Геоинформационная система ITRIS используется для предупреждения, анализа, оценки риска и последствий природных и техногенных катастроф.

Она основывается на геоинформационных технологиях и включает в свой состав:

- специализированные базы данных. В программе есть возможность пополнения баз данных, что позволит включать новые каталоги и картографическую информацию.
- программные компоненты для динамического разномасштабного трехмерного моделирования, а также для визуализации и анализа геоданных.
- инструменты для обработки и анализа данных. В комплексном использовании новейших математических методов моделирования землетрясений выполняется решение прямых и обратных задач математической физики [3, 4].

Список литературы

1. Садыкова А. Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. Алматы, 2012
2. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. Алматы: Наука, 2004
3. С. И. Кабанихин, О. И. Криворотко, И. В. Маринин Трехмерная ГИС анализа и оценки природных и техногенных катастроф. Предварительный оперативный анализ и оценка последствий природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. Новосибирск, 2013.
4. Сайт X Всероссийской конференции "Проблемы мониторинга окружающей среды" (ЕМ-2009) [Электрон. ресурс]. URL: <http://conf.ict.nsc.ru/EM-2009/ru/reportview/2582> (дата обращения: 05.01.2017). И. В. Маринин, С. В. Елецкий, В. В. Чесноков Использование IMP.ITRIS для предварительного и оперативного исследования землетрясений и оценки их последствий.

Устойчивое аналитическое решение для волновых полей в шаре произвольного размера

А. Г. Фатьянов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: fat@nmsf.sccc.ru

В работе рассматривается задача построения устойчивого аналитического решения для волновых полей в слоистом шаре произвольного размера. Метод построения аналитического решения для волновых полей в шаре давно известен. После известных преобразований Фурье – Лежандра искомая постановка сводится к двухпараметрическому семейству краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Решение искомой задачи в каждом сферическом слое находится в виде линейной комбинации функций Бесселя [1]. Далее неизвестные коэффициенты определяются из известных условий сопряжения на границе слоев. В итоге для их определения получается матричная система линейных уравнений. Поскольку функции Бесселя разных типов быстро стремятся к нулю и бесконечности, возникает неустойчивость. Причем чем больше радиус шара в относительных величинах (длинах волн), тем быстрее они возникают. В этой ситуации вычисление на компьютере становится неустойчивым.

Устойчивое аналитическое решение построено на основе сведения краевой задачи к двум задачам Коши. Получено явное решение соответствующего нелинейного уравнения Риккати. Далее для построения решения используется новая асимптотика цилиндрических функций, полученная в [2]. Это дает устойчивое аналитическое решение для волновых полей в неоднородном шаре произвольного размера.

Приведены результаты расчетов волновых полей для Земли с реальными параметрами.

Список литературы

1. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. Москва: Наука, 1977.
2. Фатьянов А. Г. Устойчивое аналитическое решение для волновых полей в шаре // Математические заметки СВФУ. 2016. Т. 23, № 3. С. 91-103.

Поточные алгоритмы в активной сейсмологии

М. С. Хайретдинов, Г. М. Воскобойникова, Г. Ф. Седухина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: marat@opg.sccc.ru

Внедрение методов активной сейсмологии в задачах мониторинга окружающей среды [1] с применением сетевых технологий сбора и анализа данных во многом предопределяет применение

алгоритмов оперативного анализа данных в темпе их поступления (on-line). С этим связана необходимость создания поточных алгоритмов, как, например, корреляционной свертки, спектрально-временного накопления полезных сигналов на фоне многократно превосходящих шумов и др. В вычислительном плане это означает переход к рекуррентным алгоритмам, в которых вычисляемая оценка параметров сигнала уточняется по мере увеличения объема его выборочных значений.

В работе предлагаются алгоритмы подобного типа для обработки вибрационных сейсмических и акустических сигналов и обсуждаются результаты их применения в активной сейсмологии, основанной на вибрационном просвечивании сред "земля-атмосфера" зондирующими колебаниями с высокими метрологическими характеристиками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты № №17-07-00872-а, 16-07-01052-а.

Список литературы

1. Алексеев А. С., Глинский Б. М., Ковалевский В. В., Хайретдинов М. С. и др. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками /Отв. ред. Г. М. Цибульчик. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал "Гео" Издательства СО РАН, 2004. С. 387.

Численные алгоритмы двухлучевой акустооптической обработки данных геофизического мониторинга

М. С. Хайретдинов¹, Б. В. Поллер²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт лазерной физики СО РАН

E-mail: marat@opg.ssc.ru

Рассматривается проблема геофизического мониторинга окружающей среды. В интересах ее предложены и проанализированы численные алгоритмы совмещенного анализа данных акустических и оптических наблюдений. Решаются задачи повышения азимутальной разрешающей способности по направлению прихода акустических волн от техногенных и природных источников и увеличения помехоустойчивости обработки данных.

Численное моделирование конвекции в мантии Земли

В. В. Червов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

E-mail: elixirexpo@yandex.ru

Выполнено численное моделирование тепловой конвекции с применением трехмерной численной модели конвекции в мантии Земли, основанной на системе уравнений Навье – Стокса в приближении Обербека – Буссинеска и геодинамическом приближении. Построены температурные поля, найдены скоростные режимы конвективных течений под внутриконтинентальными областями и под океанической литосферой в зонах спрединга и субдукции.

Трехмерное численное моделирование конвекции под Евразийским континентом в сферических координатах

В. В. Червов, Н. А. Бушенкова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

E-mail: elixirexpo@yandex.ru

Выполнено численное моделирование тепловой конвекции с применением трехмерной численной модели конвекции в мантии Земли, основанной на системе уравнений Навье – Стокса в приближении Обербека – Буссинеска и геодинамическом приближении. Построены температурные поля, найдены скоростные режимы конвективных течений под внутриконтинентальной областью Евразии, в которую входят в виде литосферных блоков Русская платформа, Западно-Сибирская плита, Сибирская платформа, Центрально-Азиатский складчатый пояс, Тувинский комплекс микрократонов, Тарим, Китайские платформы, Индийская и Аравийская плиты.

Секция 5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ, ОКЕАНА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Численное моделирование неустановившегося движения воды в дельте р. Лена

Е. А. Антипова¹, А. И. Крылова²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: alla@climate.ssc.ru

В рамках одномерной постановки задачи рассматривается моделирование неустановившегося движения воды в открытых руслах дельты реки Лена в гидравлическом приближении. Численное решение уравнений Сен-Венана для многорукавной устьевой области р. Лена основано на использовании одномерного математического описания процессов в каждом звене речной сети и формулировании условий сопряжения потоков (баланса расходов и равенства уровней) в точках ветвления. Для решения задачи используется специально разработанный метод прогонки по графу типа "дерево" для разветвлённых и закольцованных участков речной сети [1]. Представлены результаты расчёта распределения стока по магистральным протокам дельты и уровня свободной поверхности в открытых рукавах.

Список литературы

1. А. Ф. Воеводин, В. С. Никифоровская, А. С. Овчарова Численные методы решения задачи о неустановившемся движении воды на устьевых участках рек. – Тр./Аркт. и антаркт. науч.-исслед. ин-т. , 1983, т. 378, с. 23-34.

Численная оценка эффективности оптимизационного алгоритма решения обратной задачи поиска источников по данным вертикальных профилей концентраций для модели адвекции-диффузии атмосферной примеси

П. Н. Антохин¹, О. Ю. Антохина¹, А. В. Пененко²

¹Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: apn@iao.ru

Целью данной работы является исследование эффективности оптимизационного алгоритма решения обратной задачи на типичных сценариях генерации озона в атмосфере.

В работе был использован оптимизационный алгоритм решения обратной задачи поиска источников (аналогично [1]) с добавлением стабилизатора в целевой функционал [2]. Для исследования выбраны следующие источники: точечный источник на нижнем расчетном уровне с изменяющейся мощностью; приподнятый точечный источник с постоянной мощностью; приподнятый источник с изменяющейся высотой расположения максимума и постоянной мощностью; приподнятый точечный источник с изменяющейся мощностью. Расчеты проводились для ясного летнего дня с учетом суточной динамики пограничного слоя. Решая прямую задачу за сутки (24 часа) было получено 48 вертикальных профилей концентрации (через 30 мин.). При решении обратной задачи был проведен ряд расчетов с постепенным уменьшением числа используемых вертикальных профилей.

Результаты апробации алгоритма в указанных сценариях показали его эффективность. В силу некорректности задачи ключевым параметром для качества восстановления оказался параметр регуляризации, наилучшие результаты были получены при его значении 106. Относительная ошибка восстановления источника зависит от числа используемых профилей и может меняться от 0.2 до 60 % при использовании 48 и 3 профилей, соответственно.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН №15, I.33П и II.2П/I.3-3, программы ОНЗ РАН, грантов РФФИ № 17-01-00137, №17-05-00374, №17-05-00119 и МК-8214.2016.1.

Список литературы

1. Алифанов О. М. , Артюхин Е. А. , Румянцев С. В. , Экстремальные методы решения некорректных задач, 1988
2. Васильев Ф. П. , Методы решения экстремальных задач. Задачи минимизации в функциональных пространствах, регуляризация, аппроксимация, 1981

Численный расчет подавления длинных волн подводным барьером

А. П. Важенин¹, Ан. Г. Марчук², К. Хаяши¹

¹*Университет Айзу*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

E-mail: mag@omzg.sscs.ru

На базе численного метода расчёта распространения длинных волн по модели мелкой воды разработан алгоритм, реализующий частичное отражение волновой энергии при прохождении цунами над подводным барьером. Идея алгоритма заключается в постановке внутренних граничных условий для скорости водного потока сразу за затопленным барьером. Соотношение высот отражённой и преодолевшей барьер волн хорошо согласуются с результатами лабораторного моделирования в одномерном бассейне [1]. Алгоритм реализован в виде добавки нескольких строк в программу расчёта распространения цунами, что даёт возможность находить оптимальные размеры и местоположение подводного барьера в целях защиты наиболее важных объектов на цунамиопасном побережье. В нескольких бухтах и портах побережья Японской префектуры Фукусима произведена количественная оценка способности подводных барьеров различной высоты и ширины подавлять волну цунами. На основе этих результатов могут быть выработаны рекомендации для возведения такого рода защитных сооружений у побережья Японии.

Список литературы

1. Фридман А. М. , Альперович Л. С. , Шемер Л., Пустильник Л., Штивельман Д., Марчук Ан.Г., Либерзон Д. О подавлении волны цунами подводными барьерами // Успехи Физ. Наук, 2010, Т. 180, № 8, С. 843-850.

Статистическая интерпретация результатов численного прогноза обледенения

М. А. Волкова, Н. К. Барашкова, И. В. Кужевская, Л. И. Кижнер, А. В. Старченко, А. А. Барт

Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: ivk@ggf.tsu.ru

Оперативные численные модели прогноза погоды, как правило, не предсказывают в явном виде важных для практики авиационной метеорологии величин и явлений, в частности обледенения воздушных судов. В постпроцессинге модельных переменных прогностические показатели рассчитываются с помощью статистических методов [1]. Из существующих концепций статистической интерпретации результатов численного прогноза погоды и опасных явлений погоды в нашей работе использовалась методология РР-концепции (Perfect Prognosis Methods) с учетом особенностей сформированной базы данных и с учетом полученных в мировой практике статистических зависимостей (алгоритмов) для прогноза обледенения воздушных судов.

В результате настоящего исследования с помощью мезомасштабной модели TSU-NM3 рассмотренные алгоритмы были ранжированы по степени их успешности применения в статистической интерпретации. Наиболее перспективным алгоритмом для прогноза обледенения воздушных судов нами обоснован алгоритм Годске. В дискриминантной функции Гидрометцентра РФ требуется уточнение ее коэффициентов с учетом региональных особенностей. Алгоритм на основе количественных интервалов температуры воздуха и относительной влажности, предложенный NCEP (National Centers for Environmental Prediction, USA) "перестраховывается" и прогнозирует обледенение в большинстве рассмотренных дней и сроков.

Список литературы

1. Шакина Н. П., Иванова А. Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации. М.: Триада лтд, 2016.
2. Барашкова Н. К., Кижнер Любовь Ильинична, Кужевская Ирина Валерьевна Атмосферные процессы: динамика, численный анализ, моделирование: Учебное пособие. Томск: Томский государственный университет, 2010.

Влияние выбранной схемы решения прямой задачи на эффективность работы схем вариационного усвоения данных

А. А. Гришина, А. В. Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: a.a.grishina17@gmail.com

Задачи усвоения данных возникают, к примеру, при исследовании химической кинетики атмосферных явлений [1, 2]. Предполагается совместное использование математических моделей и поступающих в реально доступных данных измерений. При их поступлении решается оптимизационная задача поиска минимума некоторого целевого функционала. Если данные измерений отсутствуют, поиск прогноза решения осуществляется путем вычисления шага прямой задачи [3]. В работе исследовано влияние применения явной и неявной схем решения прямой задачи на точность получаемого решения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-8214.2016.1).

Список литературы

1. Пененко В. В. Вариационные методы усвоения данных и обратные задачи для изучения атмосферы, океана и окружающей среды // Сиб. журн. выч. матем. 2009. Т. 12. № 4. С. 421–434.
2. Bocquet M., Elbern H., Eskes H. et al. Data assimilation in atmospheric chemistry models: current status and future prospects for coupled chemistry meteorology models // Atmos. Chem. Phys. 2015. Vol. 15. P. 5325-5358.
3. Пененко А. В., Пененко В. В. Прямой метод вариационного усвоения данных для моделей конвекции-диффузии на основе схемы расщепления // Вычислительные технологии. 2014. Т. 19, № 4, С. 69-83.

Моделирование переноса загрязняющих субстанций в водной акватории со сложным характером движения

М. В. Зарецкая, А. Г. Зарецкий, В. В. Лозовой

ФГБОУ ВО "Кубанский государственный университет"

E-mail: zarmv@mail.ru

Известно, что особенностью циркуляции вод бассейнов Черного и Азовского морей является наличие зон конвективных движений, как свободных, так и вынужденных, в общем поле плоскопараллельных течений. Для моделирования процесса переноса загрязняющих субстанций (СБ) предлагается расширенный дифференциальный метод факторизации для разнотипной блочной структуры, когда алгоритм метода решения граничных задач, поставленных в декартовой системе координат [1], дополняется методом факторизации в цилиндрических координатах. Рассмотрены две взаимосвязанные задачи: во-первых, исследование динамики концентрации в конвективной ячейке, если поток СБ подается с границы; во-вторых, определение концентрации в области плоскопараллельного движения, если поток СБ подается с границы конвективной ячейки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-08-00191_a), Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края (коды проектов 16-41-230154, 16-41-230175).

Список литературы

1. Бабешко В. А. , Бабешко О. М. , Евдокимова О. В. , Зарецкая М. В. , Павлова А. В. , Федоренко А. Г. О дифференциальном методе факторизации в приложениях // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2008. № 2. С. 5–12.

Сезонные изменения характеристик рассеяния природных объектов

И. И. Кирбижекова, Е. В. Батуева

Институт физического материаловедения СО РАН

E-mail: elizavlad@mail.ru

В данной работе представлены результаты исследования возможности применения поляриметрических радиолокационных данных дециметрового диапазона для классификации лесных ресурсов на примере Байкальского региона [1]. Спутниковые радиолокационные данные с полной поляриметрической информацией представлены снимками в дециметровом L-диапазоне с длиной волны 24 см, полученными радаром с синтезированной апертурой ALOS PALSAR Японского аэрокосмического агентства JAXA во время миссии 2006–2011 гг. [2]. Размеры сцен на снимках – 20×65 км², пространственное разрешение около 25 м. Исследования проведены на двух тестовых участках смешанного и хвойного леса к западу и востоку от реки Селенга.

Выявлены значительные сезонные вариации процессов рассеяния растительно-почвенных покровов на основе сравнительного анализа разновременных поляриметрических характеристик.

Список литературы

1. Родионова Н. В. Классификация поверхности на поляриметрических РЛИ с использованием текстуры и разложения по механизмам рассеяния // Исследование Земли из космоса. 2007. № 4. С. 8–14.

2. Кирбижекова И. И. , Батуева Е. В. Н-А-альфа-классификация данных ALOS по дельте реки Селенга // Известия вузов. Физика. 2010. Т. 53, № 9/2. С. 25–26.

Сравнительный анализ методов, улучшающих сходимость ансамблевых фильтров Калмана

Е. Г. Климова

Институт вычислительных технологий СО РАН

E-mail: klimova@ict.nsc.ru

Ансамблевый фильтр Калмана является одним из популярных методов усвоения данных при моделировании процессов в атмосфере, водоемах, распространения загрязняющих веществ и т.д. [1]. Среди вариантов реализации ансамблевого фильтра Калмана можно выделить детерминированный и стохастический подходы. Детерминированный и стохастический фильтр Калмана имеют каждый свои преимущества и недостатки, как по точности, так и по эффективности разрабатываемых на их основе алгоритмов [2, 3].

Одной из проблем практической реализации ансамблевых фильтров Калмана является расходимость процедуры усвоения данных со временем из-за убывания дисперсий ошибок оценивания. Существует несколько подходов к решению этой проблем: применение корректирующего параметра (inflation factor) как мультипликативного, так и аддитивного, задание случайной ошибки модели (stochastic forcing), а также адаптивные процедуры коррекции дисперсий ошибок прогноза [4].

В докладе рассматривается общий подход к анализу эффективности таких процедур. Подход основан на формуле для отклонения элемента ансамбля от среднего по ансамблю значения. Свойства процедур, регулирующих сходимость, исследуются для детерминированного и стохастического вариантов ансамблевого фильтра Калмана как аналитически, так и с помощью численных экспериментов с 1-мерной моделью Лоренца.

Список литературы

1. Evensen, G. 2009. Data assimilation. The ensemble Kalman filter, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 307 pp.

2. Kalnay, E. 2002. Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge Univ. Press, 328 pp.

3. Klimova, E. 2012. A suboptimal data assimilation algorithm based on the ensemble Kalman filter. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 138, 2079-2085.

4. Houtekamer P. L., F. Zhang Review of the ensemble Kalman filter for atmospheric data assimilation. Monthly Weather Review. 2016. V. 144. P. 4489-4532.

Моделирование распространения примеси в Новосибирском водохранилище на основе монотонной схемы с использованием метода неконформных конечных элементов

В. В. Кравченко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kravt@ommfao.ssc.ru

Моделирование распространения примеси проведено для Новосибирского водохранилища с использованием монотонной схемы типа направленных разностей. Схема построена на основе метода неконформных конечных элементов и приближенной слабой постановки для уравнения диффузии-адвекции, в которой специальным образом аппроксимируются кососимметрические члены [1].

Поле скоростей течений вычисляется из модели, построенной на основе метода расщепления по физическим процессам и метода конечных элементов, примененных к двумерному нелинейному уравнению вихря. После расщепления по физическим процессам получены два этапа, для построения сеточных уравнений которых используются различные виды конечных элементов. В частности, на этапе, описывающем адвекцию-диффузию вихря, применяются неконформные конечные элементы. [2].

Выбранный тип неконформных элементов обладает набором полезных свойств. В том числе ортогональностью, за счет которой возможно, например, сократить сеточный шаблон и избежать метода концентрации масс в последующих вычислениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-35-00439 мол_a).

Список литературы

1. Кузин В. И., Кравченко В. В. Применение неконформных конечных элементов для решения задач диффузии-адвекции // СибЖВМ. 2010. Т. 13, № 1. С. 51-65.
2. V.I. Kuzin, V.V. Kravtchenko. Application of a mixed finite element method for solving 2D nonlinear vorticity equation in a variable bottom water basin // Bulletin Of The Novosibirsk Computing Center, Numerical Modeling in Atmosphere, Ocean, and Environment Studies. 2012. Issue 13 (2012). P. 29-41

Разработка численной модели Северного Ледовитого океана с уточнением описания топографии шельфовых морей

М. В. Крайнева, Е. Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: krayneva-m@yandex.ru

Численная модель динамики океана, разработанная в ИВМиМГ СОРАН, модифицирована с целью описания процессов, протекающих в шельфовых районах океана, в рамках крупномасштабной модели. Основной модификации является применение комбинированной численной сетки по вертикали. В глубинных районах океана, характеризующихся резкими наклонами дна, используется z-система вертикальных физических координат. Шельфовая часть океана и переход на материковый склон рассматриваются в σ -системе координат, в которой первый вертикальный горизонт соответствует горизонту для z-системы, а остальные координатные линии следуют топографии дна. С помощью данного подхода мы можем описывать потоки, поступающие в поверхностный слой, с одинаковой степенью детализации для всех районов океана; уточнять распределение гидрологических характеристик шельфовой области; описывать процессы обмена вод шельфовой зоны и глубокого океана в области материкового склона. Представлены результаты численных расчетов гидрологических характеристик Северного Ледовитого океана.

Исследование проводится при поддержке РФФИ: № 16-35-00439, 17-05-00396, 17-05-00382.

Влияние стока Сибирских рек на баланс пресной воды в Северном Ледовитом океане

В. И. Кузин, Г. А. Платов, Н. А. Лаптева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kuzin@sccc.ru

В работе рассматриваются результаты моделирования межгодовых изменений пресноводного баланса, которые могут происходить в Северном Ледовитом океане при вариациях речного стока сибирских рек. Расчеты для 11 сибирских рек проводились по модели речного стока и модели циркуляции Северного Ледовитого океана ИВМиМГ СО РАН [1]. Межгодовая изменчивость речного стока имеют общие положительные тенденции при значимых различиях в притоке пресной воды в Карское море и моря Восточной Арктики. В последние десятилетия сток сибирских рек увеличился, что явилось откликом на увеличение осадков при изменении климата Сибири. Расход пресной воды из Северного Ледовитого океана происходит через пролив Фрама и проливы Канадского Архипелага. Эта вода, будучи вынесена в виде льда или потока воды пониженной солености за пределы Северного Ледовитого океана в северные моря Атлантики, является существенным регулятором в формировании термохалинной структуры и меридиональной циркуляции не только Северной Атлантики, но и всего Мирового океана [2].

Список литературы

1. Кузин В. И., Лаптева Н. А. Математическое моделирование стока основных рек Сибири // Оптика атмосферы и океана. Т. 27. № 06. 2014. С. 525–529.
2. Кузин В. И., Платов Г. А., Лаптева Н. А. Оценка влияния межгодовой изменчивости стока Сибирских рек на циркуляцию Северного Ледовитого океана // Известия РАН. ФАО. 2015. Т. 51. № 4. С. 437-447.

Численное моделирование пограничного слоя Экмана с использованием явной алгебраической модели турбулентности

Л. И. Курбацкая¹, А. Ф. Курбацкий²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН

E-mail: L.Kurbatskaya@ommgp.sccc.ru

Моделирование турбулентности является важным объектом наук об окружающей среде для описания существенно важного турбулентного транспорта тепла и импульса в пограничном слое атмосферы [1]. Многие модели турбулентности, используемые в моделировании течений в окружающей среде, основываются на концепции вихревой вязкости, а эффекты плавучести часто включаются в выражения для турбулентных потоков через эмпирические функции, основанные на теории подобия Монино–Обухова [2], справедливой, строго говоря, только для приземного слоя. Более существенный прогресс достигнут в последние годы в развитии более общих, чем стандартные гипотезы турбулентной вязкости, моделей для вихревых коэффициентов диффузии импульса и тепла, как результат записи дифференциальных уравнений для напряжений Рейнольдса и вектора турбулентного потока тепла в слабо-равновесном приближении [3-4], которое пренебрегает адвекцией и диффузией некоторых безразмерных величин.

Явная алгебраическая модель рейнольдсовых напряжений и вектора турбулентного потока тепла для планетарного пограничного слоя тестируется в нейтрально стратифицированном пограничном слое атмосферы (ПСА) над однородной шероховатой поверхностью. Рассматриваемый вариант алгебраической модели построен на физических принципах RANS (Reynolds Average Navier Stokes) приближения для стратифицированной турбулентности, использует три прогностических уравнения и показывает правильное воспроизведение основных характеристик нейтрального ПСА Экмана – компонент скорости среднего ветра, угол поворота ветра, турбулентную статистику. Тестовые расчеты показывают, что данная модель может быть использована для целенаправленных исследований атмосферного пограничного слоя при решении различных задач окружающей среды.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) и программы Президиума РАН 1.33П "Фундаментальные проблемы математического моделирования".

Список литературы

1. Holtslag A.A.M, Svensson G, Baas P, Basu S, Beare B, Beljaars A.C.M, Bosveld F.C, Cuxart J, Lindvall J, Steeneveld G.J, Tjernström M, Van deWiel B.J.H. Stable atmospheric boundary layers and diurnal cycles: challenges for weather and climate models // Bull Am Meteor Soc. 2013. V. 94, N 11. P.1691–1706.
2. Монин А. С., Обухов А. М. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Труды Геофизического Института. М.: Изд-во АН СССР, 1954. №25(151). С.163-187.
3. Kurbatskii A. F., Kurbatskaya L. I. $E - \epsilon - \overline{q^2}$ turbulence closure model for an atmospheric boundary layer including the urban canopy // Meteorol. Atmos. Phys. 2009. V. 104. No. 1-2. P. 63-81.
4. Cheng Y., Canuto V. M., Howard A. M. An Improved Model for the Turbulent PBL // J. Atmos. Sci. 2002. V.59. No. 5. P. 1550-1565.

Численное моделирование проникающей турбулентной конвекции от поверхностного источника тепла в устойчивой атмосфере

Л. И. Курбацкая, А. Ф. Курбацкий

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН*

E-mail: L.Kurbatskaya@ommgp.ssc.ru

Вычислительно эффективная явная алгебраическая модель для вихревых коэффициентов диффузии импульса и тепла [1] применена для моделирования структуры турбулентной циркуляции над поверхностным источником тепла (городским островом тепла) в устойчиво стратифицированной окружающей атмосфере. Турбулентные потоки импульса и тепла, зависящие от трех параметров – кинетической энергии турбулентности, скорости её спектрального расходования и дисперсии температурных флуктуаций – находятся из решения замкнутых дифференциальных уравнений баланса. Система определяющих уравнений численной модели острова тепла в цилиндрической системе координат решена численно, конечно-разностным методом [2]. Модель воспроизводит в согласии с данными измерений такие тонкие эффекты, как переkreщивание вертикальных профилей температуры теплового факела с образованием области отрицательной плавучести, свидетельствующей о развитии в квазиустановившемся состоянии куполообразной формы верхней части теплового факела в виде "шляпы". Эффект возвышения центральной части (swelling) фиксируется в данных измерений [3]. Численные результаты показывают, что в рассматриваемой задаче простая явная модель градиентной диффузии для турбулентных потоков импульса и тепла не только правильно описывает характерные структурные особенности турбулентной циркуляции над островом тепла, но и удовлетворительно отражает их анизотропный характер.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) и программы Президиума РАН 1.33П "Фундаментальные проблемы математического моделирования".

Список литературы

1. Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И. Трехпараметрическая модель турбулентности для атмосферного пограничного слоя над урбанизированной поверхностью // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42, № 4. Р. 476–494.
2. Роуч П. вычислительная гидродинамика. М: Мир, 1980 г. 616 с.
3. Lu J. et al. A laboratory study of the urban heat island in a calm and stably stratified environment. Part 1 and 2 // J. Appl. Meteor. 1997. V. 36, No. 10, 1377-1402.

Численное моделирование гидротермического режима Беловского водохранилища

А. А. Леженин, Е. Н. Голубева, М. В. Крайнева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: lezhenin@ommfao.ssc.ru

Исследования распространения сбросных теплых вод в водоемах-охладителях вызывает большой интерес в связи с обеспечением оптимальной работы ГРЭС, а также для оценки влияния подогретых вод на экологию водных объектов. Гидротермический режим Беловского водохранилища в большой степени определяется сбросом подогретых вод ГРЭС.

Для изучения процессов теплового загрязнения Беловского водохранилища применяется гидродинамическая модель. Основой модели является система трехмерных нелинейных уравнений движения, записанных с использованием приближений гидростатики и Буссинеска. Термодинамический блок модели позволяет рассчитывать трехмерное распределение температуры водоема на основе решения уравнения адвекции-диффузии. Параметризация интенсивного вертикального перемешивания в осенне-зимний период производится на основе оценки устойчивости стратификации водоема. Для формирования потоков тепла и импульса на поверхности водоема используются данные наблюдений о состоянии атмосферы. Приведена оценка влияния тепловых сбросов Беловской ГРЭС на термический и динамический режимы водохранилища.

Duality of wave and particle of turbulence and cavitation damage

Z. Liu

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, P. R. C. 400016

E-mail: Liuzc17@aliyun.com

The relation between the duality of wave and particle of turbulence and the cavitation damage is studied. The nature of turbulent flow and the bubble distribution makes the cavitation show stochastic characters, so cavitation damage has random property as well. The cavitation damage seems to connect closely with zero-point energy (dark energy). A sketch model of the cavitation damage was developed, it is only a primary conceptive model at present.

The evolution of subsea permafrost and thickness of the methane hydrates stability zone to Pleistocene glacial cycles

V. V. Malakhova¹, A. V. Eliseev²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН

E-mail: malax@ssc.ru

Climate warming may lead to the degradation of the subsea permafrost developed during Pleistocene glaciations and release methane from the hydrates, which are stored in this permafrost. In the present paper the one-dimensional single-point simulations with a model for thermal state of subsea sediments driven by the forcing constructed from the ice core data are performed. It is shown that the show time scales of temperature propagation in sediments and respective permafrost response are 10–20 kyr which is longer than the present interglacial. It is related to the time needed for heat penetration in deep unfrozen sediments. The timings of shelf exposure during oceanic regressions and flooding during transgressions are important for representation of sediment thermal state and hydrates stability zone (HSZ). These timings should depend on the contemporary shelf depth. During glacial cycles temperature at the top of sediments is a major driver of HSZ vertical boundaries change for any shelf depth. The pressure exerted by oceanic water becomes also important for shelf depth more than 50 m. Thus, even the existence of HSZ and its disappearance might not be easily tied to oceanic transgressions and regressions.

This work has been supported by the Russian Foundation for Basic Research (grants 15–05–02457, 17-05-00396, 17-05-00382).

Оценка влияния изменений климата в Арктике на состояние субаквальных газогидратных залежей

В. В. Малахова¹, Г. А. Платов¹, Е. Н. Голубева¹, А. В. Елисеев²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН

E-mail: malax@sscc.ru

Для исследования влияния последствий изменения климата на термохалинную структуру Северного Ледовитого океана (СЛО) и состояние зоны стабильности гидратов метана были проведены сценарные расчеты на основе комплекса численных моделей. Цель исследования - определить масштабы изменчивости с учетом возможных климатических изменений до конца 21 века. Атмосферное воздействие было задано по результатам расчетов с моделями ансамбля СМIP5 при сценарии антропогенного воздействия гср8.5.

Значительное повышение температуры воздуха в полярных районах, привело к сокращению и исчезновению морского льда СЛО в летние месяцы и к повышению температуры верхнего слоя океана к концу 21 века. Увеличение температуры промежуточного слоя СЛО обусловлено только поступлением теплых атлантических вод через Баренцево море и пролив Фрама. Что стало причиной дополнительного нагрева придонного слоя Баренцева, Карского морей, а также материкового склона во всех модельных расчетах.

Получены оценки возможных изменений зоны стабильности субаквальных газовых гидратов в СЛО. По результатам исследований метаногидраты, присутствующие на морских глубинах 250-500 м, наиболее подвержены тепловому воздействию. По нашим оценкам, повышение температуры придонной воды в этих областях может привести к диссоциации газовых гидратов в верхнем 100-метровом слое донных отложений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-05-02457, 17-05-00396, 17-05-00382).

Использование граничных условий в численных расчётах генерации и распространения волн цунами

Ан. Г. Марчук

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: mag@omzg.sscc.ru

В работе анализируются граничные условия, которые применяются при численном моделировании процессов генерации и распространения волн цунами в различных случаях. Особое внимание уделяется генерирующим граничным условиям, которые позволяют легко генерировать волну с заданными характеристиками (амплитуда, период и, вообще, форма сигнала или мареограмма). Ввиду того, что в распространяющейся волне цунами скорость водного потока однозначно определяется высотой волны и глубиной, можно путём принудительного изменения уровня водной поверхности в граничных узлах расчётной сетки и заданием компонент скорости водного потока можно получить волну, распространяющуюся от границы внутрь области. При помощи такого приёма реализован численный расчёт распространения цунами от очага до берега на последовательности сгущающихся сеток. В этом вычислительном эксперименте параметры волны цунами из области в подобласть передаются именно через граничные условия. Ещё таким способом можно модельным источником малого размера генерировать очень длинную волну цунами. В частности, такую волну, которая на заданной линии имеет заданный профиль. Иногда такое требуется при тестировании численных методов расчёта цунами.

Численное моделирование распространения инфразвуковых волн в совмещённой модели "Земля – Атмосфера" с криволинейной границей раздела

А. А. Михайлов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: alex_mikh@omzg.sgcc.ru

В данной работе рассматриваются результаты численного моделирования распространения сейсмических и акусто-гравитационных волн для пространственно-неоднородной модели "Атмосфера-Земля". Данные исследования являются продолжением исследований, приведённых в работах [1, 2]. В рассматриваемой работе, в отличие от предыдущих, при расчётах полагалось, что граница раздела сред атмосфера и упругое полупространство является криволинейной. Полученные результаты численного моделирования позволяют исследовать влияние рельефа местности на распространения инфразвуковых волн и эффект взаимодействия между волнами в литосфере и атмосфере. В работе описывается численный алгоритм для проведения расчётов. Особенностью рассматриваемого алгоритма является комбинирование интегральных преобразований с конечно-разностным методом. Распространение акусто-гравитационных волн в изотермической атмосфере описывается линейаризованной системой уравнений Навье-Стокса в виде гиперболической системы первого порядка для трёхмерной 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.

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, № 2. С. 149-162.

2. Mikhailenko B.G., Mikhailov A.A., Reshetova G.V. Modeling the Wind Influence on Acoustic-Gravity Propagation Waves in a Heterogeneous Earth-Atmosphere Model // Finite Difference Methods, Theory and Applications. Lecture Notes in Computer Science. 2015. Vol. 9045. P. 290-298.

Статистический анализ метеорологических данных на территории Томской области

Ю. А. Моисеева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: julchiky@mail.ru

Изменение климата является одной из важнейших международных проблем XXI века, которая выходит за рамки научной проблемы и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития Российской Федерации [1]. Существенное изменение климата, прежде всего, выражается в повышении температуры воздуха в приповерхностном слое в большинстве регионов мира; кроме того, наблюдаемая изменчивость метеорологических величин сопровождается аномалиями погоды, т.е. разнонаправленными отклонениями от постоянных климатических средних значений [2]. В данной работе проведено исследование изменений метеорологических параметров, оказывающие непосредственное влияние на процессы окружающей среды. Результаты могут быть использованы для анализа изменений происходящих природных процессов и причины их возникновения.

Список литературы

1. Климатическая доктрина Российской Федерации [Электрон. ресурс]. сайт Президента России: <http://kremlin.ru/acts/6365> (дата обращения: 26.01.2017).

2. Семенов С. М. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем: монография / под общ. ред. С. М. Семенова. – Москва: Росгидромет, 2012. – 511 с.

Алгоритмы усвоения данных в моделях мониторинга качества атмосферы на базе вариационного принципа

А. В. Пененко, В. В. Пененко, Е. А. Цветова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: a.penenko@gmail.com

В случае неточного задания параметров модели, алгоритмы усвоения данных позволяют восполнить недостаток информации за счет поступающих во время выполнения алгоритма данных измерений. Задача усвоения ставится как динамическая последовательность связанных обратных задач. Усвоение данных атмосферной химии накладывает существенные требования на вычислительную эффективность алгоритмов в силу высоких размерностей рассматриваемых численных моделей и нелинейный характер изучаемых процессов.

В работе представлены результаты исследования алгоритмов вариационного усвоения данных для модели переноса и трансформации атмосферных примесей [1,2]. Усвоение осуществляется вариационными алгоритмами на отдельных стадиях схемы расщепления. На стадии переноса используется прямой (безытерационный) алгоритм усвоения. Для стадии трансформации рассматриваются как итерационные, так и прямые алгоритмы. Эффективность алгоритмов численно изучается на искусственных и на реальных данных измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-8214.2016.1).

Список литературы

1. Пененко А. В., Пененко В. В., Цветова Е. А. Последовательные алгоритмы усвоения данных в моделях мониторинга качества атмосферы на базе вариационного принципа со слабыми ограничениями // Сиб. журн. вычисл. матем. 2016. Т. 19, № 4. С. 401-418.
2. Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В. Развитие вариационного подхода для прямых и обратных задач гидротермодинамики и химии атмосферы // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2015. Т. 51, № 3. С. 358-367.

Численное моделирование распространения дымовых шлейфов в Байкальском регионе

Э. А. Пьянова¹, А. В. Гоцаков²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический Институт

E-mail: pyanova@otmgp.ssc.ru

Ежегодно в летний период Байкальский регион охватывают лесные пожары. Выгорают тысячи гектаров леса, дымовые шлейфы распространяются на значительные расстояния, задымляя огромные территории.

В докладе представлены предварительные результаты по моделированию распространения дымовых шлейфов над территорией Байкальского региона летом 2015 года. Сценарные расчеты для изучения процессов переноса дымовых шлейфов над территорией, охватывающей Иркутскую область, республику Бурятия и Забайкальский край, проведены на основе мезомасштабной модели динамики атмосферы и переноса примеси. При моделировании учитывались сложная орография и климатические условия Байкальского региона. Процесс распространения пожара упрощенно имитировался с помощью задания движущихся источников выбросов продуктов сгорания. Входные метеорологические данные для сценарных расчетов получены на основе механизма препроцессинга (WPS) модели WRF [1]. Подобный подход позволит провести наиболее корректные оценки на этапе верификации модели.

Работа выполнена при поддержке Программ фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П, II.2П/I.3-2.

Список литературы

1. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers, 2014: A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 p. [Elrctron. resource]. http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3.5/ARWUsersGuideV3.pdf (доступ 31.03.2017).

Моделирование загрязнения воздушного бассейна городского поселения, расположенного в горной котловине (на примере г. Читы)

Э. А. Пьянова¹, Л. М. Фалейчик², А. А. Фалейчик³

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

³Читинский Институт Байкальского государственного университета

E-mail: pyanova@ommgp.ssc.ru

На основе разрабатываемой в ИВМиМГ СО РАН мезомасштабной модели динамики атмосферы и переноса примеси в областях со сложным рельефом, адаптированной к условиям Читино-Ингодинской котловины в Забайкалье, проведен ряд сценарных оценочных численных экспериментов с целью изучения влияния рельефа котловины на формирование локальных циркуляций, мощность и локализацию температурных инверсий в зимний период. На основе тестовых расчетов по зимним сценариям исследуется влияние различных проявлений зимнего мезоклимата в котловине на распространение загрязняющих примесей от основных точечных источников – предприятий теплоэнергетики г. Читы. Пространственный анализ результатов сценарных расчетов выполнен с использованием геоинформационных технологий.

Работа выполнена в рамках Проекта XI.174.1.8. по Программе ФНИ СО РАН при частичной финансовой поддержке РФФИ № 17-01-00137, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П

Моделирование неблагоприятных погодных явлений в регионе Красноярска

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

E-mail: pyanova@ommgp.ssc.ru

При оценке качества жизни большую роль играет экологическая обстановка в населенных пунктах. Особенно остро проблемы экологии стоят в больших городах, где промышленные предприятия расположены либо в черте города, либо в непосредственной близости от него. На качество атмосферного воздуха влияет не только наличие самих источников выбросов загрязняющих примесей, но и метеорологические условия, которые могут как благоприятствовать проветриванию и очищению атмосферы, так и способствовать ее загрязнению.

Целью работы является адаптация мезомасштабной модели гидротермодинамики атмосферы и переноса примесей, разрабатываемой в ИВМиМГ СО РАН, к условиям Красноярского края и изучение с ее помощью на основе сценарного подхода характерных для Красноярска неблагоприятных погодных условий, обуславливающих рост загрязнения атмосферы в городе.

Подготовка данных о подстилающей поверхности и пространственный анализ результатов численных экспериментов выполняется с использованием геоинформационных технологий.

В докладе представлены результаты сценарных расчетов по моделированию переноса пассивной примеси в Красноярске в зимних инверсионных условиях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ № 17-01-00137, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П, Проекта XI.174.1.8. по Программе ФНИ СО РАН.

Модели реконструкции полей выпадений радионуклидов от ядерных взрывов и аварий

В. Ф. Рапута¹, Т. В. Ярославцева²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²ФБУН "Новосибирский НИИ гигиены" Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

E-mail: raputa@sscc.ru

К настоящему времени в открытой печати опубликован значительный объём данных экспериментальных исследований по радиоактивному загрязнению территорий в результате проведённых испытательных ядерных взрывов, а также крупных радиационных аварий на предприятиях ядерно-энергетического комплекса. Численный анализ этой информации на основе модельных представлений процессов распространения примесей несомненно представляет интерес как для решения многих теоретических и практических задач.

В докладе обсуждаются математические модели реконструкции полей выпадений полидисперсных примесей от мгновенных источников. Принципы построения такого типа моделей достаточно разнообразны и носят компромиссный характер между модельными описаниями процессов загрязнения и данными наблюдений. В приближении полукинематической модели оседания аэрозольных примесей в атмосфере получены соотношения для оценивания полей осевых концентраций.

На данных натурных наблюдений радиоактивного загрязнения территорий проведена апробация предложенных моделей оценивания применительно к наземному ядерному и термоядерному взрывам, произведённых в 1949 и 1953 годах на Семипалатинском полигоне. Обсуждаются результаты численной реконструкции полей аварийных выпадений радионуклидов в окрестностях Сибирского химического комбината, АЭС "Фукусима-1".

Мезомасштабное моделирование атмосферных процессов на суперкомпьютере ТГУ SKIF Cyberia

А. В. Старченко, В. П. Горбатенко

Томский государственный университет

E-mail: vpgor@tpu.ru

Представляются работы по мезомасштабному моделированию атмосферных процессов на суперкомпьютере ТГУ SKIF Cyberia. Для реализации большинства алгоритмов была использована модернизированная мезомасштабная метеорологическая модель TSU-NM3. Выполнены следующие исследования:

Разработаны подходы к прогнозу уровня загрязнения воздуха в г.Томск по ряду показателей. Результаты расчетов по модели могут быть представлены в виде цифровых данных по площади за отдельные моменты времени, а также для отдельных точек в виде изменения во времени содержания различных примесей.

Сделана успешная попытка интерпретации и валидации спутниковых измерений влажности почвы с помощью скаттерометра, установленного на спутнике MetOp.

На основе гидродинамического моделирования разработан и апробирован алгоритм прогноза обледенения самолетов над аэропортом г.Томск с заблаговременностью до 36 часов.

Разработан подход к улучшению прогноза метеорологической дальности видимости с привлечением численных расчетов по мезомасштабной модели.

На основе данных численного прогноза по глобальной модели ПЛАВ отработаны основные методические аспекты моделирования тенденции развития и распространения конвективных кластеров, приносящих грозу и град.

Дискретно-аналитические аппроксимации для реализации модели многофазной системы гидротермодинамики озера Байкал

Е. А. Цветова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: e.tsvetova@ommgp.ssc.ru

Для изучения гидро-геохимических процессов, протекающих в озере Байкал, разрабатывается комплексная математическая модель гидротермодинамики, переноса и трансформации примесей, находящихся в различных фазовых состояниях. Для её численной реализации и построения согласованных алгоритмов используется вариационный подход, в соответствии с которым для всей системы строится интегральное тождество, которое затем аппроксимируется с использованием схем расщепления. Для операторов типа конвекции-диффузии-реакции мы получаем дискретно-аналитические схемы на основе концепции сопряженных интегрирующих множителей [1].

Представлены результаты численных экспериментов по моделированию гидротермодинамики и процессов переноса и трансформации газа, выходящего из источников на дне озера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00137) и Программ фундаментальных исследований РАН I.33П и II.2П/1.3.

Список литературы

1. Penenko V.V., Tsvetova E.A., Penenko A.V. Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies//Computers and Mathematics with Applications. 2014. V.67. P. 2240-2256.

Nonlinear diffusion in inhomogeneous medium

Yu. A. Chirkunov

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: chr101@mail.ru

We study a model, describing the processes of nonlinear diffusion in an inhomogeneous medium in the presence of absorption [1–3]. We found submodels of the original model of nonlinear diffusion, having different symmetry properties. We found all invariant submodels. All essentially distinct invariant solutions describing these invariant submodels are found either explicitly, or their search is reduced to the solution of the nonlinear integral equations. For the received invariant submodels we are studied diffusion processes for which at the initial moment of the time at a fixed point are specified or a concentration and its gradient, or a concentration and its velocity. Solving of boundary value problems describing these processes are reduced to the solving of nonlinear integral equations. We are established the existence and uniqueness of solutions of these boundary value problems under some conditions. These solutions can be used as test solutions in numerical calculations performed in the studies of the nonlinear diffusion process. The obtained results can be used to study the diffusion of substances, diffusion of conduction electrons and other particles, diffusion of physical fields, propagation of heat in inhomogeneous medium.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 16-01-00446 a and by Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering.

References

1. Yu. A. Chirkunov. Submodels of model of nonlinear diffusion in the inhomogeneous medium involving absorption. *J. Math. Phys.* 56 (10). 101502. Issue. 19 pp. (2015). DOI: 10.1063/1.4931911.

2. Yu. A. Chirkunov. Submodels of model of nonlinear diffusion with non-stationary absorption // International J. of Non-Linear Mechanics. 91. 86–94 (2017). DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2017.02.011.

Submodels of static transversely isotropic elastic model

Yu. A. Chirkunov¹, N. F. Belmetsev²

¹Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

²Тюменский государственный университет

E-mail: chr101@mail.ru

We found the conditions under which the system of the equations of the three-dimensional static transversely isotropic elastic model has a gradient of a harmonic function as a partial solution, In this case, parameters of the elasticity modulus tensor satisfy to the Gassman conditions. The Gassman conditions are widely used in the geophysics in the research of the transversely isotropic elastic media. We fulfilled a group foliation of the system of the equations of the static transversely isotropic elastic model with the Gassman conditions with respect to the infinite subgroup generated by the gradient of a harmonic function and contained in normal subgroup of the main group of this system. We obtained a general solution of the automorphic system. We found the main Lie group of transformations of the resolving system of this group foliation. With a help of this group foliation we obtained non-degenerate exact solutions of the equations of the static transversely isotropic elastic model with the Gassman conditions. For the found exact solutions we have depicted the deformations arising in an elastic body for particular values of the elastic moduli.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 16-01-00446 a and by Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering.

References

1. Yu. A. Chirkunov. [1] Yu. A. Chirkunov, N. F. Belmetsev. Exact solutions of three-dimensional equations of static transversely isotropic elastic model. *Acta Mechanica*. 228. 333–349 (2017). DOI: 10.1007/s00707-016-1712-4.

Numerical simulation of gravity flows past steep obstacles in a stratified atmosphere with inversion

M. S. Yudin

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: m.yudin@ommgp.sgcc.ru

In this paper an investigation is carried out with two types of non-hydrostatic meteorological models on atmospheric wave front propagation: a finite-difference model based on a terrain-following coordinate transformation and a finite-element model based on triangular elements. The former is used for a relatively smooth orography, and the latter for steep surfaces. The front surface is described in both models by an equation for advection of a scalar substance, which is solved with a third-order semi-Lagrangian procedure. Various meteorological effects, the influence of stratification and the introduction of an inversion layer above an orographic obstacle are investigated and discussed.

The structure of the models is described in [1]. The finite-difference model is based on spatial discretizations that conserve some important quantities of the phenomena under study, atmospheric gravity currents. An efficient numerical procedure is used to calculate the advection of scalars. A time filter is used to suppress the non-physical oscillations. The finite-element model is based on triangular elements. An application of the models to simulating cold front propagation over idealized obstacles in a stratified atmosphere is described in [2].

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research under grant 17-01-00137 and the Presidium of RAS under programs I.33P, II.2P/3-2 and II.2P/3-3.

References

1. 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.
2. Yudin M.S., A numerical study of gravity waves in the atmosphere: smooth and steep orography effects // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. V. 48, N. 1. DOI <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/48/1/012024>

Сравнительный анализ параметризаций вертикального перемешивания в численной модели Северного Ледовитого океана

Д. Ф. Якишина, Е. Н. Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: iakshina.dina@gmail.com

Достоверное описание процессов вертикального перемешивания на сегодняшний день одна из актуальных задач в численном моделировании океана. Для арктических вод, характерна сложная вертикальная стратификация, обусловленная процессами образования и таяния льда, а также поступлением вод различной солености из Атлантического и Тихого океанов. Поэтому необходимо особенно тщательно подходить к тестированию используемых параметризаций вертикального перемешивания в численных моделях Северного Ледовитого Океана (СЛО).

В настоящей работе проводится сравнительный анализ наиболее распространённых параметризаций вертикального перемешивания в региональной численной модели Северной Атлантики и СЛО. Тестирование параметризаций производится с помощью семейства одномерных моделей турбулентного перемешивания GOTM (<http://gotm.net/>), доступных для подключения в численные модели в качестве библиотеки на языке FORTRAN.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (16-35-00439, 16-05-00558, 17-05-00396, 17-05-00382)

Закономерности региональных выпадений аэрозольных примесей по наземным и спутниковым наблюдениям

Т. В. Ярославцева¹, В. Ф. Рапута²

¹ФБУН "Новосибирский НИИ гигиены" Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: tani-ta@list.ru

В докладе обсуждаются экспериментальные и численные исследования полей длительных выпадений примесей на значительных удалениях от точечных и площадных источников. В качестве экспериментальных данных использовались результаты мониторинговых исследований загрязнения снежного покрова в окрестностях крупных городов и промышленных площадок Западной и Восточной Сибири.

Проведено количественное исследование ореолов загрязнения снежного покрова на спутниковых снимках для ряда крупных промышленных предприятий и угольных ТЭЦ, включая Новосибирский электродный завод, Норильский цементный завод, Омскую ТЭЦ-5. Для этой цели очаги загрязнения от этих источников были проиндексированы с помощью дискретной шкалы оттенков серого цвета по направлениям доминирующих выносов примесей. Дальнейший анализ снимков позволил выявить наличие функциональной связи между изменениями тонов серого цвета по мере удаления от источника и динамикой уменьшения концентраций примесей.

Полученные зависимости позволяют существенно снизить затраты на проведение наземных мониторинговых исследований загрязнения территорий в окрестностях промышленных предприятий. По ограниченному числу опорных точек наблюдений может быть проведена пространственная реконструкция полей выпадений, выполнена оценка суммарных выбросов примесей.

Секция 6. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Методы задания управления в языке Аспект

С. Б. Арыков

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: arukov@mail.ru

Процедурное (последовательное) представление алгоритмов используется во многих современных промышленных языках программирования, например, C++ или Java. Порядок выполнения операций в таком представлении жестко задан и определяется порядком следования операций в программе, а также семантикой управляющих операторов. Непроцедурное (функциональное) представление алгоритма используется в таких языках, как Haskell, Scheme и др. Порядок выполнения операций в подобных языках, как правило, определяется только информационными зависимостями, которые легко идентифицируются транслятором благодаря отсутствию распределения ресурсов.

Между этими двумя крайними подходами существует большой диапазон представлений алгоритма с различной степенью непроцедурности [1]. Чтобы задать представление алгоритма в этом диапазоне, требуются специализированные средства конструирования управления. Для решения этой задачи разработан декларативный язык Аспект [2]. В нём управление полностью отделено от вычислений и допускается плавное изменение степени непроцедурности с помощью задания частичного порядка на множестве массовых фрагментов вычислений. Выполнена реализация языка Аспект в системе программирования Аспект [3], которая подтвердила эффективность предложенного подхода на вычислительных задачах линейной алгебры.

Список литературы

1. Арыков С. Б. Асинхронная модель вычислений над общей памятью // Вестник УГАТУ. 2016. Т. 20, № 3 (73). С. 114-121.
2. Арыков С. Б. Язык программирования Аспект // Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313, № 5. С. 89–92.
3. Arukov S. B., Malyshkin V. E. Asynchronous Language and System of Numerical Algorithms Fragmented Programming // LNCS. 2009. Vol. 5698. Pp. 1–7.

Обеспечение поддержки вычислений на GPU в системе фрагментированного программирования LuNA

Н. А. Беляев, В. А. Перепёлкин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: perepelkin@ssd.scc.ru

В области научного моделирования на параллельных вычислителях с распределённой памятью существенный прирост производительности часто можно достичь за счёт использования специализированных вычислителей, таких как GPU. На текущий момент разработка параллельной программы, использующей как GPU, так и CPU является в общем случае сложной задачей, требующей знаний особенностей как прикладной задачи, так и аппаратного обеспечения, а также владения навыками программирования на GPU. В связи с этим актуальной является задача автоматизации конструирования таких программ, освобождающая прикладного программиста от необходимости знания деталей организации GPU и особенностей программирования на GPU. Работа посвящена автоматизации использования GPU в системе фрагментированного программирования LuNA [1], разрабатываемой в ИВМиМГ СО РАН.

Список литературы

1. Victor E. Malyshkin, Vladislav A. Perepelkin. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem // Parallel Computing Technologies. 11th International Conference, PaCT 2011, Proceedings. LNCS 6873. Springer, 2011. pp. 53-61.

Алгоритм расчета ортоскопических картин тонких пластинок анизотропных прозрачных кристаллов и его верификация

Л. Ф. Васильева¹, В. А. Дебелов¹, Р. А. Шеленаев²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН

E-mail: debelov@oapmg.sgcc.ru

В реалистической компьютерной графике интенсивные исследования ведутся в направлении создания математических моделей взаимодействия света с объектами трехмерных сцен. При этом основное внимание уделяется не только скоростным характеристикам новых алгоритмов, но и физической корректности новых моделей. Физическую корректность алгоритмов рендеринга часто верифицируют на основе сравнения фотографии реальной сцены с синтезированным изображением аналогичной виртуальной сцены. При разработке модели взаимодействия света с оптически анизотропными прозрачными минералами реализован робастный алгоритм [1]. Эксперименты по проверке его физической корректности изложены в работе [2]. Область применения алгоритма была ограничена сценами с некогерентными источниками света, т.е. в отсутствии интерференции. Такая ситуация наиболее обычна в реальном мире.

Один из методов исследования прозрачных минералов – это наблюдение интерференционных картин тонких срезов этих минералов при помощи поляризационного микроскопа. Для того чтобы правильно рассчитывать такие картины, модель и алгоритм были модифицированы. В докладе рассматривается данный шаг эволюции алгоритма и процесс верификации его физической корректности, заключающийся в разработке частичной компьютерной модели поляризационного микроскопа для получения ортоскопических интерференционных картин.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00762).

Список литературы

1. Debelov V.A., Kozlov D.S. A Local Model of Light Interaction with Transparent Crystalline Media. // IEEE Transactions on visualization and computer graphics. – Vol. 19, No. 8. – 2013. – P. 1274 – 1287.

2. Debelov V. A., Kozlov D. S. Rendering of translucent objects, verification and validation of algorithms // Proc. of the WSCG'2012, Plzen, 25–28 June 2012. P. 189–196.

Реагирование вычислительных программ на изменения в доступности ресурсов

М. А. Городничев, И. В. Софронов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: maxim@ssd.sgcc.ru

Выполнение параллельных программ на высокопроизводительных вычислительных системах, как правило, предполагает, что пользователь ставит задачу в очередь системы управления прохождением задач (СУПЗ), формируя запрос на определенное количество вычислительных ресурсов (узлов/ядер). Практически невозможно встретить ситуацию, когда программа и СУПЗ предусматривают возможность динамического изменения количества вычислительных ресурсов, доступных исполняющейся программе. Из-за этого расчеты не начинаются, пока СУПЗ не накопит полный объем ресурсов в соответствии с запросом, даже если часть ресурсов доступна сразу. Уже высвободившиеся из под завершившихся задач ресурсы могут простаивать в ожидании. Также программа не может продолжать выполняться в результате сбоя отдельных узлов: ее необходимо ставить в очередь заново. В докладе рассматриваются задачи системного программирования, которые требуется решить для обеспечения динамического реагирования прикладных программ на изменения в доступности

ресурсов, предлагается библиотека для повышения уровня динамического управления процессами в MPI-программах [1] и высокоуровневых системах программирования типа LuNA[2], демонстрируются примеры приложений.

Список литературы

1. W. Gropp and E. Lusk, "Dynamic process management in an MPI setting," Proceedings. Seventh IEEE Symposium on Parallel and Distributed Processing, San Antonio, TX, 1995, pp. 530-533.
2. V. Malyshkin, V. Perepelkin. Optimization methods of parallel execution of numerical programs in the LuNA fragmented programming system // The Journal of Supercomputing. - 2011, pp. 1-14.

Некоторые вопросы разработки параллельного ПО метода декомпозиции области

Я. Л. Гурьева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: yana@lapasrv.sccc.ru

Доклад посвящён точкам выбора, с которыми сталкивается программист, занимающейся вопросами разработки программного обеспечения и программных реализаций вычислительных алгоритмов, а именно, программами для методов декомпозиции области (МДО). Знание о наличии таких необходимых решений до этапа непосредственного кодирования позволит более детально и эффективно подойти к реализации конкретного алгоритма МДО на некотором языке программирования высокого уровня. Для параллельной программной реализации двухуровневого итерационного МДО для решения СЛАУ большой размерности ставятся вопросы, ответы на которые нужно получить до начала кодирования МДО. Рассматривается понятие действия матрицы, выражаемого некоторым оператором, соответствующая матрица которого в явном виде неизвестна (в том смысле, что отсутствует её представление в виде портрета и элементов). Подход RAS (Restricted Additive Schwarz) описывается как работа с индексными множествами в представлении векторов. Описывается порядок обмена данными в программе МДО и синхронизация вычислений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта офи-м 16-29-15122) и Российского научного фонда (код проекта 14-11-00485).

Анализ исполнения фрагментированных программ по модели SLOW

С. Е. Киреев¹, В. С. Литвинов²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

E-mail: kireev@ssd.sccc.ru

Исполнение параллельных фрагментированных программ на мультикомпьютерах предполагает одновременное асинхронное выполнение многих фрагментов вычислений (ФВ) и передач фрагментов данных по сети [1]. Высокая динамика исполнения затрудняет выявление ключевых факторов, послуживших причиной падения эффективности распараллеливания. Целью работы является выявление этих факторов. За основу анализа взята модель SLOW [2]. Разработан алгоритм, позволяющий разделить временные затраты на исполнение фрагментированной программы по следующим факторам: полезная работа, степень параллелизма алгоритма + управление порядком исполнения ФВ, скорость коммуникационной подсистемы + распределение ресурсов, работа исполнительной подсистемы.

Работа поддержана проектами Президиума РАН II.2.П/1.3-1, II.2.П/1.4-1.

Список литературы

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A. LuNA Fragmented Programming System, Main Functions and Peculiarities of Run-Time Subsystem // PaCT-2011 proceedings, Springer, LNCS 6873 (2011), pp. 53-61.
2. H. Kaiser, T. Heller, B. Adelstein-Lelbach, A. Serio, D. Fey, HPX: A Task Based Programming Model in a Global Address Space // Proc. of the 8th International Conference on PGAS Programming Models, 2014.

Ускорение итерационных методов декомпозиции для решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках в гибридной вычислительной среде

И. А. Климонов, В. Д. Корнеев, В. М. Свешников

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: victor@lapasrv.ssc.ru

Данный доклад является развитием работ авторов [1, 2]. Рассматривается вариант метода декомпозиции на базе прямой аппроксимации уравнения Пуанкаре Стеклова на интерфейсе. Декомпозиция расчетной области на подобласти осуществляется структурированной макросеткой. В каждой подобласти строится своя структурированная подсетка. Уравнение Пуанкаре Стеклова аппроксимируется на сетках, вводимых на ребрах и гранях макросетки, входящих в интерфейс. Объединение данных сеток и подсеток в подобластях образуют квазиструктурированную сетку, на которой решается исходная краевая задача.

Для ускорения итерационного процесса по подобластям предлагается следующий алгоритм. Предварительно аппроксимируется и решается исходная краевая задача на макросетке. Полученное в узлах макросетки решение интерполируется в узлы сетки на интерфейсе и берется в качестве начального приближения для итерационного процесса по подобластям. Его распараллеливание осуществляется на CPU средствами MPI. Распараллеливание решения краевых подзадач в подобластях, которое является наиболее трудоемкой составляющей, проводится на графических ускорителях GPU средствами CUDA. Даны результаты численных экспериментов, показывающие ускорение вычислений.

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

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. Pp. 141-149.
2. Климонов И. А., Корнеев В. Д., Свешников В. М. Технологии распараллеливания решения трехмерных краевых задач на квазиструктурированных сетках в гибридной вычислительной среде CPU+GPU // Выч. методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2016. Т. 17. № 1. С. 65-71.

Организация параллельных вычислений дополнения Шура в прямом алгоритме решения 3-мерного уравнения Гельмгольца.

В. И. Костин, С. А. Соловьев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

E-mail: 511ssa@mail.ru

На примере факторизации матриц, возникающих в результате конечноразностной аппроксимации 3х-мерного уравнения Гельмгольца, мы демонстрируем прием, позволяющие улучшить MPI-масштабируемость алгоритма на кластерах с большим числом узлов. Для этого факторизация блочных столбцов и строк, соответствующих узлам дерева исключения среднего уровня, совмещается с частичными вычислениями и пересылками дополнения Шура для узлов верхнего уровня. Таким образом, к началу факторизации элементов матрицы, соответствующим узлам дерева верхнего уровня, основная работа по вычислению их дополнений Шура уже сделана и собрана на одном кластерном узле. Соответственно, непараллельная часть алгоритма (непосредственная факторизация элементов) занимает меньшее время, что позволяет достигнуть MPI-масштабируемости, близкой к идеальной, вплоть до 16 кластерных узлов.

Работа поддержана грантом РФФИ 16-05-00800 и программой "Арктика" Российской академии наук.

Клиент-серверная система визуализации больших объемов трехмерных данных суперкомпьютерного моделирования

Е. О. Кривошеин¹, Н. В. Снытников²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: st1gy521@gmail.com

При суперкомпьютерном моделировании астрофизических процессов [1] или решении задач инженерного проектирования [2] (например, обработки данных трехмерного сканирования в САПР) возникает необходимость работы с большими объемами трехмерных данных - облаков точек. Их характерный размер - миллиарды точек, и требуется обеспечить возможность хранения, распределенного доступа, визуализации и синхронизированной обработки несколькими пользователями в режиме общего редактирования.

Разработаны программная архитектура, алгоритмы и реализация распределенной клиент-серверной системы: облака точек хранятся непосредственно на сервере в виде октодеревя [3], по запросу пользователя происходит передача данных на клиентскую машину и дальнейшая визуализация в браузере с выбором необходимой степени детализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00916)

Список литературы

1. Снытников Н. В. Масштабируемый параллельный алгоритм для моделирования трехмерной динамики гравитирующих систем методом частиц // Вестник УГАТУ. 2016. Т. 20. С. 137-142.
2. А. Г. Ершов, И. А. Рыков, Н. В. Снытников. Как создается инженерное наукоемкое ПО мирового класса // Наука из первых рук, номер 2 (50). 2013. С.80-95.
3. Potree Cloud Viewer // www.potree.org.

Реализации алгоритма клеточно-автоматной интерференции на мультикомпьютерах

В. П. Маркова, М. Б. Остапкевич

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: ostap@ssd.ssc.ru

В работе предлагается параллельная реализация алгоритма клеточно-автоматной интерференции двух волн с использованием технологии фрагментированного программирования и базирующейся на ней системы LuNA. Технология базируется на стратегии управления потоками данных. В отличие от большинства современных технологий, технология фрагментированного программирования и LuNA наряду с такими технологиями, как StreamIt и Lift реализуют унифицированный подход к реализации параллельных программ на гетерогенных мультикомпьютерах. Программа на LuNA содержит описания фрагментов данных, фрагментов вычислений и информационные зависимости между ними.

Результаты сравнения параллельных реализаций в LuNA и MPI показали, что время выполнения программы в текущей версии LuNA больше, чем в MPI. Это связано с особенностями алгоритмов распределения, поиска и пересылок фрагментов данных и фрагментов вычислений на кластере. Сложность построения LuNA программы существенно ниже, чем программы.

Работа выполнена в рамках работ по проектам РАН 14.1 и 15.4 программы фундаментальных исследований президиума РАН

Распределенное численное статистическое моделирование ветвящихся процессов с учетом архитектуры суперЭВМ

М. А. Марченко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: marchenko@sscc.ru

В докладе предлагается методика распараллеливания алгоритмов численного статистического моделирования траекторий ветвящихся случайных процессов с учетом архитектуры гибридных

вычислительных системах. Приводится формула для оценки ускорения от распараллеливания. Используются распределительный способ получения псевдослучайных чисел и методика распределенного численного статистического моделирования [1-3]. Разработанная методика апробирована при моделировании процесса развития электронных лавин в газе [4].

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 15-01-08988, 15-01-09230, 15-01-00894, 16-01-00755, 16-01-00530; программы фундаментальных исследований Президиума РАН I.33П.

Список литературы

1. Марченко М. А., Михайлов Г. А. Распределенные вычисления по методу Монте-Карло // Автоматика и телемеханика. 2007. № 5. С. 157–170.
2. Marchenko M. A. PARMONC – A Software Library for Massively Parallel Stochastic Simulation // Lecture Notes in Computer Science. 2011. Vol. 6873. P. 302–315.
3. Марченко М. А. Документация для библиотеки PARMONC: [Электронный ресурс] // Центр коллективного пользования «Сибирский Суперкомпьютерный центр». URL: <http://www2.sccc.ru/PPP/Mat-Libr/parmonc.pdf> (дата обращения: 30.05.2017).
4. Lotova G. Z., Marchenko M. A., Mikhailov G. A. et al. Numerical statistical modelling algorithms for electron avalanches in gases // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2014. Vol. 29, no. 4. P. 251–263.

О выборе критерия переконфигурирования нагрузки в задачах клеточно-автоматного моделирования газопорошковых потоков

Ю. Г. Медведев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: medvedev@ssd.sccc.ru

В параллельной программной реализации клеточных автоматов с целочисленным алфавитом возникает проблема неравномерной загруженности ядер вычислительного кластера. Применяется диффузионная балансировка с возможностью передачи нагрузки между ядрами после каждой итерации в зависимости от времён выполнения на соседних ядрах [1–2].

В работе исследован разностный критерий необходимости переконфигурирования между ядрами. Он предполагает сравнение абсолютного времени выполнения задания соседними ядрами на каждой итерации. Переконфигурирование инициируется при превышении порога, заданного в единицах измерения времени. Произведено сравнение с ранее использовавшимся критерием, в котором порог переконфигурирования определяется как отношение времен выполнения задания соседними ядрами. Новый подход показал повышение степени сбалансированности и лучшую масштабируемость.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН (Проект 15.6).

Список литературы

1. Medvedev Yu. Dynamic Load Balancing for Lattice Gas Simulations on a Cluster // V. Malyshev (Ed.): PaCT 2011, LNCS 6873, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2011), pp. 175–181.
2. Медведев Ю. Г. Динамическая балансировка нагрузки кластера в программном комплексе моделирования газопорошковых потоков // Восьмая Сибирская конференция по параллельным и высокопроизводительным вычислениям: Тезисы докладов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. С. 17–18.

Параллельный метод расчёта надёжности сетей

Д. А. Мигов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: mdinka@rav.sccc.ru

Рассматривается наиболее известный показатель сетевой надёжности – вероятность связности сети с ненадёжными каналами связи и абсолютно надёжными узлами. Предлагается параллельная реализация метода факторизации для расчёта данного показателя надёжности на суперЭВМ с распределенной памятью. Исследуется масштабируемость предложенного алгоритма.

Векторизация Sweeping методов решения уравнения эйконала для задач сейсмологии

А. А. Никитин, А. С. Сердюков, А. А. Дучков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

E-mail: NikitinAA@ipgg.sbras.ru

Решение прямой кинематической задачи расчета времен пробега сейсмических волн является важнейшим элементом во многих алгоритмах обработки сейсмических данных, таких как сейсмическая томография, миграция и др. Математически кинематика сейсмических волн описывается так называемым уравнением эйконала [1]. В связи с большими объемами данных, характерных для сейсмических приложений, актуальной задачей является разработка высокоэффективных параллельных алгоритмов решения данного уравнения.

В работе представлена новая версия параллельного Block Sweeping метода [2] решения уравнения эйконала для вычислительных систем с общей памятью, использующая SIMD-расширения архитектуры x86 для векторизации вычислений на современных многоядерных ЦПУ данной архитектуры и сопроцессорах Intel Xeon Phi.

Список литературы

1. Cerveny V. Seismic ray theory. Cambridge University Press, 2005.
2. Никитин А. А. , Сердюков А. С. , Дучков А. А. Оптимизация параллельных Sweeping методов численного расчета времен пробега сейсмических волн для вычислительных систем с общей памятью // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. 2016. Т. 1. С. 244-248.

RPPU – среда для организации вычислений на ПЛИС

М. Б. Остапкевич

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: ostap@ssd.ssc.ru

В последнее время широкое распространение получили мультикомпьютеры с неоднородными узлами, содержащими такие вычислительные устройства, как графический сопроцессор и ПЛИС. Построение эффективных реализаций счетных алгоритмов на таких мультикомпьютерах весьма трудоемко.

В работе предлагается концепция и пробная реализация среды для реализации алгоритмов клеточно-автоматного моделирования на ПЛИС. Цель построения предлагаемой среды – упростить реализацию таких алгоритмов для исследователей клеточно-автоматных моделей. Это достигается двумя способами. Во-первых, среда предоставляет все необходимые для вычислений вспомогательные функции: обмен данными с ПЛИС, конфигурацию и управление счетными модулями на ПЛИС и т.д. Во-вторых, пользователю дается готовая реализация счетного сопроцессора, которую можно адаптировать под заданный счетный алгоритм. Среда базируется на реализации управляющего процессора и сопроцессора RPPU[1].

Работа выполнена в рамках работ по проектам РАН 14.1 и 15.4 программы фундаментальных исследований президиума РАН

Список литературы

1. Aillet A., Gougeon A., Lorenz R., Ostapkevich M. Реализация спецвычислителя для клеточно-автоматных моделей с использованием ПЛИС // В сб. Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики. 2015. С. 900-905.

Два подхода к управлению компиляцией: синтаксическое и событийное управление

И. Н. Скопин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: iskopin@gmail.com

Практика показывает, что умения разрабатывать программы, реализующие сложные алгоритмы, недостаточно, когда требуется создавать программный продукт для многократного использования.

Проблемы усугубляются, если разрабатываемая программа включается в качестве части другого программного обеспечения, в частности, при разработке библиотек. В этом случае предоставление инструментов без должной поддержки того, как их использовать, и где их применять не стоит, становится препятствием для эффективной работы пользователей. И даже руководства, содержащие обширные сведения об алгоритмах, реализованных в библиотеке, не очень помогают, если не в проекте не предусмотрена специальная поддержка пользовательской деятельности, связанной с применением создаваемых инструментов.

Выход из положения видится в том, чтобы снабжать библиотеки средствами автоматизации операционных маршрутов деятельности пользователей. Понятно, что таких маршрутов очень много, не все они очевидны разработчикам инструментов, и трудно ожидать, что при проектировании библиотеки будут заранее известны реально требуемые средства. По этой причине предлагается планировать построение библиотеки как развиваемой системы, обеспечивающей адаптивность проекта к актуальным потребностям. Как следствие, необходимо обеспечивать итеративное развитие проекта.

В докладе предлагается технологичная схема реализации заявленного подхода к развитию библиотечного программного обеспечения на основе конструирования типизации операционных маршрутов, которая расширяется и уточняется по мере решения задач с использованием предоставляемых инструментов. Для системы типов маршрутов, складывающейся в процессе развития проекта, разрабатываются специальные средства как интерфейсные, так и функциональные, которые дополняют комплект основных библиотечных инструментов. Предлагаемые решения даются в контексте обсуждения сложившихся и новых методологических подходов к организации проектной деятельности.

Использование данного подхода предусматривается в проекте Базовой Системы Моделирования, который развивается в Лаборатории вычислительной физики ИВМиМГ СО РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 14-07-00485.

Разработка высокомасштабируемого параллельного алгоритма для моделирования динамики плазмы

А. В. Снытников, М. А. Боронина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: snytav@ssd.sscc.ru

В физике плазмы существует необходимость проводить численное моделирование взаимодействия встречных пучков заряженных частиц с целью изучения их динамической устойчивости (исследование эффектов встречи в коллайдерах). Создан параллельный вычислительный алгоритм, способный эффективно решать задачу о моделировании динамики взаимодействия ультрарелятивистских пучков с плазмой с использованием до 10 тыс. ядер при сохранении эффективности в слабом смысле выше 90 %. Это обеспечивается за счет реализации трехмерной эйлерово-лагранжевой декомпозиции расчетной области.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 16-11-10028.

О реализации на GPU базовых ассоциативных процедур языка STAR

Т. В. Снытникова, А. Ш. Непомнящая

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: snytav@yahoo.com

Ассоциативные (контекстно адресуемые) параллельные процессоры типа SIMD с вертикальной обработкой информации ориентированы на решение задач нечисловой обработки данных. Моделирование работы таких систем описывается с помощью абстрактной модели типа SIMD (STAR-машины). В работе [1] для удобного проектирования и анализа ассоциативных параллельных алгоритмов были построены базовые ассоциативные алгоритмы, которые составляют библиотеку стандартных процедур языка STAR. В работе [2] приведена эффективная реализация на GPU простейших операций языка STAR. В данной работе приводится эффективная реализация на GPU

библиотеки стандартных процедур языка STAR. Проведено сравнение времени работы данной реализации с временем работы подобных алгоритмов из стандартных библиотек (STL на CPU и CUDA thrust на GPU). Планируется использовать представленную выше на GPU библиотеку стандартных процедур языка STAR для решения задач на графах.

Список литературы

1. Nepomniaschaya A. S. Basic associative parallel algorithms for vertical processing systems // Bulletin of the Novosibirsk Computing Center. 2009. Vol. 9. P. 63–77.

4. Снытникова Т. В., Непомнящая А. Ш. Решение задач на графах с помощью STAR-машины, реализуемой на графических ускорителях // Прикладная дискретная математика, 2016, No3(33), С. 98-115.

Оптимизация исполнения фрагментированных подпрограмм частного вида с помощью автоматически сгенерированных управляющих программ

А. А. Ткачёва

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: tkacheva@ssd.sccc.ru

Система фрагментированного программирования LuNA[1] относится к высокоуровневым декларативным системам параллельного программирования. В них существует проблема достижения приемлемой производительности по сравнению с программами, использующими традиционные средства, такие как MPI. Причинами являются накладные расходы из-за высокого уровня недетерминизма исполнения параллельной программы и то, что runtime-система LuNA принимает множество решений о распределении ресурсов и порядке исполнения операций в динамике. В работе [2] было показано, что для достижения приемлемой производительности исполнения LuNA программ можно использовать управляющие программы вместо исходного алгоритма исполнения runtime-системы LuNA. При этом управляющая программа была написана вручную и содержала частичные решения о распределении ресурсов и порядке исполнения операций. В настоящей работе рассматривается алгоритм генерации управляющих программ, разработанный для LuNA программ частного вида. Кроме того, представляются результаты тестирования производительности, где сравниваются исполнения LuNA программы в системе LuNA базовым алгоритмом, с помощью сгенерированной управляющей программы и аналогичной реализацией программы в MPI.

Список литературы

1. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A. LuNA fragmented programming system, main functions and peculiarities of run-time subsystem. PaCT 2011, vol 6873. LNCS Springer, 2011, pp 53–61.

2. Akhmed-Zaki D.Z., Lebedev D.V., Perepelkin V.A. Implementation of a three dimensional three-phase fluid flow (“oil–water–gas”) numerical model in LuNA fragmented programming system. J. Supercomputing, Vol. 73, Is. 2, 2017 - pp 624–630.

Toolkits for Distributed Development of Applied Software Packages Based on Modular Programming

A. G. Feoktistov, I. A. Sidorov, S. A. Gorsky

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

E-mail: agf65@yandex.ru

We address to the actual problem related to the development of distributed applied software packages for solving large tasks. We propose a new approach based on an integration of the conceptual and modular programming for a heterogeneous distributed computing environment. This approach includes the following main stages: structural analysis of the subject domain for the class of solved tasks, creation of a conceptual model for this domain, development of libraries of the applied software, configuring the system software of packages. The conceptual model describes parameters, operations over the parameter field, program modules (applied software) that realize the operations, computational nodes and other objects of the subject domain and environment, and relationships between the objects. Users formulate their objectives for task solving over the model in the workflow form. The system software includes high-level tools for the workflow

management in both the homogeneous clusters and heterogeneous distributed computing environment. Within the proposed approach, we represent two toolkits that provide various opportunities for creation and execution workflows taking into account the features of their subject domains. The advantages of our toolkits for such management is the large range of possibilities for the workflow description.

The study was partially supported by RFBR, projects no. 15-29-07955 and no. 16-07-00931, and Program 1.33P of fundamental research of Presidium RAS, project “Development of new approaches to creation and study of complex models of information-computational and dynamic systems with applications”.

Распределенные алгоритмы с локальными взаимодействиями для управления данными в системе фрагментированного программирования LuNA

Г. А. Шукин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: georgy.schukin@gmail.com

Система фрагментированного программирования LuNA предназначена для автоматизации конструирования параллельных программ, реализующих крупномасштабные численные модели на мультикомпьютерах с большим числом процессоров. В работе рассматриваются разработанные распределенные алгоритмы с локальными взаимодействиями для управления данными в системе LuNA [1-3]. Алгоритмы реализуют начальное распределение данных и их поиск в вычислительной системе с распределенной памятью, а также обеспечивают динамическую балансировку нагрузки. Произведено тестирование и сравнение алгоритмов на реальных вычислительных задачах.

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. Малышкин В. Э. , Перепелкин В. А. , Шукин Г. А. Распределенный алгоритм управления данными в системе фрагментированного программирования LuNA. Журнал “Проблемы информатики”, № 1(34), 2017. - С. 74-88.
3. Malyshkin V.E., Perepelkin V.A., Schukin G.A. Distributed Algorithm of Data Allocation in the Fragmented Programming System LuNA. ПАСТ-2015, Springer, LNCS vol. 9251, pp. 80-85.

Секция 7. ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ

Численные методы регуляризации задачи Дирихле для волнового уравнения

А. Н. Алимova¹, С. Е. Касенов²

¹Казахский национальный исследовательский технический университет

²Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

E-mail: anic2002@gmail.com

Рассматривается задачи Дирихле для волнового уравнения. Для численного решения задачи рассматриваются метод регуляризации А.Н. Тихонова и метод регуляризации С. К. Годунова.

Для решения задачи используется следующий подход: исходная задача записывается в дискретной постановке и сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений. Далее методом регуляризации А.Н. Тихонова и методом регуляризации С.К. Годунова решаем систему линейных алгебраических уравнений. Проведен сравнительный анализ решения задачи методами регуляризации А.Н. Тихонова и С. К. Годунова.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК №1746/ГФ4 "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач естествознания".

Список литературы

1. Kabanikhin S.I., Bektemesov M.A., Nurseitov D.B., Krivorotko O.I., Alimova A.N. An optimization method in the Dirichlet problem for the wave equation // Journal of Inverse and Ill-Posed Problems. 2012. V.20, N.2, pp. 193–211.

2. Kabanikhin S.I., Shishlenin M.A., Nurseitov D. B., Nurseitova A.T., Kasenov S.E. Comparative Analysis of Methods for Regularizing an Initial Boundary Value Problem for the Helmholtz Equation // Journal of Applied Mathematics Volume 2014 (2014), Article ID 786326, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/786326>

Конечно-разностный метод решения обратной задачи для кинетического уравнения переноса нейтронов

К. Бобоев

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: boboev@mail.ru

В области $0 \leq x \leq H$, $-1 \leq \mu \leq 1$, $t > 0$ рассмотрим кинетическое уравнение переноса излучения нейтронов для изотропного рассеяния в случае плоско-параллельной геометрии:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \mu \frac{\partial u}{\partial x} + \sigma u = \sigma_s / 2 \int_{-1}^1 u(x, t, \mu') d\mu' + f(x, t, \mu) \quad (1)$$

При начальном и граничных условиях;

$$u(0, x, \mu) = \Phi(x, \mu) \quad (2)$$

$$u(-H, \mu, t) = 0 \text{ при } \mu > 0, \quad (3)$$

$$u(H, \mu, t) = 0 \text{ при } \mu < 0. \quad (4)$$

где $u(x, t, \mu)$ – плотность потока нейтронов, $f(x, t, \mu)$ – функция источника $\sigma(x)$, $\sigma_s(x)$ – полное и микроскопическое сечение рассеяния, $-\cos$ угла, образованного заданным направлением с осью x .

Разложением в ряд по сферическим функциям из (1)-(4) можно получить t -гиперболическую систему дифференциальных уравнений первого порядка.

$$B \frac{\partial v}{\partial t} + A \frac{\partial v}{\partial x} + Dv = Bf' \quad (5)$$

Здесь B , A и D – симметричные матрицы.

Предложен конечно-разностный алгоритм решения прямой и обратной задачи для системы (5) при наличии дополнительной информации о решении прямой задачи на границе области. Проводились расчеты для решения прямой и обратной модельной задачи на основе метода обращения разностной схемы. Доказана сходимость предложенной конечно-разностной схемы.

Список литературы

1. Романов В.Г. Обратные задачи для дифференциальных уравнений.-Новосибирск: НГУ, 1973.252с.
2. Романов В.Г, Кабанихин С.И. Бобоев К. Обратная задача для –приближения кинетического уравнения переноса. ДАН СССР т.276, №2,1984.
3. Бобоев К. Обратная задача для кинетического уравнения переноса нейтронов. В сб.: Условно-корректные математические задачи и проблемы геофизики. Новосибирск,1979,с.16-22.

Об оптимальных методах аппроксимации физических полей

И. В. Бойков, А. И. Бойкова, Н. П. Кривулин, В. А. Рязанцев

Пензенский государственный университет

E-mail: I.V.Boikov@gmail.com

Физические поля различной природы (гравитационные, тепловые, электромагнитные), как правило, имеют сложную структуру, не поддающуюся аналитическому представлению. Решение многих задач техники и физики требует представления с высокой степенью точности информации о физических полях, как стационарных, так и переменных. При этом, как правило, требуется представление информации в равномерной метрике. Стандартные методы, основанные на аппроксимации полей по равноотстоящим узлам, приводят к значительным погрешностям.

Поэтому актуальными являются задачи построения равномерной (в той или иной метрике) оптимальной аппроксимации полей в заданной области. Второй актуальной задачей является построение оптимальных методов продолжения полей, заданных граничными значениями, в конечную или бесконечную область. Третьей актуальной задачей является построение оптимальных методов табулирования и передачи информации о физических полях. Решению этих задач посвящена данная работа.

Вычислительные алгоритмы состоят из нескольких этапов: 1) определяется класс функций, которому принадлежит рассматриваемое поле; 2) строится оптимальный метод аппроксимации выделенного класса функций. В частности, показано [1], что локальный сплайн с неравномерным шагом является оптимальным по порядку методом аппроксимации потенциальных полей; 3) по узлам сплайна строится разностная схема. Доказана устойчивость предложенных разностных схем. Также по узлам сплайна строятся алгоритмы табулирования.

Решение модельных примеров иллюстрирует устойчивость и точность предложенного метода.

Список литературы

1. Бойков И.В., Бойкова А.И. Приближенные методы решения прямых и обратных задач гравиразведки. Пенза: Изд-во ПГУ. 2013. 510с.

An approximate solution of hypersingular integral equations

I. V. Boikov, V. A. Roudnev, A. I. Boikova

Пензенский государственный университет

E-mail: I.V.Boikov@gmail.com

This paper describes numerical schemes based on polynomial and spline-collocation method and their justifications for approximate solutions of linear and nonlinear hypersingular integral equations with singularities of the second kind.

Considered hypersingular integral equations, polyhypersingular integral equations and multi-dimensional hypersingular integral equations, given on closed and open areas. Collocations with continuous splines and piecewise constant functions are examined for solving linear hypersingular integral equations. Uniqueness of solutions has been proved. An error of approximation has been obtained for collocation with continuous spline in case a solution of equation has derivatives up to the second order. Collocation with piecewise constant functions are examined for nonlinear hypersingular equations. The convergence of the method has been justified. An estimate of error has been obtained.

Illustrative examples demonstrate the accuracy and efficiency of the developed algorithms.

Inverse Problems for Elliptic Systems*A. L. Bukhgeim**Wichita State University**E-mail: bukhgeym@math.wichita.edu*

In this talk we will investigate several inverse problems of elliptic systems in two and three-dimensional cases.

Inverse Problems for Hyperbolic Systems*A. L. Bukhgeim¹, V. B. Kardakov²*¹*Wichita State University*²*Novosibirsk University of Architecture and Civil Engineering**E-mail: bukhgeym@math.wichita.edu*

In this talk we will investigate several inverse problems for hyperbolic systems in three-dimensional space.

Метод вариации параметров при анализе распространения волн в нелинейных средах*А. Г. Быков, Д. В. Лосев, Д. С. Бардашов**Томский государственный университет**E-mail: bykov_a_g@mail.ru*

Рассматривается задача распространения волны от одномерного точечного источника с произвольной временной зависимостью в безграничной нелинейной среде. Применение метода малых возмущений обычно приводит к неограниченному возрастанию получаемой зависимости при росте временной и пространственной переменных. В работе делается попытка построения решения, свободного от указанных ограничений, методом вариации амплитуды и времени запаздывания волны, распространяющейся в линейной среде [1]. Анализ результатов численного моделирования в квадратичной среде показывает, что во вторичном сигнале присутствуют все кратные гармоники исходного гармонического сигнала, а также промежуточные гармоники. Такое обогащение спектра во временной области соответствует все более изрезанной структуре вторичного сигнала. Для широкополосного сигнала с огибающей в виде гауссовского импульса эти эффекты сглажены и с расстоянием менее подвержены изменениям.

Список литературы

1. Лосев Д.В., Бардашов Д.С., Быков А.Г. Метод вариации параметров в задаче распространения волн в нелинейных средах // Журнал радиоэлектроники (электронный журнал), № 2, 2017. <http://jre.cplire.ru/jre/feb17/13/text.pdf>

Численное решение некоторых обратных задач математической физики*В. И. Васильев**Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова**E-mail: vasvasil@mail.ru*

В докладе речь идет о прямых и итерационных методах решения некоторых обратных задач для эллиптических и параболических уравнений конечно-разностным методом. В нем будут представлены результаты: численного решения задачи Коши для двумерного уравнения Лапласа, полученные с помощью итерационного метода сопряженных градиентов; решение граничной обратной задачи для параболического уравнения и обратной задачи Стефана, на каждом временном слое реализованные с помощью представления в виде линейной комбинации двух сеточных функций; решение обратной задачи определения правой части, зависящего от пространственных переменных, с помощью итерационного метода сопряженных градиентов. Проведенные расчеты показывают высокую эффективность предлагаемых методов решения рассматриваемых задач, в том числе и при наличии шума в условиях переопределения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00732, гранта Правительства Российской Федерации (договор No 14.Y26.31.0013).

Решение прямой кинетической задачи моделирования реакции селективного гидрирования ацетилена

С.А. Габитов¹, Н.М. Байназарова², К.Ф. Коледина², И.М. Губайдуллин²

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет

²Институт нефтехимии и катализа РАН

E-mail: salihgabitov@yandex.ru

Одним из эффективных способов очистки олефиновой (этиленовой) фракции от примесей ацетилена является гидрирование ацетилена до этилена в присутствии катализатора [1]. В качестве катализатора в данной работе рассматриваются кластеры золота. Исследования состава смеси во времени и селективности катализатора требуют решения прямой кинетической задачи, математически представляющей системой дифференциальных уравнений [2]. Наличие в схеме реакции как быстро, так и медленно протекающих реакций обуславливает жесткость задачи, что приводит к увеличению объема вычислений. Следовательно, для решения необходимо подобрать такой неявный метод, который будет обладать хорошими свойствами устойчивости [3].

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 15-07-01764А, 16-37-00063 мол_а.

Список литературы

1. Пичугина Д. А., Николаев С. А., Мухамедзянова Д. Ф., Кузьменко Н. Е.. Квантово-химическое моделирование адсорбции этилена и ацетилена на кластерах золота // Журн. физ. химии, 2014. Т. 88. № 6, с. 1–6.
2. Яблонский Г.С., Спивак С.И.. Математические модели химической кинетики. М.: Знание, 1977. 64 с.
3. А.А. Самарский, А.В. Гулин. Численные методы. – М.: Наука, 1989. – С. 251.

Balayage–метод А. Пуанкаре и его численная реализация на основе теории потенциала

Ю. В. Гласко

Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ

E-mail: glaskoyv@mail.ru

В данном сообщении мы рассмотрим предложенный А. Пуанкаре метод выметания [1]. Потенциал гравитационного поля на границе можно рассчитать на основе конечно-разностной аппроксимации уравнения Пуассона для области, где сконцентрированы массы и уравнения Лапласа в остальных точках объемлющей области либо посредством конечно-элементного метода Д. Зидарова.

Вместе с тем, рассмотрим внутреннюю задачу Дирихле для уравнений Пуассона-Лапласа. Предлагается искать решение, используя систему сжимающихся простых и двойных слоев. При этом продолжаемая с границы либо с очередного слоя функция может быть гармонической или же представлять сумму гармонической и финитной (негармонической) функций. Соответственно, если нарушено условие гармоничности на текущем слое, то там следует оставить финитную компоненту.

При реализации 2D алгоритма в зависимости от шага сетки имеем определенное количество внутренних слоев. В качестве условия "продолжения масс" со слоя примем конечно-разностный аналог гармоничности и требование положительности.

Работа выполнена в рамках НИР "Создание и развитие информационных систем МГУ" (договор № 14).

Список литературы

1. Пуанкаре А. Избранные труды. Том 3. М.: Наука. 1974.

Optimizing convolution kernel for image processing systems on a continuous plane with inaccurate information on distortion

P. V. Golubtsov

МГУ им. М. В. Ломоносова

E-mail: golubtsov@physics.msu.ru

We study a problem of designing an optimal two-dimensional circularly symmetric convolution kernel (or point spread function (PSF)) with a circular support of radius R . Such function will be optimal for estimating an unknown signal (image) from an observation obtained through a convolution-type distortion with the additive random noise. This technique is then generalized to the case of imprecisely known or random PSF of the measurement distortion. It is shown that in general construction of the optimal convolution kernel reduces to a one-dimensional Fredholm equation of the first kind on the interval $[0, R]$. If the additive noise is uncorrelated (white), it can be reduced to a Fredholm equation of the second kind. Numerical solution of such equation often reduces to a finite dimensional problem. However, it might be more natural from the very beginning to search for the reconstruction PSF in a certain finite-dimensional class of functions. Such problem naturally reduces to finite-dimensional optimization problem or even a system of linear equations. We also analyze how reconstruction quality depends on the radius of the convolution kernel. It allows finding a good balance between computational complexity and quality of the image reconstruction.

Восстановление разрывов тензорного поля по его лучевым преобразованиям вдоль геодезических

Е. Ю. Деревцов, С. В. Мальцева

Институт математики СО РАН

E-mail: sv_maltseva@mail.ru

Рассматривается задача восстановления линий разрыва тензорного поля, заданного в единичном круге с известной римановой метрикой. Рассматриваемая задача является обобщением задачи восстановления разрыва функции по ее преобразованию Радона [1]; обобщение заключается в переходе от функций к векторным и тензорным полям и переходе от евклидовой метрики к римановой. Данными для задачи являются значения лучевых преобразований, вычисленные вдоль криволинейных геодезических. Для решения задачи построены операторы индикатора разрывов [2], включающие в себя обратное проецирование, примененное к лучевым преобразованиям, и дифференцирование по пространственным переменным. В качестве тестовых полей в численных экспериментах использованы скалярные, векторные и симметричные 2-тензорные поля. В качестве данных для задачи восстановления точек разрыва являются продольное, смешанное и поперечное лучевые преобразования, вычисленные по геодезическим.

Список литературы

1. Vainberg E. I., Kazak I. A., Faingoiz M. L. X-ray computerized back projection tomography with filtration by double differentiation. Procedure and information features // Soviet J. Nondest. Test. 1985. N 21. P. 106–113.
2. Деревцов Е.Ю., Мальцева С.В. Восстановление сингулярного носителя тензорного поля, заданного в рефрагирующей среде, по его лучевым преобразованиям // СибЖИМ, 2015, т. 18, N 3, стр. 11-25.

Determination of the initial condition in parabolic equations

N. Dinh¹, T. Nguyen², X. Phan³

¹Hanoi Institute of Mathematics, VAST

²Thai Nguyen University, Thai Nguyen, Vietnam

³Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

E-mail: hao@math.ac.vn

The problem of determining the initial condition in parabolic equations from boundary and interior observation is very important in practice. It is unfortunately ill-posed. We propose an efficient variational method for solving it in a stable way. Discretization methods (such as finite difference method, finite

element method and boundary element method) with convergence results are suggested for the variational problems. Numerical results are presented for showing the accuracy of the algorithms.

О свойствах однородных векторных систем

А. О. Егоршин

Институт математики СО РАН

E-mail: egorshin@math.nsc.ru

Возникают эти системы в некоторых вариационных задачах. Они обладают определенным базисом, которым может обладать не любое подпространство. В этом сообщении устанавливается критерий наличия у подпространства такого базиса. Однородные векторные системы играют основную роль в постановке и решении вариационных задач кусочно-линейной динамической аппроксимации сигналов и функций. В число этих задач входят задачи сглаживания, фильтрации сигналов и функций, а также задачи анализа и идентификации (математического моделирования) динамических процессов на конечных интервалах. Речь идет о следующем типе вариационных задач [1].

Функционал – среднеквадратичное рассогласование на некоторой равномерной сетке в заданном конечном интервале I отсчетов исходной (аппроксимируемой) и сглаженной (аппроксимирующей) функции. Последняя подчинена одному из двух ограничений, эквивалентность которых показана в автором: ее отсчеты на сетке в I либо удовлетворяют обыкновенному линейному разностному уравнению с постоянными коэффициентами, либо они есть отсчеты решения в I дифференциального уравнения этого же типа. Коэффициенты как дифференциального, так и разностного уравнений могут быть неизвестны. В этом случае они оптимизируются для наилучшей аппроксимации (идентификация процесса, функции).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00592).

Список литературы

1. Егоршин А. О. Идентификация стационарных моделей в унитарном пространстве // Автоматика и телемеханика. 2004. Т. 65(12). С. 29–48.

Задача об оценке погрешности приближенного решения в точке при решении обратной задачи ФТТ

А. А. Ершова

Южно-уральский государственный университет

E-mail: anya.erygina174@gmail.com

В работе рассматривается оценка точности метода регуляризации А.Н. Тихонова с параметром регуляризации, выбранного из принципа невязки при решении задачи определения фоновонного спектра кристалла по его теплоемкости зависящей от температуры.

Связь энергетического спектра бозе-системы с ее теплоемкостью, зависящей от температуры, описывается интегральным уравнением первого рода

$$Sn(\varepsilon) = \int_0^\infty S\left(\frac{\varepsilon}{\theta}\right) \frac{\varepsilon}{\theta} n(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{C(\theta)}{\theta}; \quad 0 \leq \theta < \infty, \quad (1)$$

где $S(x) = \frac{x^2}{2sh^2(\frac{x}{2})}$, $C(\theta)$ – теплоемкость системы, $\theta = kT$, T – абсолютная температура, а k – константа, определяемая системой, $n(\varepsilon)$ – спектральная плотность.

При некотором приближении $\frac{C_\delta(\theta)}{\theta}$ и уровне погрешности $\delta > 0$ такие, что

$$\left\| \frac{C_\delta(\theta)}{\theta} - \frac{C_0(\theta)}{\theta} \right\|_H \leq \delta,$$

где H – действительное пространство, измеримых на $[0, \infty)$ функций.

Требуется определить приближенное решение $n_\delta(\varepsilon)$ и оценить уклонение $\|n_\delta(\varepsilon) - n_0(\varepsilon)\|$ от точного решения $n_0(\varepsilon)$.

Предполагая, что при $\frac{C(\theta)}{\theta}, n(\varepsilon) \in H$, то уравнение (1) становится некорректной задачей.

Вариационная задача для (1) имеет вид:

$$\inf \left\{ \int_0^\infty \left[\int_0^\infty S\left(\frac{\varepsilon}{\theta}\right) \frac{\varepsilon}{\theta} n(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} - \frac{C_\delta(\theta)}{\theta} \right]^2 \frac{d\theta}{\theta} + \alpha \int_0^\infty [n'(\varepsilon)]^2 \varepsilon d\varepsilon + \alpha \int_0^\infty n^2(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} : n(\varepsilon) \in H^1[0, \infty) \right\},$$

где $H^1[0, \infty)$ – гильбертово пространство, определяемое нормой

$$\|n(\varepsilon)\|_{H^1[0, \infty)}^2 = \int_0^\infty \frac{n^2(\varepsilon)}{\varepsilon} d\varepsilon + \int_0^\infty [n'(\varepsilon)]^2 \varepsilon d\varepsilon, \text{ а } \alpha > 0.$$

Параметр регуляризации регуляризации находится из уравнения

$$\int_0^\infty \left[\int_0^\infty S\left(\frac{\varepsilon}{\theta}\right) \frac{\varepsilon}{\theta} n_\delta^\alpha(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{\varepsilon} - \frac{C_\delta(\theta)}{\theta} \right]^2 \frac{d\theta}{\theta} = \delta^2,$$

которое имеет единственное решение $\bar{\alpha}(C_\delta, \delta)$. Приближенное решение $n_\delta(\varepsilon)$ уравнения определяется формулой

$$n_\delta(\varepsilon) = n_\delta^{\bar{\alpha}(C_\delta, \delta)}(\varepsilon),$$

а уклонение приближенного решения от точного

$$\|n_\delta(\varepsilon) - n_0(\varepsilon)\| \leq \frac{2r}{\sqrt{1 + \frac{1}{\pi^2} \ln^2\left(\frac{2r}{3\delta}\right)}}.$$

Изучение чувствительности алгоритма решения обратной задачи для уравнения геоэлектрики

*К. Т. Искаков, Н. Узаккызы, А. Т. Кусаинова
Евразийский университет им. Л. Н. Гумилева
E-mail: kazizat@mail.ru*

В работе рассматривается задача о распространении электромагнитных волн в среде, электромагнитные свойства, которых зависят только от глубины. Исследована ранняя стадия процесса электромагнитного поля, которая содержит полную информацию об электромагнитных свойствах среды и может быть использована для определения этих свойств. Анализ чувствительности алгоритма решения прямой задачи к изменениям параметров среды, проведен по аналогии как в работе [1]. Получены количественные характеристики влияния параметров среды на измеряемый отклик. Для решения обратной задачи использован метод обращения разностной схемы [2].

Изучена разрешающая способность алгоритма решения обратной задачи. Эти исследования, а именно анализ чувствительности алгоритма решения прямой задачи и определение характеристик разрешающей способности алгоритма решения обратной задачи выдвигают определенные требования к используемому георадару.

Работа поддержана грантом МОН РК, по договору № 266 от 09.03.2017 г.

Список литературы

1. Кабанихин С.И., Мартаков С.В., Табаровский Л.А., Шифон Н.Я. Изучение диэлектрической проницаемости околоскважинного пространства в ранней стадии процесса становления // Исследования по условной корректности задач математической физики. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1989. С.40-59.
2. В.Г. Романов, С.И. Кабанихин. Обратные задачи геоэлектрики. – М.: Издательство Наука, 1991. С.304.

Уравнение переноса и преобразование Функа – Минковского*С. Г. Казанцев**Институт математики СО РАН**E-mail: kazan@math.nsc.ru*

В работе рассматривается метод сферических гармоник для линейного стационарного уравнения переноса [1–2]. С помощью преобразования Функа – Минковского [3] очень просто и в компактной форме получены уравнения для P_n приближений. Также для главной части уравнения переноса решается обратная задача с новой формулой определения функции источников.

Список литературы

1. Владимиров В.С. Математические задачи односкоростной теории переноса частиц // Тр. Матем. ин-та им. Стеклова АН СССР. 1961. Т. 61, С. 3–158.
2. Марчук Г.И., Лебедев В.И. Численные методы в теории переноса нейтронов. М.: Атомиздат, 1981.
3. Гельфанд И. М., Гиндикин С. Г., Граев М. И. Избранные задачи интегральной геометрии. М.: Добросвет, 2010.

Численное решение прямой и обратной задачи для уравнения Гельмгольца*С. Е. Касенов¹, Д. Б. Нурсеитов², М. А. Шишленин³*¹*Казахский национальный университет им. Аль-Фараби*²*Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева*³*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**E-mail: syrym.kasenov@mail.ru*

Рассматриваются некорректная начально-краевая задача для уравнения Гельмгольца. Для численного решения задачи сначала сведем ее к обратной задаче, по отношению к некоторой прямой (корректной) задаче. Далее сведем решение операторного уравнения к задаче минимизации целевого функционала. Для минимизации целевого функционала будем использовать метод итераций Ландвебера с комбинацией метода покоординатного спуска.

Полученные численные результаты решения начально-краевой задачи для уравнения Гельмгольца, в которой вместе с данными на поверхности используются данные в глубине, показывают, что если мы хотим посчитать задачу продолжения в квадрате, то лучше измерить данные побольше и поглубже и начать решать задачу в большом квадрате. Это дает более устойчивое решение.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК №1746/ГФ4 "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач естествознания".

Список литературы

1. Годунов С.К., Антонов А.Г., Кирилук О.И., Костин В.И. Гарантированная точность решения систем линейных уравнений в евклидовых пространствах. — Новосибирск: Наука, 1988. — 456 с.
2. Kabanikhin S.I., Shishlenin M.A., Nurseitov D. B., Nurseitova A.T., Kasenov S.E. Comparative Analysis of Methods for Regularizing an Initial Boundary Value Problem for the Helmholtz Equation // Journal of Applied Mathematics Volume 2014 (2014), Article ID 786326, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/786326>
3. Syrym Kasenov, Altyn Nurseitova and Daniyar Nurseitov A conditional stability estimate of continuation problem for the Helmholtz equation // AIP Conference Proceedings. – 2016. – V. 1759, 020119
4. Бектемесов М.А., Кабанихин С.И., Нурсеитов Д.Б., Касенов С.Е. Численное решение начально-краевой задачи для уравнения Гельмгольца // Сибирские электронные математические известия. – 2014. – Т. 11. – №. 0. – С. 4-21.

Asymptotically stable output of a multidimensional nonlinear object into a given set of states*S. I. Kolesnikova**Национальный исследовательский Томский государственный университет**E-mail: skolesnikova@yandex.ru*

Control object is represented by a system of ordinary differential or difference equations with a partially unknown description, e. g. [1, 2]:

$$\dot{x}(t) = f(x, \theta, u), x \in R^n, u \in R^m, \theta \in R^k, m \leq n, k \leq n,$$

where x – vector of states, u – vector of control variables, f – nonlinear vector function; some of the components of the vector f are unknown.

It is assumed that the following conditions are right: 1) there is a global stability of the target system for the initial model; 2) target manifold can be defined analytically with implicit description; 3) all solutions of the initial system are bounded.

Basic provisions of the algorithm for constructing control of an object with incomplete description

Control structure in accordance with the classical method of analytical constructing of aggregated regulators [1] is formed.

The replacement of the unknown description with the upper bounds of the state in the regulator is carried out.

Problem of achieving the target manifold is posed and an algorithm based on the non-linear adaptation method is used, which guarantees the output of the control object to a neighborhood of the given manifold.

This work was supported by grant 17-08-00920 from the Russian Foundation for Basic Research.

References

1. Kolesnikov A.A. Synergetics and problems of control theory: Collected articles / edited by A.A. Kolesnikov. FISMATLIT, Moscow, 2004.
2. S.Kolesnikova: Nonlinear regulator with disturbance compensatio. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing, Vol. 51, No. 4, 2015.

Приближенное вычисление функционалов от решений нелинейных некорректно поставленных обратных задач с линейной оценкой точности

A. С. Леонов

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ

E-mail: ilposed@sumail.ru

Рассматривается нелинейное операторное уравнение с непрерывным и инъективным оператором в банаховом пространстве. Данные уравнения – оператор и правая часть – известны с погрешностями. Необходимо, используя такие данные, вычислить приближенные значения заданного функционала от точного решения этого уравнения. Задача такого рода может быть решена различными методами с различной оценкой точности. Возникает вопрос: для каких операторов и функционалов и для каких методов можно найти приближенное значение функционала с той же точностью, с которой заданы данные задачи. Процедуры вычисления приближенного значения функционала с такой точностью называются методами с линейной (по уровню возмущения данных) оценкой точности. В докладе указывается класс задач, для которых существуют методы с линейной оценкой точности, и предлагается реализация такого метода. Эти результаты развивают теорию, предложенную [1]. Теоретические положения иллюстрируются численным примером.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-51-53002-ГФЕН_а).

Список литературы

1. Leonov A.S. Linear estimates of accuracy for approximate solutions of inverse problems // *Applicable Analysis*, V. 94, Issue 5, May 2015, pages 980-990.

Multi-frequency inverse acoustic source problems*S. Lu, J. Cheng, V. Isakov**School of Mathematical Sciences, Fudan University**E-mail: slu@fudan.edu.cn*

In this talk, we investigate an interior Helmholtz inverse source problem with multiple frequencies. By implementing sharp uniqueness of the continuation results and exact observability bounds for the wave equation, a (nearly Lipschitz) increasing stability estimate is explicitly obtained for Cauchy measurements in a non-empty wave-number interval. With a specific geometric domain, an iterative/recursive reconstruction algorithm is proposed aiming at recovering unknown sources by the multifrequency boundary measurement. Both convergence and error estimates are derived to guarantee its reliability. Numerical examples verify the efficiency of our proposed algorithm. It is a joint work with Prof. Jin Cheng and Prof. Victor Isakov.

Решение эволюционной обратной задачи для уточнения геологической структуры в областях соляной тектоники*Б. В. Лунёв, В. В. Лапковский, М. С. Канаков, А. С. Застрожных**Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН**T-mail: bobvalmail@mail.ru*

Для определения структуры объектов соляной тектоники в зонах, исследование которых сейсморазведкой затруднено, или невозможно, используется восстановление сформировавшей эти объекты эволюции. Задача решается путем расчета различных вариантов эволюции, возможных в рамках имеющихся данных о геологическом строении исследуемого участка, и подбора такого варианта, который дает актуальное положение геологических границ, совпадающее с данными бурения и сейсморазведки там, где они надежны. Такое совпадение позволяет считать, что структура определена адекватно во всей области, в том числе и там, где она не установлена обычными методами – на крыльях диапиров и в подсолевом комплексе.

Работа выполнена в рамках программы IX.131.2.2. фундаментальных научных исследований СО РАН.

Список литературы

1. Ismail-Zadeh A.T., Tsepelev I.A., Talbot C.J., Korotkii A.I. Three-dimensional forward and backward modelling of diapirism: Numerical approach and its applicability to the evolution of salt structures in the Pricaspian basin // *Tectonophysics*, 2004, v. 387, p. 81–103.

2. Лунёв Б. В., Лапковский В. В. Механизм развития инверсионной складчатости в подсолевом комплексе // *Физика Земли*. – 2014. – № 1. – С. 59 – 65.

Определение коэффициентов гиперболических уравнений на основе метода Гельфанда – Левитана*Н. С. Новиков**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**E-mail: novikov-1989@yandex.ru*

В докладе рассматривается метод численного решения обратных задач для гиперболических уравнений, основанный на методе Гельфанда – Левитана – Крейна. Суть метода заключается в сведении задачи к семейству линейных интегральных уравнений типа Фредгольма. Основным преимуществом данного подхода является отсутствие необходимости многократного решения прямых задач. В докладе приведены результаты численных расчётов решения нескольких обратных задач, в том числе в случае нескольких пространственных переменных. В ходе численного решения был использован экономичный метод, основанный на алгоритме обращения тёплицевой матрицы, который учитывает связь между уравнениями, составляющими семейство уравнений Гельфанда-Левитана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-01-09230, 16-01-00755 и 16-29-15120), Министерства образования и науки РФ, а также Министерства Образования и науки республики Казахстан (грант MES 1746/GF 4).

Список литературы

1. Kabanikhin, Sergey I., Sabelfeld, Karl K., Novikov, Nikita S., Shishlenin, Maxim A. Numerical solution of an inverse problem of coefficient recovering for a wave equation by a stochastic projection methods. Monte Carlo methods and applications, Volume 21, Issue 3, p. 189–203.
2. Kabanikhin, Sergey I., Novikov, Nikita S., Oseledets, Ivan V., Shishlenin, Maxim A. Fast Toeplitz linear system inversion for solving two-dimensional acoustic inverse problem. Journal of Inverse and Ill-posed Problems, Volume 23, Issue 6, Pages 687–700.

Численные алгоритмы идентификации коэффициента диффузии по снимкам полей концентрации

A. В. Пененко¹, С. В. Николаев², С. К. Голушко³

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт цитологии и генетики СО РАН*

³*Новосибирский государственный университет*

E-mail: a.penenko@gmail.com

В работе изучаются алгоритмы, позволяющие оценивать коэффициенты диффузии материалов изучаемого образца, погруженного в раствор, по последовательности томографических снимков распределения парамагнитных частиц в этом растворе. С помощью оператора чувствительности, построенного на основе набора сопряженных уравнений для модели процесса диффузии (следуя идее Г. И. Марчука о методах возмущений для решения обратных задач [1]), соответствующая коэффициентная обратная задача сводится к квазилинейному операторному уравнению, которое затем решается алгоритмом ньютоновского типа с последовательным вычислением г-псевдообратных операторов увеличивающейся размерности [2]. Рассматривается также градиентный алгоритм решения поставленной обратной задачи. Эффективность алгоритмов изучается в численных экспериментах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-29-04875).

Список литературы

1. Марчук Г. И. О постановке некоторых обратных задач // Доклады Академии Наук СССР / Изд. Наука. 1964. Т. 156, № 3. С. 503–506.
2. Пененко А. В., Николаев С. В., Голушко С. К., Ромашенко А. В., Кирилова И. А. Численные алгоритмы идентификации коэффициента диффузии в задачах тканевой инженерии. // Математическая биология и биоинформатика. 2016. Т. 11, № 2. С. 426–444.

Some evolutionary problems for the Biot equations

V. I. Priimenko¹, M. P. Vishnevskii²

¹*North Fluminense State University Darcy Ribeiro*

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

E-mail: slava211054@gmail.com

The classic poroelastic theory of Biot, developed in 1950's, describes the propagation of elastic waves through a porous media containing a fluid [1-2]. This theory has been extensively used in various fields dealing with porous media: continuum mechanics, oil/gas reservoir characterization, environmental geophysics, earthquake seismology, etc.

In this work we study the propagation of elastic waves in porous media governed by the Biot equations in the low and high frequency ranges. In the low frequency case we prove the existence and uniqueness result both for the direct problem and the inverse one, which consists in identifying the unknown scalar function $f(t)$ in the body density force $f(t)g(x,t)$ acting on a poroelastic body when some additional measurement is available [3]. In the case of the high frequency range (Biot-JKD approach, see [4]) we prove the uniqueness and continuous dependence on the data of a weak solution both in unbounded and bounded time intervals and in all space dimensions [5].

The work has been supported by the PRH-PB 226 Program, Petrobras, Brazil.

References

1. Biot M. A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low frequency range // J. Acoust. Soc. Amer. 1956. V. 28, N.2. P. 168-178.
2. Biot M. A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. II. Higher frequency range // J. Acoust. Soc. Amer. 1956. V. 28, N. 2. P. 179-191.
3. Priimenko V. I., Vishnevskii M. P. An identification problem related to the Biot system // J. Inverse and Ill-Posed Probl. 2015. V. 23, N. 3. P. 219-230.
4. Johnson D. L., Koplik J., Dashen R. Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media // J. Fluid Mech. 1987. V. 176. P. 379–402.
5. Lorenzi A., Priimenko V. Direct problems for poroelastic waves with fractional derivatives // SIAM. J. MATH. ANAL. 2014. V. 48, N. 3. P. 1874-1892.

Численное обращение операторов лучевых преобразований двумерных 2-тензорных полей с использованием метода приближенного обращения

А. П. Полякова

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

E-mail: apolyakova@math.nsc.ru

Пусть в единичном круге распределено симметричное 2-тензорное поле. Требуется восстановить это поле по известным значениям продольного, смешанного и поперечного лучевых преобразований. Для численного решения поставленной задачи предлагается использовать подход, основанный на методе приближенного обращения, который хорошо себя зарекомендовал при решении задач скалярной [1] и векторной томографии [2].

В работе предлагаются два алгоритма приближенного обращения операторов продольного, смешанного и поперечного лучевых преобразований 2-тензорных полей. Первый алгоритм позволяет восстанавливать компоненты тензорного поля. В то время как, используя второй алгоритм, можно восстановить потенциалы потенциальных и соленоидальной частей поля. Алгоритмы программно реализованы, приводятся результаты экспериментов.

Список литературы

1. Rieder A., Schuster T. The approximate inverse in action with an application to computerized tomography // SIAM journal on numerical analysis. 2000. Vol. 37, No. 6. P. 1909–1929.
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.

Обратные задачи оценки ошибки численных решений

А. Н. Рогалев

Институт вычислительного моделирования СО РАН

E-mail: rogalov@icm.krasn.ru

В докладе исследуются двусторонние методы оценок множества решений системы обыкновенных дифференциальных уравнений с неточно заданными данными [1], опираясь на аналогии с обратными задачами, т.е. используя характеристики некоторых решений [2]. Эти методы обладают следующими свойствами: значения двусторонних границ решений получены только из вычисляемых численно (наблюдаемых) данных; при этом нарушается условие устойчивости, что означает некорректность поставленной задачи.

Чтобы избежать экспоненциального роста границ, используются символьные формулы решений. Вычисляется апостериорная оценка погрешности, что позволяет провести определенную аналогию с [3].

Список литературы

1. Новиков В. А., Рогалев А.Н. Построение сходящихся верхних и нижних оценок решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений//ЖВММФ. 1993. Т.33.№2. с. 219-231.

2. Рогалев А.Н., Доронин С.В., Рейзмунт Е.М. Опыт решения и постановки обратных задач конструкционной прочности // Сборник "Международная конференция "Актуальные проблемы вычислительной и прикладной математики -2015". Новосибирск: Академиздат: 2015. с.96.

3. Дорофеев К.Ю., Титаренко В.Н., Ягола А.Л. Алгоритмы построения апостериорных погрешностей решений для некорректных задач //ЖВММФ. 2003. Т. 43, № 1. С. 12–25.

Коэффициентные обратные задачи процесса переноса влаги в почве

Б. Рысбайулы¹, А. Адамов²

¹Международный университет информационных технологий

²Евразийский Национальный Университет

E-mail: b.rysbaiuly@mail.ru

Верхний слой земли от поверхности земли до уровня грунтовых вод представляет собой пористое тело, между твердыми частицами которого находится вода в жидком состоянии. Жидкая фаза ненасыщенного грунта самая динамическая часть. Теория движения воды в почве при изотермических условиях для грунтов основано на соотношении, которое выражает связь между потоком и градиентом потенциала для одномерного случая следующим образом [1]

$$q = -D \frac{\partial W}{\partial x} - K.$$

Здесь D -коэффициент капиллярной диффузии; \hat{E} -коэффициент влагопроводности; W - влагоудержание почвы. Уравнение диффузии влаги с законом сохранения энергии записывается в виде [2]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D(W) \frac{\partial W}{\partial x} + K(W) \right).$$

Используя это уравнения стали прогнозировать водный режим почвы и грунтов [3]. Чтобы прогнозировать водный режим почвы и грунта необходимо располагаться входными параметрами уравнения влагопроводности. Основным параметром процесса переноса влаги является коэффициент диффузии и коэффициент влагопроводности. В работе [4] предполагая зависимость $D = D(x)$, $D = E \cdot W + B$ и используя нелинейное уравнение влагопроводности была разработана итерационный метод нахождения коэффициента диффузии почвенной влаги. Известно, что каждая нелинейная задача требует персонального подхода. В зависимости от вида функциональной зависимости коэффициентов от весовой влажности приходится разрабатывать соответствующую методику исследования итерационной схемы расчета. В настоящей работе разрабатывается метод расчета коэффициента влагопроводности почвенной влаги предполагая зависимость:

$$D(W) = D_0 \exp(-a|W - W_*|) \quad K(W) = K_0 W^b.$$

Список литературы

1. Роде А.А. Избранные труды в четырех томах.- М, 2008. - Т.3. - 663 с.
2. Matula S., Mojrova M. and Spongrova K. Estimation of the Soil Water Retention Curve (SWRC) // Using Pedotransfer Functions (PTFs). Soil and Water Res. – 2007. - №2(4) - P.113-122.
3. Муромцев Н.А и др. Внутрипочвенный влагообмен, водопотребление и водообеспеченность многолетних культурных травостоев. – Рязань, 2013. - 300 с.
4. Rysbaiuly B., Adamov A. Iterative method of finding hydraulic conductivity characteristics of soil moisture // International Conference on Analysis and Applied Mathematics (ICAAM 2016). – 2016.

Обратная задача замерзающего грунта*Б. Рысбайулы, М. Рыскелды**Международный университет информационных технологий**E-mail: b.rysbaiuly@mail.ru*

Аналитическое исследование теплопроводности сводится [1] к изучению пространственно-временного изменения, характерного для рассматриваемого процесса $\theta = \theta(x, y, z, t)$. Где θ – температура; x, y, z – пространственные координаты в декартовой системе; t – время. При кондуктивном переносе тепла поток тепла пропорционален градиенту температуры $\nabla \theta$ [2], т. е. $q = -\lambda \nabla \theta$, где λ – коэффициент теплопроводности, который зависит только от свойств данного тела. Уравнение справедливо только для однородных сплошных тел. Все входящие в него параметры представляют собой величины, усредненные по большому количеству мелких структурных отдельностей породы. Поэтому величина λ определяется составом грунта, теплопроводностью отдельных его компонент, структурой породы [2]. Влияние на λ влажности грунта W и объемного веса γ_0 исследовали в свое время Франчук, 1941; Kersten, 1949; Чудновский, 1982.

В процессе замерзаний в почве образуются три зоны: талая, фазовая и мерзлая зона. Основной закон, кондуктивного механизма теплопередачи (1) справедлив и для зоны фазовых переходов. Если грунт находится при температуре фазовых переходов, то в различных точках грунта будет различное количество льда W_l и незамерзшей воды W . Это приводит к тому, что в зависимости от температуры будет меняться коэффициент теплопроводности [3,4].

В настоящей работе разрабатывается итерационный метод нахождения коэффициентов λ_l и λ_m . Где λ_l и λ_m – соответственно коэффициенты теплопроводности талого и мерзлого грунта. В работе составлено приближенная нелинейная прямая разностная задача и из нее выводится сопряженная разностная задача. Разрабатывается итерационная формула для расчета искомых величин. Получены априорные оценки для решения нелинейной прямой и сопряженной разностной задачи. Доказывается ограниченность приближенного значения коэффициента теплопроводности λ_l, λ_m и монотонность минимизируемого функционала. Изучается метод Ньютона для решения нелинейной разностной задачи. Доказывается квадратичная сходимость метода Ньютона. Результаты теоретических исследований подтверждают проведенные вычислительные эксперименты.

Список литературы

1. Ершов Э.Д. Общая геокриология. М.: Изд-во МГУ, 2001. - 688 с.
2. W. M. Haynes, ed., CRC Handbook of Chemistry and Physics, 93rd Edition (Internet Version 2013), CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton, FL.
3. Рысбайулы Б., Адамов А.А. Исследование теплопроводности фазовой зоны в многослойном грунте // Вестник НАН РК. 2007. - №4. - С. 30-33.
4. Bektemesov M. A., Rysbaiuly B. An iterative method for calculating the thermal conductivity of soil freezing // Journal of International Scientific Publications Materials, Methods and Technologies, Volume 6, Sofia, Bulgaria, p. 13-20.

Задача восстановления потенциала оператора Штурма-Лиувилля по конечному набору спектральных данных*А. М. Савчук**МГУ им. М.В. Ломоносова**E-mail: artem_savchuk@mail.ru*

Рассмотрим классическую обратную задачу восстановления вещественного потенциала оператора Штурма-Лиувилля L , заданного на конечном отрезке по спектральной функции. Мы рассматриваем краевые условия Дирихле, хотя метод и результаты легко переносятся на случай краевых условий Дирихле-Неймана. Наш подход позволяет получать результаты, как для классических потенциалов, так и для потенциалов-распределений первого порядка сингулярности. Легко видеть, что поскольку оператор действует на конечном отрезке, спектральная функция есть функция скачков. При этом точки разрывов совпадают с собственными значениями оператора L , а величины скачков равны нормировочным числам. Хорошо известно, что по двум данным вещественным последовательностям (при условии положительности нормировочных чисел

и при выполнении определенных асимптотических соотношений) потенциал q восстанавливается однозначно. Мы изучаем вопрос о восстановлении потенциала по конечному набору спектральных данных, оставляя в каждой последовательности N первых членов. Кроме того, мы предполагаем известными несколько первых членов в асимптотических представлениях для собственных значений и нормировочных чисел (например, для случая квадратично суммируемой функции q мы предполагаем известным среднее значение потенциала). Ясно, что такая информация не позволяет найти потенциал в точности, хотя хорошо известен явный алгоритм, позволяющий построить приближение потенциала. Наша цель - дать оценки на норму разности между истинным потенциалом и его приближением в подходящем пространстве Соболева. Оценки такого вида были известны давно, но были локальными - содержали постоянные, зависящие от потенциала, что делало эти оценки малоприменимыми для практического использования. С другой стороны, ясно, что при отсутствии вообще какой-либо априорной информации погрешность может оказаться сколь угодно большой. Мы рассмотрим два вида априорной информации: информацию о норме потенциала или информацию о полном наборе спектральных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 17-11-01215).

Список литературы

1. Савчук А.М., Шкалик А.А., Обратная задача для операторов Штурма-Лиувилля с потенциалами из пространств Соболева: Равномерная устойчивость. Функциональный анализ и приложения. (44)4, 34-53, 2010.
2. A.M.Savchuk and A.A.Shkalikov, Recovering of a potential of the Sturm-Liouville problem from finite sets of spectral data. Amer. Math. Soc. Transl. 233, 2014.
3. Савчук А.М., Восстановление потенциала оператора Штурма-Лиувилля по конечному набору собственных значений и нормировочных чисел. Математические заметки (99)5, 715-731, 2016.

Численный метод решения одномерной обратной задачи сейсмологии с мгновенным и шнуровым источником

А. Дж. Сатыбаев, А. А. Алимканов
Ошский технологический университет
E-mail: abdu-satybaev@mail.ru

Дифференциальные системы уравнений теории упругости при существенных предположениях и ограничениях приводятся к дифференциальным уравнениям сейсмологии.

Уравнения сейсмологии, параметры уравнений состоит из суперпозиции параметров зависящих от одного переменного и параметров зависящих от нескольких переменных, методом линеаризации можно привести суперпозиции уравнений сейсмологии одномерной и многомерной уравнений сейсмологии.

На практических приложениях возникают проблемы об отыскании переменных параметров дифференциальных уравнений, а эти параметры описывают физические характеристики среды.

Такие проблемы называют обратными задачами, а в задачах сейсмологии отыскивают скорость распространения волн, плотность среды, упругие параметры Ламэ.

В данной работе рассмотрено численное конечно-разностное решение одномерной обратной задачи сейсмологии с указанными источниками. Здесь определяется один из параметров упругости – коэффициент Ламэ. Доказана теорема о сходимости приближенного решения к точному решению обратной задачи.

Численное определение скорости в задаче геоэлектрики линией с потерями

А. Дж. Сатыбаев, Ю. В. Анищенко
Ошский технологический университет
E-mail: abdu-satybaev@mail.ru

Многие задачи практического приложения приводятся к задачам геоэлектрики. Например:

- исследование геоэлектрического строения Земли;
- разработка информационно-математического обеспечения геоэлектромагнитных исследований;
- исследование геодинамических процессов в Земле;

– исследование неклассических методов геоэлектрики.

Систему уравнений Максвелла в случае макроскопической электродинамики можно привести в уравнении геоэлектрики.

Математическая модель геоэлектрики включает в себя все основные законы электромагнетизма и описывает электромагнитные поля в разных средах.

Последнее время обратные задачи этих задач представляют большой интерес у прикладников, т.к. в обратных задачах отыскиваются переменные коэффициенты, которые являются физическими характеристиками среды.

В данной работе рассматривается задача геоэлектрики и определена скорость $C^2(x)=1/(\varepsilon(x)\mu(x))$, $\varepsilon(x)$, $\mu(x)$ – диэлектрическая и магнитная проницаемость конечно-разностным методом.

Численное определение емкости мембраны в задаче распространения потенциала действий по нервному волокну

А. Дж. Сатыбаев, А. Ж. Кокозова

Ошский технологический университет

E-mail: abdu-satybaev@mail.ru

Многие задачи практического приложения приводятся к задачам телеграфного уравнения, в том числе задачи медицины и биомедицины.

Электродинамика аксоны (нервное волокно) описывается уравнением длинной линии с учетом потерь. А уравнение транспорта энтропии описывает тепловые процессы в клеточном волокне. Движение ионов на метаболической стадии против электрического потенциала описывается с помощью отрицательной проводимости, отвечающий за ток утечки.

Потенциал действия – волна возбуждения, перемещающаяся по мембране живой клетки в виде кратковременного изменения мембранного потенциала на небольшом участке возбудимой клетки.

В данной работе рассмотрена задача распространения потенциала по нервному волокну, которая описывается телеграфным уравнением параболического типа. Эта задача приведена к обратной задаче гиперболического уравнения и последняя задача решена численным конечно-разностным методом, применением методов: выпрямления характеристик, выделения особенностей. Доказана теорема о сходимости приближенного решения к точному решению обратной задачи. В связи эквивалентностью задачи определена приближенное вычисление емкости мембраны поставленной задачи.

Алгоритмы восстановления двумерных векторных полей по томографическим данным, основанные на методе приближенного обращения

И. Е. Светов

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН

E-mail: svetovie@math.nsc.ru

Постановка задачи двумерной векторной томографии. Пусть известны значения продольного и поперечного лучевых преобразований некоторого векторного поля, распределенного в единичном круге. Требуется восстановить это векторное поле.

Предлагаются два алгоритма решения задачи векторной томографии, основанные на так называемом методе приближенного обращения, который развивается уже более 20-ти лет А.К. Луисом [1–3]. Первый из алгоритмов позволяет восстанавливать компоненты векторного поля. В то время как с использованием второго алгоритма можно восстановить потенциалы потенциальной и соленоидальной частей. Алгоритмы численно реализованы [4], приводятся результаты экспериментов по восстановлению векторных полей.

Список литературы

1. Louis A. K., Maass P. A mollifier method for linear operator equations of the first kind // Inverse problems. 1990. Vol. 6. P. 427–440.
2. Louis A. K. Approximate inverse for linear and some nonlinear problems // Inverse problems. 1996. Vol. 12. P. 175–190.

3. Louis A. K. Feature reconstruction in inverse problems // Inverse problems. 2011. Vol. 27. Art. no. 065010.
4. 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.

О приближенном решении одной обратной граничной задачи методом конечномерной аппроксимации регуляризованного решения

А. И. Сидикова

Южно-Уральский государственный университет

E-mail: 7413604@mail.ru

Решается обратная граничная задача для уравнения теплопроводности. Эта задача сводится к интегральному уравнению первого рода, которое с использованием дискретизации по двум переменным сводится к конечномерному уравнению [1]. К этому уравнению применяется метод регуляризации А.Н. Тихонова с выбором параметра регуляризации по принципу невязки. Получена оценка точности приближенного решения, учитывающая погрешность конечномерной аппроксимации задачи.

Работа выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013), соглашение № 02.A03.21.0011.

Список литературы

1. Танана В. П., Сидикова А.И. Об оценке погрешности приближенного решения вызванной дискретизацией интегрального уравнения первого рода // Труды Института Математики и механики УрО РАН. 2016. Т. 22, № 1. С. 263–270.

Экономичный метод решения задачи Коши для уравнения Лапласа

С. Б. Сорокин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: Sorokin@sccc.ru

Одним из универсальных подходов к решению задачи Коши для уравнения Лапласа является сведение ее к обратной задаче [1]. Как правило, для решения последней применяется итерационная процедура.

В докладе будет изложен экономичный прямой метод численного решения обратной задачи в областях прямоугольной формы. Идея базируется на разложении искомого решения по базису, состоящему из собственных функций разностного аналога оператора Лапласа.

Метод близок к предлагавшимся в [2–3] алгоритмам, решающим задачу на дифференциальном уровне.

Список литературы

1. Кабанихин С.И. Обратные и некорректные задачи, Новосибирск: Сибирское научное изд-во, 2009.
2. A.L. Karchevsky Reformulation of an inverse problem statement that reduces computational costs. EURASIAN JOURNAL OF MATHEMATICAL AND COMPUTER APPLICATIONS Volume 1, Issue 2(2013) 4_20
3. Ai-lin Qian Spectral method and its application to a Cauchy problem of the Laplace equation. IJRRAS 14 (1) January 2013

Исследование двумерной задачи магнитной маскировки на основе оптимизационного метода

Ю. Э. Стивак

Far Eastern Federal University

E-mail: U3l3i3y3a3@mail.ru

В настоящее время наблюдается возросший интерес среди ученых к исследованию и применению эволюционных методов моделирования и численных эволюционных алгоритмов решения задач оптимизации [1, 2]. В настоящей работе рассматривается задача дизайна двумерной магнитной маскировочной оболочки Ω , заполненной неоднородной анизотропной, в общем случае, средой,

магнитные свойства которой описываются тензором магнитной проницаемости μ , тогда как внутренняя и внешняя области заполнены одной и той же однородной изотропной средой с постоянной магнитной проницаемостью μ_0 . В научных кругах широко используется информация о наиболее известных решениях задач магнитной маскировки [3–5]. Важно, что техническая реализация указанных решений затруднительна из-за отсутствия в природе необходимых материалов. Существует несколько способов преодоления трудностей с технической реализацией решений [6, 7]. В настоящей работе применяется оптимизационный подход. Разработан комплекс программ, выполнен цикл вычислительных экспериментов и проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Список литературы

1. Wang X., Semouchkina E. A. A route for efficient non-resonance cloaking by using multilayer dielectric coating // *Appl. Phys. Lett.* 2013. V. 102. № 113506.
2. Mirzaei A., Miroshnichenko A. E., Shadrivov I. V., Kivshar Y. S. All dielectric multilayer cylindrical structures for invisibility cloaking // *Scientific Reports.* 2015. V. 5. № 9574.
3. Wood B., Pendry J. B. Metamaterials at zero frequency. *J. Phys.: Condens. Matter.* 2007. V. 19. № 076208.
4. Sanchez A., Navau C., Prat-Camps J., Chen D.-X. Antimagnets: controlling magnetic fields with superconductor-metamaterial hybrids. *New J. Phys.* 2011. V. 13. № 093034.
5. Алексеев Г. В. Проблема невидимости в акустике, оптике и теплопереносе. Владивосток: Дальнаука, 2016.
6. Alekseev G. V. Analysis and optimization in problems of cloaking of material bodies for the Maxwell equations // *Differential Equations.* 2016. V. 52. P. 361–372.
7. Alekseev G. V., Spivak Yu. E. Analysis of the 3D acoustic cloaking problems using optimization method // *J. Phys. Conf. Ser.* 2016. V. 722. № 012002.

Численные методы решения двумерного интегрального уравнения Гельфанда – Левитана

Л. Н. Темирбекова

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

E-mail: Laura-Nurlan@mail.ru

Известно, что один из классов некорректных задач составляют интегральные уравнения первого рода. К интегральным уравнениям приводится большое число прикладных задач, в качестве примеров можно рассмотреть задачи математической обработки (интерпретации) результатов измерений в физических экспериментах, структурные обратные задачи гравиметрии [1] и т.д. Решение таких задач обладает сильной чувствительностью к погрешностям правых частей, полученных в результате измерений и предварительной обработки данных.

В работе рассмотрены прямые и итерационные параллельные численные алгоритмы решения двумерных коэффициентных обратных задач гиперболического типа на основе метода И.М.Гельфанда и Б.М.Левитана [2]. В 1951 году была опубликована работа И.М.Гельфанда и Б.М.Левитана, в которой рассмотрен спектральный вариант постановки. Подробной библиографией работ по двумерным коэффициентным обратным задачам для уравнения гиперболического типа можно ознакомиться в монографии В.Г. Романова [3], С.И. Кабанихина [4].

Метод И.М.Гельфанда и Б.М.Левитана заключается в сведении нелинейной обратной задачи к семейству линейных интегральных уравнений Фредгольма первого, и соответственно второго рода. В работе показана дискретизация двумерного интегрального уравнения И.М.Гельфанда и Б.М.Левитана. При разработке методов решения задач используются метод регуляризации М.М.Лаврентьева [4]. Получен численный эксперимент предложенных методов.

Работа выполнена в рамках проекта 1746/ГФ4 "Теория и численные методы решения обратных и некорректных задач естествознания" МОН РК

Список литературы

1. Васин В.В., Агеев А.Л. Некорректные задачи с априорной информацией. Екатеринбург: Наука, 1993 г., 262 с.
2. Гельфанд И.М., Левитан Б.М. Об определении дифференциального уравнения по его спектральной функции // *Изв. АН СССР. Сер. Мат.* 1951. Т.15, №4. С.309-360.

3. Романов В.Г. Обратные задачи математической физики. М.: Наука, 1984.
4. Кабанихин С.И. Обратные и некорректные задачи. Сибирское научное издательство, Новосибирск, 2009.

Построение изображений земных недр на основе миграционных преобразований в задачах сейсмической разведки

А. В. Терехов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: andrew.terekhov@mail.ru

В работе предложен новый спектрально-разностный алгоритм для решения параболического приближения волнового уравнения. Вместо преобразования Фурье по времени применяется интегральное преобразование Лагерра, что после аппроксимации пространственных производных позволяет получить хорошо обусловленные системы линейных алгебраических уравнений. Требуемая пространственная точность расчетов достигается посредством использования конечно-разностных аппроксимаций высоких порядков. Для большинства существующих алгоритмов с целью сокращения времени счета применяется метод расщепления Марчука, однако, чтобы не увеличивать число вычислительных артефактов, в предлагаемом методе такой подход не используется. В итоге, новый алгоритм обладает большей устойчивостью и меньшим уровнем численных шумов, в том числе для негладких скоростных моделей. В рамках решения обратных задач геофизики выполнена миграция "после суммирования" для скоростных моделей типа Syncline и Sigsbee2A. Показано, что по сравнению с известными методами, полученные изображения значительно лучше сфокусированы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-41-543003), гранта Президента РФ (номер гранта МК-152.2017.5).

Проверка получения регулярной нанорешетки случайных сопротивлений

В. А. Ткаченко, О. А. Ткаченко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

E-mail: vtkach@isp.nsc.ru

Проверено получение первой регулярной наносети случайных сопротивлений. Она получена в квадратной решетке с шагом 1 микрон из 300×500 близких друг к другу отверстий (антиточек) в концентрированном низкоподвижном двумерном электронном газе [1]. Сначала по формуле Ландауэра для разных температур T и затворных напряжений V вычислен кондактанс g_i межузельной связи с учетом особенностей изготовления 3D полупроводниковой структуры, технологического и примесного беспорядка, но для малого набора i . Затем, мы упрощали модель 2D потенциала в межузельной связи, чтобы легче использовать формулу Ландауэра и решать уравнения Кирхгофа для больших решеток. Пробными решениями удалось найти физически адекватное упрощение, обеспечивающее подгонку вычисленной проводимости $G(T, V)$ к измеренной во всем диапазоне $1.4\text{K} < T < 77\text{K}$. Попутно найдены распределение $g_i(T, V)$, доля проводящих связей $p(T, V)$ и критический индекс t , отвечающий условию перколяции: $G(T, V) = A \cdot (p - 1/2)^t$. Оказалось, что t близко к стандартному значению 1.3 для квадратной решетки, но может увеличиваться до 3 [1].

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-22-00143) и гранта Президента РФ (НШ-10211.2016.8).

Список литературы

1. Ткаченко В.А., Ткаченко О.А., Миньков Г. М., Шерстобитов А. А., Перколяция и электрон-электронное взаимодействие в решетке антиточек// Письма в ЖЭТФ. 2016. Т.104. С.501–506.

Условная корректность и регуляризация начально-граничной задачи для системы уравнений смешанного типа второго порядка

К. С. Фаязов¹, И. О. Хажиев²

¹Туринский политехнический университет в г.Ташкенте

²Национальный Университет Узбекистана

E-mail: h.ikrom@mail.ru

В данной работе изучена начально-граничная задача для системы неоднородных уравнений смешанного типа второго порядка. Исследуемая задача относится к классу некорректно поставленных задач математической физики, а именно в данной задаче отсутствует непрерывная зависимость решения от начальных данных. Некорректные задача для подобных уравнений были рассмотрены в работах [2], [3].

Уравнения вырожденного типа или смешанного типа с одной или несколькими линиями изменения были объектом изучения многих авторов (см. [1] и указанную там библиографию).

При построении решения в виде суммы ряда используется полнота в пространстве L_2 , ортогонально сопряженной с системой собственных функций соответствующей задачи. Доказаны теоремы о единственности решения и его условной устойчивости на множестве корректности. При доказательстве единственности и условной устойчивости используется априорная оценка, которая получена по методу логарифмической выпуклости. Построено приближенное решение методом регуляризации.

Список литературы

1. К.Б. Сабитов, К теории уравнений смешанного типа, М.: Физматлит, 2014.
2. К. С. Фаязов, Граничные задачи для дифференциального уравнения второго порядка с самосопряженными операторными коэффициентами, Сиб. матем. журн., 1996, том 37, номер 6, 1397–1406
3. K.S. Fayazov, I.O. Khajiev, Boundary value problem for the system equations mixed type, Universal Journal of Computational Mathematics 4(4)(2016), 61-66. DOI: 10.12189/ujcmj.2016.040402.

О математических задачах электродинамики слоистых сред

Ю. И. Худак

Московский технологический университет

E-mail: hudak@mirea.ru

Для решения проблем распространения волн в оптике и радиофизике, используются N-слойные модели среды. В докладе предъявлены:

1. Формулы решения прямой задачи о распространении плоской волны в N-слойной диэлектрической среде в виде квазитригонометрических полиномов.
2. Точные, неуплощаемые оценки для коэффициентов отражения N-слойных систем.
3. Алгоритм решения задачи о нахождении параметров N-слойной системы по ее амплитудному коэффициенту отражения, приводящий к теореме единственности определения электродинамических параметров.
4. Введены понятия, позволяющие поставить и существенно упростить (сохраняя эквивалентность) функционалы качества оптики слоистых сред.
5. Для малого числа слоев даны глобальные решения задач просветления (антипросветления) на заданной частоте или заданном интервале частот, а также новые алгоритмы для численного решения локальных задач.
6. Показано, что существует всего 133 класса разных двухслойных систем.

Нейросетевой метод в нелинейных обратных задачах геофизики

М. И. Шимелевич¹, Е. А. Оборнев¹, И. Е. Оборнев², Е. А. Родионов¹

¹Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)

²Научно-исследовательский Институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

E-mail: evgeny_980@list.ru

В работе рассматривается аппроксимационный нейросетевой (НС) метод решения многомерных нелинейных обратных задач (ОЗ) геофизики в классе конечно параметрических кусочно-постоянных функций, заданных на регуляризованной сетке параметризации, покрывающей исследуемую область. НС метод основан на аппроксимации приближенного обратного оператора задачи с помощью многослойной нейронной сети (НС аппроксиматора) [1]. Задачи построения НС аппроксиматора и оценки погрешности получаемых приближенных решений [2] ОЗ сводятся к соответствующим конечномерным нелинейным оптимизационным проблемам. Приводятся примеры численного решения, обратных 2D, 3D задач геоэлектрики для модельных и натуральных данных.

В работе использовались ресурсы суперкомпьютерных кластеров МВС-100К МСЦ РАН.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-11-00579, И.Е. Оборнев, НИИЯФ МГУ).

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. 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.

Секция 8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Approximation-Preserving Reduction of k-Means Clustering with a Given Center to k-Means Clustering

A. A. Ageev

Sobolev Institute of Mathematics SBAS

E-mail: ageev@math.nsc.ru

We consider a clustering problem introduced by A. Kelmanov and studied in a series of papers by him and his coauthors (see [1] for the references). This problem differs from the classical k-Means Clustering in that one cluster is assumed to have a given (fixed) center whereas the centers of the remaining clusters coincide with their centroids. It is easy to observe that the problem with a given center contains k-Means Clustering as a special case. We prove that k-Means Clustering with a given center admits an approximation-preserving reduction to k-Means Clustering Problem. This allows to carry the numerous known approximation results from k-Means Clustering Problem to k-Means Clustering with a given center.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 15-01-00462).

References

1. A. V. Kel'manov, V. I. Khandeev. A Randomized Algorithm for Two-Cluster Partition of a Set of Vectors// Computational Mathematics and Mathematical Physics V.55, № 2, 2015, pp. 330-339.

Complexity of Normalized k-Means Clustering Problems

A. A. Ageev

Sobolev Institute of Mathematics SBAS

E-mail: ageev@math.nsc.ru

We consider a clustering problem that differs from the classical k-means problem in that each cluster has the normalizing factor equal to one divided by the cardinality of the cluster minus one. The problem is important, in particular, in applied statistics, data mining and machine learning. The complexity status of the problem seemed to be unclear up to now. We prove that the problem is strongly NP-hard for each fixed k strictly more than 2. We also consider a version where one cluster has a given center and show that this problem is NP-hard for each fixed k strictly more than 3.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 15-01-00462).

Исследование алгоритмов и методов балансировки нагрузки и построение моделей для сетей массового обслуживания

К. А. Айдаров, Г. Т. Балакаева

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

E-mail: kanataidarov@yahoo.com

Данная работа предлагает анализ и оценку методов балансировки нагрузки для сетей массового обслуживания (СМО) и симуляцию алгоритмов для последующего применения в действующих системах, например, в центрах обработки данных. Для основных алгоритмов построены модели с целью оценки их адекватности и производительности с применением парадигмы модельно-ориентированного проектирования, которая ускоряет процесс построения моделей за счет применения функциональных блоков, заранее подготовленных для удобства прототипирования.

В работе приведена классификация алгоритмов балансировки нагрузки и их анализ, основанный на построенных моделях. По результатам анализа моделей были выявлены преимущества и недостатки алгоритмов и описана их применимость к различным прикладным задачам информационных и вычислительных технологий. Для того, чтобы верифицировать результаты моделирования,

рассмотрена система вычислительного кластера, используемого в веб-серверных фермах. В качестве модели реализована сеть массового обслуживания, которая минимизирует время отклика на запросы, приходящие в систему. По результатам реализации модели для кластерной системы были даны оценки уменьшения эффекта осцилляции между переполненным и непереполненным состоянием. В заключении изложены рекомендации для использования реализованной модели сети массового обслуживания в различных промышленных сервисах.

Рациональные методы оценки проектов со свободным выбором основных показателей

С. Н. Астраков, А. Г. Квашинин, Ю. С. Отмахова

Институт вычислительных технологий СО РАН

E-mail: astrakov90@gmail.com

Предлагается метод оценки потенциала и инвестиционной привлекательности проектов, в частности, инновационных, со свободным выбором основных показателей оценки по каждому проекту. Метод во многом напоминает теоретико-вероятностный подход: показатели ассоциируются с событиями, а итоговая оценка является мерой для объединения группы "событий". Численное значение оценки всегда находится в промежутке от 0 до 100 %.

Свойства оценочного критерия. 1) Показатели x_1, x_2, \dots, x_n являются в большей степени равными по значимости, каждый из которых отражает "узкую специализацию" проекта; 2) Итоговая оценка $M(X)$ может определяться для любого подмножества X из полной системы показателей, при этом значение $M(X)$ может достигать максимального значения; 3) Добавление нового показателя в набор X не может уменьшить значение $M(X)$, как это происходит при определении средних значений; 4) Оценка $M(X)$ является непрерывной и монотонной по каждому показателю и обладает свойством симметричности.

В заключительной части работы приведены примеры практического применения метода для конкурсной оценки проектов и для оценки экономической безопасности в продовольственной сфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-29-12877 офи_м).

Применение теории риторических структур для автоматической обработки текстов

А. М. Бакиева¹, Т.В. Батура²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН

E-mail: m_aigerim0707@mail.ru

Исследования естественных языков с применением математических моделей и методов сохраняют свою актуальность ввиду стремительного увеличения объемов текстовой информации. В работе описаны методы автоматизации морфологического, синтаксического и семантического анализа текстов на казахском языке. Предпринята попытка формально описать признаки некоторых риторических отношений, на основании которых удавалось бы однозначно установить соответствие и возможность получить формальное представление смысла текста. В последнее время все чаще встречается мнение, что языковые явления не могут быть адекватно поняты и описаны вне их употребления, без учета их дискурсивных аспектов [1]. Существуют попытки применения дискурсивного анализа для решения различных задач компьютерной лингвистики. Подробный обзор литературы, представленный в работе [2], показывает, что в большинстве случаев дискурсивный анализ способен улучшить качество автоматических систем на 4–44 % в зависимости от конкретной задачи. В дальнейшем планируется продолжить разработку системы автоматического анализа текстов на казахском языке с использованием предложенных методов, проверить эффективность данных методов в решении задач поиска и автореферирования документов.

Список литературы

1. Прокошенкова Л. П., Гецкина И. Б. Дискурсивный анализ и его роль в современной лингвистике // Вестник ЧГУ, 2006. № 4. [Электрон. ресурс]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/diskursivnyy-analiz-i-ego-rol-v-sovremennoy-lingvistike> (дата обращения: 20.01.2017).

2. Ананьева М. И. Кобозева М. В. Разработка корпуса текстов на русском языке с разметкой на основе теории риторических структур // Тр. Междунар. конф. "Диалог", 2016. [Электрон. ресурс]. URL: www.dialog-21.ru/media/3460/ananyeva.pdf (дата обращения: 18.01.2017).

Оптимальное кодирование больших массивов данных

М. П. Бакулина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: marina@rav.sccc.ru

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 распространёнными типами данных, используемых в БД, являются строковые и числовые. Известны различные способы кодирования числовых данных. В данной работе предлагается эффективный метод кодирования числовых данных, основанный на кодировании длин серий 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.

Циклы дискретных динамических систем циркулянтного типа

Ц. Ч.-Д. Батуева

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

E-mail: batueva@math.nsc.ru

Дискретная динамическая система, рассматриваемая в данной работе, является моделью регуляторного контура геномной сети [1]. Система задается ориентированным графом на n вершинах и каждой его вершине соответствует некоторая дискретная функция. В нашей работе рассматривается случай, когда граф является циркулянтном, а дискретные функции одинаковы для всех вершин [2].

В начальный момент времени вершины графа помечены значениями из конечного множества. Набор таких меток называется состоянием системы. На следующем шаге работы системы для каждой вершины v значение ее метки пересчитывается по функции, зависящей от значений вершин из которых выходят ребра в вершину v .

Так как число состояний конечно, то система начиная работу с любого состояния в результате перейдет в некоторый цикл, что соответствует какому-то периодическому процессу.

Нами было описано разложение любого цикла дискретной динамической системы размера n на элементарные циклы систем сумма размеров которых равна n .

Список литературы

1. Батуева Ц. Ч.-Д.. Дискретные динамические системы циркулянтного типа с пороговыми функциями в вершинах // Дискретный анализ и исследование операций. 2014. Т. 21, № 4. С. 25–32.

2. Евдокимов А. А., Пережогин А. Л. Дискретные динамические системы циркулянтного типа с линейными функциями в вершинах сети // Дискретный анализ и исследование операций. 2011. Т. 18, № 3. С. 39–48.

Сервисы научной информационной системы "Активная сейсмология"

Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк, В. В. Ковалевский

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: ludmila@opg.sccc.ru

В работе рассмотрены пользовательский интерфейс и основные научные сервисы научной информационной системы для поддержки теоретических и экспериментальных исследований в области активной сейсмологии.

Система обеспечивает интеграцию тематических информационных ресурсов и содержательный доступ к результатам полевых и вычислительных экспериментов по активному вибросейсмическому мониторингу, интерактивный анализ данных во временной, частотной, частотно-временной и пространственной областях, автоматическое построение интерактивных карт районов полевых работ на основе сервиса Google Maps.

Целостное представление научного направления "Активная сейсмология" и содержательный доступ к информационным ресурсам обеспечивает встроенный в НИС портал, организованный на основе онтологии предметной области.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта (РФФИ: № 15-07-06821-а)

Список литературы

1. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками / Отв.ред. Г.М. Цибульчик. – Филиал "Гео" Издательства СО РАН, 2004. -382 с.
2. Брагинская Л.П., Григорюк А.П. Информационная система для комплексной поддержки научных исследований в области активной сейсмологии //Вестник КемГУ. 2012 -4: - С. 43-48.
3. Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В.. Научная информационная система "Активная сейсмология" для комплексных геофизических исследований // Вестник КРАУНЦ, Науки о земле, 2015, № 1, Выпуск № 25, - С. 94-98.
4. Загорюлько Ю. А. Технология разработки интеллектуальных научных интернет-ресурсов, ориентированная на экспертов предметной области // Инфраструктура научных информационных ресурсов и систем. Сборник избранных научных статей. Труды Четвертого Всероссийского симпозиума (С.-Петербург, 6–8 октября 2014 г.). Под ред. Е.В. Кудашева, В.А. Серебрякова. М.: ВЦ РАН, 2014 - Т.1. - С.69-86.

Модификации бионических техник для задач структурной оптимизации инфокоммуникационных сетей по критерию надёжности

К. А. Волжанкина

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: ksu.nech@gmail.com

Многие задачи оптимизации инфокоммуникационных сетей по критерию надёжности из-за очень большого пространства решений являются NP-трудными, поэтому для решения таких задач часто прибегают к бионическим техникам, например, генетическим алгоритмам, алгоритмам клонирования и др. [1–2] Моделью подобных сетей часто выступает граф с надёжными узлами и ненадёжными рёбрами. Проблемы применения данных алгоритмов к вышеупомянутым задачам заключаются в том, что без модификаций, направленных на специфику модели сети, у этих алгоритмов есть свойство сходиться в локальных оптимумах. Также для получения потомков-решений, более пригодных чем их родители, использование классических операторов бионических техник недостаточно, слишком велик процент отсева непригодных особей. В этой работе мы постарались решить подобные проблемы, используя модификации основных операторов: селекции, мутации, скрещивания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-37-00345).

Список литературы

1. Alexey S. Rodionov, Hyunseung Choo, Kseniya A. Nechunaeva Framework for biologically inspired graph optimization // In Proceedings of ICUIMC'2011, pp.11.
2. Alexey S. Rodionov, Kseniya A. Nechunaeva Network structure optimization: genetic operators: mutation and crossover // Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, Article No. 52, Kota Kinabalu, Malaysia, 2013.

Исследование двухфазной бесконечнолинейной системы массового обслуживания требований случайного объема с входящим простейшим потоком

А. А. Галилейская, Е. Ю. Лисовская

Томский государственный университет

E-mail: ekaterina_lisovs@mail.ru

При моделировании работы современных технических систем, например, загрузки каналов передачи данных в сети [2], в качестве математической модели имеют применение системы массового обслуживания (СМО) требований случайного объема [1, 4].

В данной работе рассматривается двухфазная СМО с неограниченным числом приборов, на вход которой поступает простейший поток заявок с параметром λ . Предполагаем, что каждое требование характеризуется случайным объемом v , определяемым функцией распределения $G(y) = P\{v < y\}$. Объемы различных требований независимы. Продолжительность обслуживания заявки на первой фазе имеет произвольную функцию распределения, одинаковую для всех приборов $B_1(x)$, и на второй фазе – $B_2(x)$. После окончания обслуживания на первой фазе заявка с тем же объемом мгновенно переходит на вторую фазу, после окончания обслуживания на второй фазе заявка покидает систему и "уносит" с собой свой объем.

В работе получена характеристическая функция распределения вероятностей четырехмерного процесса $\{i_1(t), V_1(t), i_2(t), V_2(t)\}$ – числа занятых приборов ($i_k(t)$) и суммарного объема заявок ($V_k(t)$) на каждой из фаз ($k = 1, 2$) в стационарном режиме.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-31-00292 мол_а.

Список литературы

1. Morozov E.V., Potakhina L.V. Speed-Up estimation of a system with random volume customers // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016) материалы Девятнадцатой международной научной конференции: в 3 томах. Под общей редакцией В.М. Вишневого и К.Е. Самуйлова. 2016. С. 334-336.
2. Вихрова О.Г., Сопин Э.С. Анализ показателей качества сети LTE с помощью систем массового обслуживания с ограниченным ресурсом и случайными требованиями // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2015. Т. 2. № 11. С. 185-191.
3. Наумов В.А., Самуйлов К.Е., Самуйлов А.К. О суммарном объеме ресурсов, занимаемых обслуживаемыми заявками // Автоматика и телемеханика. 2016. № 8. С. 125-132.

Модель линзы для трассировки лучей с учетом поляризации

В. А. Дебелов¹, К. Г. Кушнер²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

E-mail: debelov@oapmtg.sgcc.ru

Линза – один из основных объектов в оптике. Также она достаточно хорошо проработана в фотореалистической компьютерной графике. Существуют немало систем оптического дизайна, например, ASAP®, где также конструируются линзы. Тем не менее, при решении конкретной прикладной задачи, как правило, обнаруживается, что информация разбросана по источникам или, вообще, не полна и нужным параметрам линзы не уделялось внимания. Рассматривается конкретное применение модели линзы, а именно: работа линзы в составе поляризационного микроскопа (или полярископа), когда надо учитывать поляризацию света при расчете интерференционных картин. Мы отвергли модель тонкой линзы и модель толстой линзы, т.к. они: во-первых, являются приближениями; во-вторых, частично подавляют реальные физические явления типа сферической или хроматической аберраций, что хорошо для фотографии, но совершенно не подходит для нашей задачи. Остановились на подходе реалистической компьютерной графики, представив линзу в виде 3D подцензы, ограниченной двумя "прозрачными" сферическими поверхностями и непрозрачной боковой поверхностью (цилиндр, сфера), и изучили ее влияние на поляризованный свет. Для расчета интерференционной картины применена трассировка лучей. Разработанная модель линзы преобразует входной луч света с известной поляризацией (неполяризованный, частично линейно поляризованный, линейно поляризованный) в выходной луч с точными интенсивностью и состоянием

поляризации света. Линейная поляризация внутри устройства поддерживается наличием двух поляризаторов. Отметим, что в модели линзы учтены такие часто игнорируемые параметры, как поглощение и рассеяние оптического стекла. Кроме того, рассматривается влияние возможных искажений выходного луча, которые могут возникать из-за внутренних переотражений луча внутри линзы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00762).

Унификация специализированного программно-аппаратного комплекса тестирования программ управления на примере задачи контроля качества прикладного программного обеспечения АСУ ТП шахтным конвейерным транспортом

С. С. Журавлев, В. В. Окольников, С. В. Рудометов, С. Р. Шакиров
Институт вычислительных технологий СО РАН
E-mail: s-zhur@yandex.ru

В работе рассмотрен специализированный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий тестирование прикладного программного обеспечения АСУ ТП конвейерного транспорта шахт и рудников.

В состав программно-аппаратного комплекса входят следующие основные функциональные блоки: рабочая станция оператора модели, являющаяся источником виртуальных сигналов, рабочая станция оператора АСУ ТП, блок формирования физических сигналов, блок тестируемых компонентов АСУ ТП и среда передачи данных.

Унификация комплекса заключается в применении расширяемой архитектуры, использовании стандартизированного представления графической информации о моделируемом технологическом процессе, унификации электрических параметров входов и выходов комплекса с точки зрения применяемых датчиков и исполнительных механизмов систем автоматизации конвейерного транспорта шахт и рудников.

О формализации семантики областей знаний на основе онтологий

Ю. А. Загоруйко
Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН
E-mail: zagor@iis.nsk.su

В настоящее время наиболее адекватным и эффективным средством формализации областей знаний являются онтологии [1]. Они повсеместно используются для построения формальных моделей областей знаний с целью представления и фиксации общего разделяемого всеми экспертами знания о них [2]. В докладе рассматриваются средства формализации семантики области знаний на основе онтологий, приводятся и обсуждаются примеры практического использования онтологий в интеллектуальных и информационных системах, в разработке которых принимал участие автор доклада.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-07-00569) и Президиума РАН (проект П.2П/IV.39-1).

Список литературы

1. Guarino N. Formal Ontology in Information Systems // Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98, Trento, Italy, June 6–8, 1998 / Ed. N.Guarino. Amsterdam: IOS Press, 1998. P. 3–15.
2. Gruber T. Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing // International Journal of Human-Computer Studies. November 1995. Vol. 43. Issues 5–6. P. 907–928.

Методы сбора онтологической информации о научной деятельности из сети Интернет

Ю. А. Загоруйко, И. Р. Ахмадеева
Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН
E-mail: i.r.akhmadeeva@iis.nsk.su

В работе предлагаются методы поиска научных ресурсов в сети Интернет и извлечения из них информации для пополнения онтологии научной деятельности. В процессе поиска используются

шаблоны поисковых запросов, генерируемые для всех содержательных классов онтологии. На основе таких шаблонов строится множество конкретных поисковых запросов. Для найденных по этим запросам с помощью известных поисковых систем ресурсов вычисляется их релевантность каждому классу онтологии, по которой определяется, какие шаблоны извлечения информации имеет смысл применять. Эти шаблоны генерируются для каждого класса онтологии и позволяют извлекать информацию, соответствующую семантике этого класса.

Предложенные методы будут применяться для автоматизации пополнение контента интеллектуальных научных интернет-ресурсов, которые создаются для поддержки научной деятельности в различных областях знаний.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-07-00569) и Президиума РАН (проект П.2П/IV.39-1).

Графический интерфейс как инструмент обработки и анализа периодических сигналов

В. И. Знак

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: znak@opg.sgcc.ru

При моделировании сейсмических (в том числе, вибрационных) волн обращаются, как правило, к моделям периодических сигналов. При этом для их обработки наиболее часто привлекают, в том или ином виде, гармонический (Фурье) анализ. Вместе с тем, в ряде случаев привлечение порядковых фильтров имеет ряд достоинств по сравнению с ранее названным подходом. Однако оценка отклика порядковых фильтров весьма затруднительна (в силу их нелинейности). В тоже время, при оценке параметров и характеристик периодических сигналов методами Фурье анализа необходимо решать дилемму "частота – время". Достаточно удобным в этом случае является кластерный анализ. В качестве инструмента решения задач, возникающих как в первом, так и во втором случае, предлагается использовать специализированный графический интерфейс.

Информационная модель киберфизической системы

Д. Н. Зырянов, Н. Ф. Денисова

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

E-mail: di-man888@ya.ru

Киберфизические системы (КФС) являются следующим эволюционным этапом развития встроенных систем, в которых различные устройства и программное обеспечение функционируют как единое целое [1,2]. Как следствие, данные в КФС необходимо обрабатывать и передавать как можно быстрее для формирования соответствующих управляющих сигналов на происходящие события в физическом пространстве. Скорость обработки и передачи информации является основным требованием к информационным системам сопровождения КФС [3]. В статье приводится общее описание физической инфраструктуры КФС и функциональное моделирование процесса производства мебели с использованием КФС в нотации IDEF0 для определения основных задач и процессов, что позволит создать имитационную модель КФС [4].

Список литературы

1. Dietmar P.F. Moller. Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems: Concepts, Design Methods, and Applications. Switzerland: Springer International Publishing, 2016, 422 p., ISBN 978-3-319-25178-3.
2. Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А. Кибер-физические системы как основа цифровой экономики // International Journal of Open Information Technologies, vol. 4, no. 2, pp. 18-24, ISSN 2307-8162.
3. Fatos Xhafa. Cyber-Physical Systems: Foundations, Principles and Applications. Ed. By Houbing Song, Danda B. Rawat, Sabina Jeschke, Christian Brecher, Elseiver, 484 p., ISBN 978-0-12-803801-7.
4. Jiafu Wan, Min Chen, Feng Xia, Di Li and Keliang Zhou. From Machine-to-Machine Communications towards Cyber-Physical Systems. Computer Science and Information Systems, 2013, vol. 10, no. 3, pp. 1105–1128, ISSN 1820-0214.

О детектировании сигналов лазерного доплеровского анемометра

А. В. Климов, В. Г. Главный

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

E-mail: klimovantonnsu@yandex.ru

Улучшение диагностики турбулентных процессов связано с развитием алгоритмов обработки сигналов лазерного доплеровского анемометра, определяющего скорость частицы потока по доплеровскому сдвигу частоты рассеянного на ней лазерного излучения [1].

Одним из ключевых этапов в обработке доплеровских сигналов является этап их детектирования на фоне шума. Улучшение качества работы алгоритмов детектирования приводит к уменьшению неправильно распознанных системой сигналов и повышению точности статистического оценивания параметров турбулентного процесса и является актуальной задачей.

В работе проанализированы временные и спектральные способы детектирования доплеровских сигналов. Приведена оценка точности алгоритмов по результатам численного моделирования и физических экспериментов при измерении скорости турбулентного процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-08-00186)

Список литературы

1. Меледин В.Г. Информационная оптоэлектронная диагностика. Наука и инновационные промышленные технологии. – Новосибирск: Академиздат, 2015. – 173 с.

Сетевые модели стратегического планирования проектов

О. А. Ляхов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: loa@rav.sgcc.ru

Стратегическое планирование включает выбор проектов для выполнения в перспективных планах. На больших интервалах времени ресурсно-календарные ограничения в математических моделях отображаются укрупненно, что порождает систематические ошибки в планировании. Здесь предлагается постановка задачи выбора проектов для реализации с детализированным учетом ограниченности во времени нескладируемых ресурсов. Рассмотрены математические сетевые модели и алгоритмы построения долгосрочных планов для реальных производственных условий.

Организация функционирования распределенных вычислительных систем в режиме обслуживания потоков масштабируемых задач

С. Н. Мамоиленко, А. В. Ефимов

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

E-mail: alexandr.v.efimov@gmail.com

В работе рассмотрена проблема обслуживания параллельных масштабируемых задач на распределенных вычислительных системах (ВС) [1]. Предложена иерархическая модель управления большим количеством ВС состоящими из множества подсистем. Первый уровень иерархии определяет (суб)оптимальное количество и размеры подсистем ВС. На втором уровне модели определяются (суб)оптимальные стратегии децентрализованного функционирования подсистем ВС при обслуживании интенсивных потоков задач. Предлагается динамическое распределение поступающих в систему задач по сформированным подсистемам оптимального размера, с учетом свойства их масштабирования, то есть возможности адаптироваться под количество ресурсов на выделенной подсистеме.

На основе теоретико-игрового подхода разработаны алгоритм и смешанные стратегии функционирования диспетчеров и планировщиков ВС, работающей в режиме обслуживания потоков задач, представленных параллельными масштабируемыми программами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-07-00048).

Список литературы

1. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. - 520 с.

The computer system for the geodynamic interpretation of data on natural disasters of the Earth

A. V. Mikheeva

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: anna@omzg.sscc.ru

In this paper there is observed a science intensive system GIS-ENDDB [1], focused on the research into the cause-and-effect relations of catastrophic events in the history of our planet. The information support contains data on seismic activity of the Earth, heat flows, detailed relief, and anomalies of the gravitational field as well as on the distribution of cosmogenic structures. The logic and functional structure as well as the results of algorithms usage for the analysis of geodynamic process are considered. The algorithms complex allows us to calculate and to visualize maps and diagrams of geophysical evidences, seismic and cratering regime parameters such as: the parameters of a graph of repeatability, energy of seismic activity, concentration criterion and clusterization of natural events. Among the latest updates into the subsystems of information and mathematical software, there are functions of transformation of geophysical fields and the visualization in cross-sections of the seismicity characteristics and tomography data up to 700 km depths.

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project code 17-05-01234 A).

References

1. Mikheeva A.V., Marchuk An.G., Dyadkov P.G. Geoinformation Systems for Studying Seismicity and Impact Cratering using Remote Sensing Data // in Book: "Geographic Information Systems (GIS): Techniques, Applications and Technologies". –Nova Science Publishers, 2014. P. 151-216.

Исследование числовых характеристик бесконечнолинейной СМО с ММРР входящим потоком в случайной среде

С. П. Моисеева, Е. А. Павлова, Е. П. Полин

Томский государственный университет

E-mail: polin_evgeny@mail.ru

Современное развитие техники, телефонии, спутниковых, компьютерных, беспроводных и мобильных сетей связи привело к необходимости применения более адекватных математических моделей процессов передачи и обработки данных, так как циркулирующие в них потоки перестали соответствовать пуассоновской модели [1], а интенсивность потока и параметры обслуживания могут изменяться случайным образом. Для анализа характеристик производительности таких систем, как правило, используют аппарат теории массового обслуживания [2]. Несмотря на большой перечень прикладных задач, которые могут быть решены с использованием моделей массового обслуживания, функционирующих в случайной среде, на сегодняшний день точные аналитические результаты получены только для систем с пуассоновским входящим потоком.

В данной работе исследуется число занятых приборов в бесконечнолинейной системе массового обслуживания с ММРР входящим потоком, функционирующей в марковской случайной среде. Получены аналитические выражения для первых двух начальных моментов и дисперсии. Результаты могут быть использованы для расчета операционных и вероятностных характеристик моделей информационно-телекоммуникационных систем, подсистем глобальных и компьютерных сетей с целью повышения эффективности их функционирования и выработки рекомендаций при проектировании новых систем.

Список литературы

1. Kang SH, Kim YH., Sung DK. and Choi BD. An application of Markovian Arrival Process to modeling superposed ATM cell streams // IEEE Trans. Commun. 2002. Vol. 50. No. 4. P. 633-642.
2. Бочаров П.П., Печинкин А.В. Теория массового обслуживания. М.: Изд-во РУДН. 1995. 520 с.

Исследование не векторизуемых классов циклов на SIMD-архитектурах с короткими векторными регистрами

О. В. Молдованова, М. Г. Курносков

ГОУ ВПО "Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики"

E-mail: ovm@sibguti.ru

Наиболее значимой техникой оптимизации циклов является их автоматическая векторизация компилятором – преобразование выполнения итераций обработки массива векторными инструкциями (Intel SSE/AVX/AVX-512, ARM NEON SIMD, IBM AltiVec). В данной работе определены основные виды циклов, автоматическая векторизация которых современными компиляторами Intel C/C++, PGI C/C++, GNU GCC, LLVM/Clang на архитектурах Intel 64 и Intel Xeon Phi затруднена. Для каждого цикла установлен класс его автоматической векторизуемости при заданных типе данных массива и компиляторе. Для не векторизованных циклов предложены способы их трансформации, обеспечивающие их последующую успешную автоматическую векторизацию компиляторами. В качестве целевого набора циклов использован пакет Extended Test Suite for Vectorizing Compilers [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 16-07-00992, 15-07-00653).

Список литературы

1. Extended Test Suite for Vectorizing Compilers. [Электрон. ресурс]. URL: <http://polaris.cs.uiuc.edu/~maleki1/TSVC.tar.gz> (дата обращения 14.03.2017).

Асимптотический анализ двухфазной RQ-системы M|M|1 в условии большой задержки в источнике повторных вызовов

А. А. Назаров, А. А. Анисимова

Томский государственный университет

E-mail: siberienne94@yandex.ru

Рассматривается двухфазная система массового обслуживания с повторными вызовами (RQ-система) с простейшим входящим потоком и экспоненциальным распределением времени обслуживания на каждой фазе. Первая фаза содержит только обслуживающий прибор, все заявки, застающие прибор занятым, покидают систему. Вторая фаза содержит обслуживающий прибор и источник повторных вызовов (ИПВ), куда переходят заявки, не получившие обслуживания. В ИПВ заявки осуществляют случайную задержку, имеющую экспоненциальное распределение, после которой делают попытки вновь обратиться за обслуживанием. Методом асимптотического анализа в условии большой задержки в ИПВ найдено распределение числа заявок в ИПВ и проведено сравнение с результатами имитационной модели.

Исследование двухфазной RQ-системы M|M|1 методом моментов

А. А. Назаров, А. А. Анисимова

Томский государственный университет

E-mail: siberienne94@yandex.ru

Рассматривается двухфазная система массового обслуживания с повторными вызовами (RQ-система) с простейшим входящим потоком и экспоненциальным распределением времени обслуживания на каждой фазе. Матожидание и дисперсия числа заявок в источниках повторных вызовов найдены методом моментов. Проведено сравнение полученных оценок с результатами имитационного моделирования.

Модифицированная модель Крамера-Лундберга при релейном управлении и произвольном распределении объёмов потребления

А. А. Назаров, В. И. Бронер

Национальный исследовательский Томский государственный университет

E-mail: valsubbotina@mail.ru

В работе рассматривается математическая модель Крамера-Лундберга системы управления запасами. Предполагается, что скорость поступления ресурса постоянная. Управление системой заключается в изменении интенсивности Пуассоновского потока запросов на ресурс при достижении некоторого порогового значения. Такое управление позволяет избежать переполнения, например, склада.

В случае гиперэкспоненциального [1], Эрланговского [2] распределений получено точное стационарное распределение вероятностей значений уровня запасов, накопленных в системе. В данной работе предлагается исследование указанной математической модели при произвольном распределении объемов потребления методом Фурье.

Список литературы

1. Назаров А. А., Бронер В. И. Система управления запасами с гиперэкспоненциальным распределением объемов потребления ресурсов // Вестн. Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. № 1(34). С. 43–49.
2. Anatoly Nazarov, Valentina Broner Inventory Management System with Erlang Distribution of Batch Sizes // Information Technologies and Mathematical Modelling Communications in Computer and Information Science Vol. 638, 2016, pp 273-280.

Обобщенная онтология имитационного моделирования для создания имитационных моделей технологического процесса с использованием естественного языка

С. В. Рудометов, В. В. Окольников

Институт вычислительных технологий СО РАН

E-mail: rsw@academ.org

Современный уровень развития технологий искусственного интеллекта позволяет применить их для решения таких проблем, как максимальное упрощение взаимодействия человека и компьютера, сведение его к присущим человеку типам когнитивного взаимодействия. Пример - постановка задачи для компьютера в виде фраз на естественном языке.

В докладе приводится возможный пример организации такого взаимодействия для задач имитационного моделирования. Обсуждаются ограничения этого подхода, обнаруженные в процессе его реализации в системе MTSS [1]. Вводится понятие "дистанции программирования" как длины своеобразного "моста" между постановкой задачи и современными возможностями вычислительной техники (включая библиотеки прикладного программирования для искусственного интеллекта), которую(ый) должен "пройти" программист для того, чтобы задача в своей начальной постановке заработала на компьютере. Показано, как максимально сократить эту "дистанцию", а в идеале – свести ее к нулю, исключив тем самым программиста из цепочки человек-постановка задачи-имитационный эксперимент-вычислительная система.

Для сокращения дистанции программирования предложена техника создания онтологии предметной области, основанная на возможностях библиотек элементарных моделей среды MTSS. Показан способ анализа фраз на естественном языке, который позволяет "собирать" имитационную модель из экземпляров элементарных моделей, связывая их друг с другом и задавая значения их атрибутов, если требуется.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-01179).

Список литературы

1. Рудометов С.В. Визуально-интерактивная система имитационного моделирования технологических систем // Вестник СибГУТИ. 2011. №3. С.14-27.

Автоматическое составление словаря оценочной лексики для конкретной предметной области

Н. А. Семенова¹, Т. В. Батура²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН

E-mail: semenova.bnl@gmail.com

В современном мире одним из источников информации является интернет. Такие данные, как отзывы и мнения пользователей содержат в себе полезную информацию о продуктах или услугах. Основной задачей нашей работы является составление словаря оценочной лексики для области студенческих отзывов об университетах. В данной работе используется подход, основанный на совокупности статистических и лингвистических характеристик, позволяющих выявлять оценочные слова, и комбинировать эти признаки с помощью алгоритмов машинного обучения. Проведя традиционные процедуры по первичной обработке текстового материала, включающие в себя морфологический анализ и разметку отзывов, мы используем полученные данные и характеристики для бинарной классификации слов. В качестве дополнительных признаков оценочных слов используются рядом стоящие слова, задающие контекст. Полученный в результате наших экспериментов список слов предполагается сравнить со списком, определенным для другой области и представленным в работе [1], чтобы выделить общий пласт лексики, присущий разным предметным областям, и специфичные оценочные слова для нашей конкретной тематики.

Список литературы

1. Chetviorkin I. and Loukachevitch N. Extraction of Russian Sentiment Lexicon for Product Meta-Domain // Proc. of COLING 2012: Technical Papers, 2012. pp. 593–610.

Моделирование действия атак на беспроводные сенсорные сети

О. Д. Соколова, В. В. Шахов, А. Н. Юргенсон

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: olga@rav.sbcc.ru

При анализе функционирования беспроводных сенсорных сетей (БСС) принято описывать топологию сети случайными геометрическими графами, в частности, UDG-графами (Unit Disk Graphs). Это графы единичных кругов, в которых две вершины соединены ребром, если одна вершина попадает в круг единичного радиуса, центром которого является вторая вершина [1]. Такие графы наиболее адекватно описывают передачу информации между узлами беспроводной сети – передача данных возможна, если узлы находятся в пределах достижимости радиосигнала. Рассматривается моделирование функционирования беспроводной сети, в частности, действие на узлы наиболее опасных воздействий – атак Black Hole и Jamming. Для генерации множества необходимых топологий БСС использовался разработанный авторами ранее генератор псевдо-случайных UDG-графов [2]. Передача данных в сети моделировалась по известному алгоритму маршрутизации Minimum Energy Route [3]. Проанализированы известные способы защиты передачи данных [4,5], предложены новые рекомендации, позволяющие свести ущерб от атак к минимальному. Для оценки эффективности предложенного метода защиты от атак строится остовное дерево передачи данных. Чтобы оценить уязвимость дерева к описываемым атакам, рассматривается величина "доля вершин, от которых потеряна информация". Показано, что уменьшить уязвимость сети можно за счет выбора алгоритма передачи данных

Список литературы

1. A. Clark, C. Colbourn, D. Johnson. Unit disk graphs // Discrete Mathematics, vol.86, 1990, Pages 165–177.

2. Vladimir V. Shakhov, Olga Sokolova, Nastya Yurgenson. A Fast Method for Network Topology Generating. Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol. 8715, 2014, P. 96-101.

3. Sh. K. Singh, M. P. Singh, D. K. Singh Routing Protocols in Wireless Sensor Networks – A Survey // International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES) Vol.1, No.2, November 2010E.

4. Cayirci, C. Rong. Security in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks. John Wiley & Sons, 2009.

5. Mohamed Lamine Messai, Classification of Attacks in Wireless Sensor Networks, International Congress on Telecommunication and Application '14 University of A. MIRA Bejaia, Algeria, 23-24 APRIL 2014.

Онтологическая модель для мониторинга научно-инновационной деятельности сотрудников вуза

Л. П. Сулейменова, С. Ж. Рахметуллина

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

E-mail: laurasruk@mail.ru

Важным аспектом в управлении вузом является развитие его научного потенциала. В Послании Президента РК Н. Назарбаева народу Казахстана "Третья модернизация Казахстана: глобальная конкурентоспособность" 2017 года были обозначены важные приоритеты в области развития, в том числе образования [1], и одним из важных приоритетов является развитие научного потенциала на базе вузов. Для совершенствования деятельности вуза необходимо вести постоянный мониторинг и анализ информации о результатах научной деятельности сотрудников. Существует множество моделей описывающих научную деятельность организации. В этих моделях учитывается публикационная активность и индексы цитирования, также патенты и авторские свидетельства, участие в НИОКР. Для сотрудников вуза помимо этих показателей существуют другие показатели характеризующие научную деятельность, такие как результативность руководства магистрантами и докторантами, успешная защита диссертаций. Были рассмотрены существующие онтологические модели описывающие научные труды ЕНИП, Dublin Core, CERIF, SWAN, SPAR, SWRC [2-4]. Достоинствами онтологии являются их потенциальные свойства для решения таких задач, как формализация, интеграция, анализ данных, обмен знаниями и их повторное использование[5]. Для создания модели позволяющей оценивать научные достижения сотрудников SWRC будет расширена с добавлением новых классов, свойств и отношений. Онтология базы знаний вуза реализована в нотации OWL DL.

Список литературы

1. Официальный сайт Президента Республики Казахстан. URL: http://www.akorda.kz/ru/addresses/addresses_of_president/poslanie-prezidenta-respubliki-kazahstan-nazarbaeva-narodu-kazahstana-31-yanvary-2017-g (дата обращения: 15.03.2017).

2. Sure Y., Bloehdorn S., Haase P., Hartmann J., Oberle D. The swrc ontology – semantic web for research communities // Proceedings of the 12th Portuguese Conference on Artificial Intelligence – Progress in Artificial Intelligence (EPIA 2005). 2005. Covilha: Springer, LNCS. Т. 3803. С. 218–231.

3. Костин В.В. Обзор семантических моделей, описывающих научные публикации и научно-исследовательскую деятельность //Труды 14-й Всероссийской научной конференции "Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции" — RCDL-2012, Переславль-Залесский, Россия, 15-18 октября 2012 г. С. 131-136.

4. Костин В. В. К вопросу создания поддержки работы с научными публикациями // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2014. Т. 12, вып. 4. С. 32–37.

5. Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases // Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference. J.A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell – eds. Morgan Kaufmann, 1991, 601-602.

Оптимизация исполнения больших программ

К. В. Ткачёв

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kornishon13@mail.ru

Эксперименты показали, что при использовании различных алгоритмов управления можно существенно сократить время выполнения модели и количество затрачиваемой памяти, увеличить отзывчивость модели для управляющих событий. Используя новый предложенный вариант "календаря

событий", можно значительно сократить время, необходимое для проверки модели на работоспособность. Создавая модели, будем учитывать такую возможность, что при значительном увеличении числа цепочек простых событий резко возрастает время необходимое для синхронизации всей модели. Экспериментально показано, что при использовании различных алгоритмов управления можно существенно сократить время выполнения модели и количество затрачиваемой памяти, увеличить отзывчивость модели для управляющих событий. При создании модели необходимо учитывать такую возможность, так как при значительном увеличении числа "простых событий", резко возрастает время необходимое для синхронизации всей модели.

Рассмотрены стратегии поведения исполнения программ, на основе мультиагентного подхода. Такие как, оптимизация по времени выполнения, количеству доступных ресурсов и точность вычисления.

Список литературы

1. Fujimoto R. M. Parallel Discrete Event Simulation, Communications of the ACM, Vol. 33, No. 10, 1990 30-53.
2. Окольнішников В. В. Представление времени в имитационном моделировании Вычислительные технологии. Сибирское отделение РАН. 2005. № 5. с. 57–80.
3. Ткачѳв К.В. Экспериментальное исследование метода управления массивованного потока событий – Материалы 53-й международной научной студенческой конф. Новосиб. гос. ун-т: Новосибирск, 2015.
4. Ткачѳв К.В. "Проблемы оптимизации сложных систем" Сборник докладов. Двенадцатая международная азиатская школа-семинар Новосибирск, Академгородок, 12-16 декабря 2016 г.

Исследование потоков в неоднородной бесконечнолинейной системе массового обслуживания с обратной связью

М. А. Шкленник, С. П. Моисеева

Томский государственный университет

E-mail: Shklennikm@yandex.ru

Бесконечнолинейные системы массового обслуживания с обратной связью успешно используются в качестве математических моделей торговых организаций, страховых компаний и других социальных и экономических структур [1]. В таких системах каждая заявка имеет возможность повторного обращения к системе, причем время обслуживания заявки при вторичном обращении может отличаться по характеристикам от времени обслуживания заявок, обратившихся к системе впервые [2]. В данной работе проведено исследование многомерного случайного процесса, описывающего число первичных и повторных обращений к системе в любой момент времени. Результаты могут быть использованы для анализа дохода торговой компании, использующей в качестве системы стимулирования сбыта систему накопительных скидок для постоянных клиентов, а также для расчёта оптимального размера предоставляемых скидок для получения максимального дохода.

Список литературы

1. Жидкова Л. А., Моисеева С. П. Математическая модель потоков покупателей двухпродуктовой торговой компании в виде системы массового обслуживания с повторными обращениями к блокам. // Известия
2. М.А. Шкленник, С.П. Моисеева. Исследование числа занятых приборов в неоднородных бесконечнолинейных системах массового обслуживания с повторными обращениями // "Актуальные проблемы прикладной математики и информационных технологий - аль-Хорезми 2016": Труды международной конференции (9-10 ноября 2016 г., Ташкент). Ташкент, 2016. С. 211-213.

Секция 9. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Математическое моделирование растекания нефтяного пятна на поверхности моря

А. У. Абдибекова, Д. Б. Жакебаев, А. П. Кизбаев

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

E-mail: a.aigerim@gmail.com

Освоение месторождений нефти на Каспийском шельфе представляют производство повышенного риска экологического загрязнения для Каспийского моря и окружающей среды прилегающих территорий. Любое высокотехнологическое производство не застраховано от аварий, и в случае чрезвычайных ситуаций, последствия могут вызвать необратимые процессы в окружающей среде [1-2].

В данной работе рассматривается математическое моделирование растекания нефтяного пятна на поверхности Каспийского моря при температуре воздуха 20 С, в состоянии покоя.

Для данной математической модели была рассмотрена двумерная трехкомпонентная модель на основе уравнений движения многофазной среды, с учетом скоростей компонентов "газ-нефть-вода". На рисунке 1 изображена многофазная среда, где зеленым цветом окрашена область потока воздуха над морем - "газ", синим цветом показана нефтяное пятно - "нефть", имеющая физические свойства вязкой жидкости, и область, выделенная красным цветом, является морской водой - "вода".

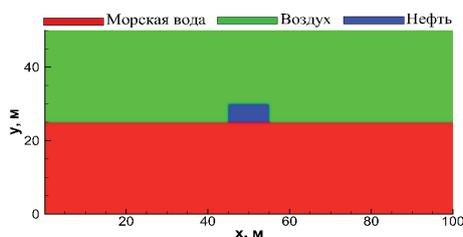


Рис. 1. Схематическая иллюстрация постановки задачи

Численное моделирование процесса растекания нефтяного пятна основано на решении уравнения неразрывности для каждой компоненты, уравнения неразрывности и уравнения импульса для смеси. Для решения задачи используется схема расщепления по физическим параметрам, которая состоит из пяти этапов. Для уравнения импульса на первом этапе, промежуточное поле скорости находится методом дробных шагов с использованием метода Адамса-Башфорта с четвертым порядком точности по пространству и вторым по времени. На втором этапе, по найденному промежуточному полю скоростей, находится поле давления с применением метода матричной прогонки [3]. На третьем этапе пересчитывается окончательное поле скоростей [4]. На четвертом этапе, по найденным полям скоростей смеси вычисляется объемная доля компонентов с учетом массовых сил, в дальнейшем определяется парциальная плотность и динамическая вязкость каждой компоненты.

В результате численного моделирования были определены следующие значения: толщина образовавшейся нефтяной пленки, динамика растекания нефти в зависимости от времени, а также диаметр растекания нефтяного пятна.

Список литературы

1. Киланова Н.В., Климова Е.Г., Зудин А.Н. Оценка концентрации и эмиссии пассивного газа на основе системы усвоения данных для региона Сибири // Междунар. конф. по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды (Enviromis-2012): Избранные труды. – Иркутск, 2012. – С. 185-187.
2. Абдибеков У.С., Хикметов А.К., Жакебаев Д.Б., Каруна О.Л. Моделирование процесса переноса и испарения нефтяной пленки с поверхности моря // Нефть и газ, 2014. – Т.83, №5. – С. 23-27.
3. Zhumagulov B.T., Zhakebayev D.B., Abdibekova A.U. The decay of MHD turbulence depending on the conducting properties of environment // Magnetohydrodynamics Vol. 50 (2014), No. 2, pp. 121–138.

О прямой и обратной задачах химической кинетики для мягкого парового риформинга пропана

Л. Ф. Ахмадуллина¹, Л.В. Еникеева¹, И.М. Губайдуллин¹, П.В. Снытников², Д. И. Потемкин²

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет

²Новосибирский государственный университет

E-mail: irektars@mail.ru

Проблема рациональной переработки ПНГ до сих пор остается актуальным. Одним из альтернативных способов непосредственно на нефтепромыслах является паровой риформинг легких углеводородов [1,2,3]. Проведение этой реакции позволяет значительно улучшить топливные характеристики ПНГ (низшая теплота сгорания, число Воббе, метановое число), что позволяет их использовать в качестве топлива для энергоустановок.

Однако для каждого состава входного ПНГ нужны различные условия проведения реакции (температура, нагрузка, количество подаваемой воды). Для определения этих параметров необходимо моделирование. Они определяются путем решения прямой кинетической задачи. С другой стороны, реакция парового риформинга сложная, многостадийная и напрямую измерить кинетические характеристики катализатора невозможно. Однако это можно сделать с помощью оптимизации значений параметров в рамках заданной кинетической модели, для чего нужно решение обратной кинетической задачи.

Список литературы

1. Zyryanova, M.M. Upgrading of associated petroleum gas into methane-rich gas for power plant feeding applications. Technological and economic benefits./M.M. Zyryanova, P.V. Snytnikov, Yu. I. Amosov, V.D. Belyaev, V.V. Kireenkov, N.A. Kuzin, M.V. Vernikovskaya, V.A. Kirillov, V.A. Sobyenin// Fuel. – 2013. – N 108. – P. 282–291.
2. Мешенко, Н.Т. Кинетика низкотемпературной паровой конверсии этана на никелевом катализаторе/ Н.Т. Мешенко, В.В. Веселов, Ф. С. Шуб, М. И. Темкин // Кинетика и катализ. – 1977. – Т.18. - №4. - С.962-967.
3. Zyryanova M.M. Low temperature catalytic steam reforming of propane- methane mixture into methane-rich gas: experiment and macrokinetic modeling/ M.M. Zyryanova, P.V. Snytnikov, Yu. I. Amosov, V.D. Belyaev, V.A. Kirillov, V.A. Sobyenin // Fuel. - 2014. - V. 135. - P. 76-82.

О типах скрытых дефектов для различных видов взаимодействия покрытия и основания

О. М. Бабешко¹, А. Г. Федоренко², Е. М. Горшкова³, О. В. Евдокимова², Д. А. Хрипков¹, С. Б. Вафа²

¹Кубанский государственный университет

²Южный научный центр РАН

³Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии

E-mail: babeshko49@mail.ru

Рассматриваются статические и динамические граничная задача о напряженно-деформированном состоянии материалов с покрытиями, которые в процессе эксплуатации, приобрели скрытые дефекты. Скрытыми дефектами являются трещины или включения, плоскости которых перпендикулярны к границе покрытия, что делает их трудно обнаруживаемыми. Покрытия могут, в соответствии с технологическими требованиями, по – разному, как соединяться с основанием, так и нагружаться.

В качестве покрытий приняты пластины Кирхгофа, а основания – трехмерные слои.

Методом блочного элемента, опирающегося на топологические и факторизационные подходы, исследованы основные свойства напряженно-деформированного состояния таких блочных структур с дефектами, оценены возникающие концентрации напряжений в зонах дефектов для основных постановок граничных задач и сформирована их классификация [1-5]. Полученные результаты важны в ряде отраслей, в том числе, в машиностроении и авиастроении.

Отдельные фрагменты работы выполнены в рамках реализации Госзадания на 2017 г. проекты (9.8753.2017/БЧ), (0256-2014-0006), Программы президиума РАН 1-33П, проекты с (0256-2015-0088) по (0256-2015-0093), и при поддержке грантов РФФИ (15-01-01379), (15-08-01377), (16-41-230214), (16-41-230218), (16-48-230216), (17-08-00323),

Список литературы

1. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Об особенностях скрытых дефектов в разнотипных тонкостенных покрытиях // ДАН. 2015.Т.460. № 4. С.403-407.
2. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Топологические методы в теории скрытых дефектов и некоторые аномалии // ДАН. 2014.Т.457. № 6. С.650-655.
3. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. О разнотипных покрытиях с дефектами в статических задачах сейсмологии и наноматериалах. // ДАН. 2014.Т.459. № 6. С. 41-45.
4. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. Внешний анализ в проблеме скрытых дефектов и прогнозе землетрясений. // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2016, №2, С. 19-28.
5. Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М. О топологических структурах граничных задач в блочных элементах. // ДАН. 2016.Т.470. № 6. С 650-654

Конечнообъемный алгоритм расщепления для решения уравнений Навье – Стокса

П. В. Бабинцев

Институт вычислительных технологий СО РАН

Новосибирский государственный университет

E-mail: maskot.g@gmailcom

Для численного решения уравнений Эйлера и Навье — Стокса сжимаемого теплопроводного газа записанных в интегральной форме, предложен класс конечно объемных схем предиктор-корректор, основанных на расщеплении уравнений. На этапе предиктора введено специальное расщепление исходных уравнений по физическим процессам и пространственным направлениям, что позволило свести решение исходной системы к неявному решению отдельных уравнений на дробных шагах. Приведены результаты расчетов задач: о регулярном и нерегулярном отражении скачков в рамках уравнений Эйлера, течение в угловых конфигурациях, осесимметричная задача о обтекании цилиндра с иглой и пространственном обтекании затупленного конуса. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о работоспособности и эффективности предложенного алгоритма для расчета стационарных и нестационарных и его достаточной точности.

Список литературы

1. Ковеня В.М., Бабинцев П.В. Алгоритмы расщепления в методе конечных объемов // Вычислительные технологии. – 2015 – Т. 20. – N 6. – С. 65-84.
2. Запрягаев В.И., Кавун И.Н. Экспериментальное исследование возвратного течения в передней отрывной области при пульсационном режиме обтекания тела с иглой // ПМТФ. 2007. Т. 48, № 4. С. 30-39.

Кинетическая модель получения фенола и ацетона кумольным методом

И. З. Байназаров¹, И. В. Ахметов², И. М. Губайдуллин¹

¹Институт нефтехимии и катализа РАН

²Уфимский государственный нефтяной технический университет

E-mail: Ifatbainazarov@yandex.ru

В настоящее время одним из перспективных направлений в органическом синтезе является производство фенола и ацетона через гидроперекись изопропилбензола [1]. Следует отметить, что за 60 лет существования промышленного процесса получения гидроперекиси изопропилбензола (ГПИПБ) не создана ни одна математическая модель промышленной реакции.

Актуальность объясняется необходимостью усовершенствования технологии фенола, связанной с тем, что существующая технология осложнена многократными рециклами потоков, что приводит к накоплению побочных продуктов в системе и снижению технологических показателей производства также повышению энергоемкости производства. Производство осуществляется на старых мощностях и практически не существует программного обеспечения, которая могла бы прогнозировать технологический процесс.

Планируется изучение механизма протекания реакций, лежащих в основе технологии получения фенола и ацетона через ГПИПБ, кинетики процесса разложения ГПИПБ с целью разработки модели процесса разложения [2].

Список литературы

1. Худоба Е. В., Байназаров И. З., Губайдуллин И. М. Математическая модель процесса получения фенола и ацетона кумольным методом // В сборнике: Математическое моделирование процессов и систем Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 110-летию со дня рождения академика А.Н. Тихонова. 2016. С. 245–250.
2. Ахметов И.В., Бобренёва Ю.О., Губайдуллин И.М., Новичкова А.В. Математическое моделирование сложных химических реакций в присутствии металлокомплексных катализаторов на основе многоядерных вычислительных систем // Системы управления и информационные технол. 2013. Т. 52. № 2.1. С. 111-115.

Численное моделирование теплообмена в методе направленной горизонтальной кристаллизации с учетом инверсии плотности расплава

В. С. Бердников, С. А. Кислицын, К. А. Митин
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
E-mail: mitin@ngs.ru

Численно методом конечных элементов проведено моделирование нестационарных процессов сопряженного теплообмена в методе направленной кристаллизации. С учетом теплоты фазового перехода. Исследовано влияние чисел Прандтля расплава и инверсии плотности расплава на форму фронта кристаллизации. Показано, что инверсия плотности расплава существенно влияет на гидродинамику и конвективный теплообмен в расплаве вблизи фронта кристаллизации.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант 15-08-07991а.

Моделирование нестационарного сопряженного свободноконвективного теплообмена в вертикальном слое жидкости, заключенного между низкотеплопроводными стенками

В.С. Бердников, К.А. Митин, В.А. Винокуров, В.В. Винокуров, В.А. Гришков
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
E-mail: mitin@ngs.ru

Экспериментально и численно методом конечных элементов проведено исследование течения и теплообмена в режиме термогравитационной конвекции в вертикальном слое жидкости, заключенном между двумя параллельными стенками низкой теплопроводности. Изучен процесс формирования вторичных вихрей на ранней стадии ламинарно-турбулентного перехода и переход к турбулентному пограничному слою. Исследованы локальные особенности пограничного слоя и влияние сопряженного теплообмена с твердой стенкой. Изучено формирование тепловой волны в стенке. Проведены исследования в слое при внезапном нагреве снизу. В результате взаимодействия входящего потока нагретой жидкости с опускающим холодным возникает колебательный режим течения и тепловые волны в стенках.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант 15-08-07991а.

Численное моделирование направленной генерации электромагнитного излучения при взаимодействии электронного пучка с плазмой

Е.А. Берендеев
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
E-mail: evgeny.berendejev@gmail.com

Работа посвящена численному исследованию генерации электромагнитного излучения при длительной инжекции электронного пучка в плазму. Численная модель построена на основе кинетической теории с использованием метода частиц в ячейках и описывает непрерывную инжекцию электронного пучка в плазму. В направлении движения пучка поставлены открытые граничные условия, что позволяет обеспечить непрерывный ввод и вывод пучка из области моделирования, а также свободное прохождение образующегося при пучково-плазменном взаимодействии потока плазмы через границы. Рассматриваются различные режимы генерации электромагнитного излучения с целью установить зависимость направления и мощности излучения от основных параметров системы,

таких как плотность плазмы, скорость пучка и т.п. Проводится сравнение полученных результатов с теоретическими оценками линейной теории[1],

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00209) и Российского научного фонда (код проекта 16-11-10028).

Список литературы

1. V. V. Annenkov, I. V. Timofeev, and E. P. Volchok, Simulations of electromagnetic emissions produced in a thin plasma by a continuously injected electron beam // *Physics of Plasmas* 23, 053101 (2016)

Математическое моделирование движения пучков заряженных частиц с ненулевым углом встречи

М. А. Боронина, В. А. Вшивков

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: boronina@ssd.ssc.ru

В работе рассматривается задача о динамике пучков заряженных частиц в самосогласованных электромагнитных полях в современных коллайдерах. Предполагается, что пучок электронов и пучок позитронов двигаются друг навстречу другу в вакууме с высокими релятивистскими факторами частиц. При этом одной из проблем в проведении экспериментов является достижение высокой светимости одновременно с высокой энергией пучков. Предложенная схема crab-waist [1] фокусировки пучков была использована в физических экспериментах и продемонстрировала свою высокую эффективность для повышения светимости.

На пути реализации полностью трехмерного алгоритма для проведения математического моделирования пучков с учетом параметров crab-waist первым шагом явилось создание модификации имеющегося параллельного алгоритма [2] для моделирования пучков с ненулевым углом встречи. В работе представлены результаты численных экспериментов и сравнения их с теми немногими аналитическими решениями, которые существуют для данной задачи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-31-00301, 16-07-00916).

Список литературы

1. P. Raimondi, D. Shatilov, M. Zobov. Beam-Beam Issues for Colliding Schemes with Large Piwinski Angle and Crabbed Waist // *LNF-07/003 (IR)*, 2007, arXiv:physics/0702033.

2. Boronina M., Vshivkov V. Parallel 3-D particle-in-cell modelling of charged ultrarelativistic beam dynamics // *Journal of Plasma Physics*. 2015. 81(6).

О численном моделировании одномерных нестационарных течений баротропной жидкости в трубе с разрывом площади сечения

О. Б. Бочаров¹, Т. Э. Овчинникова²

¹АО "Бейкер Хьюз", Новосибирский технологический центр

²Институт водных и экологических проблем СО РАН

E-mail: teonew@iwep.nsc.ru

Одномерное, гидравлическое приближение, использующее усреднение полных уравнений гидродинамики по поперечному сечению трубы (русла реки) является основой инженерных расчётов систем связанных с течением в трубопроводах, реках. Получающиеся гиперболические системы уравнений используются, в частности, и для анализа прерывных (ударных) волн в таких объектах. Большое прикладное значение имеет задача о нестационарных движениях, приводящая к проблеме гидроудара.

В случае разрыва площади сечения, в уравнениях появляются сингулярные члены. В результате, для получения необходимых условий на разрыве (типа условий Гюгонио) требуется использовать дополнительные соображения. В данной работе используется дивергентное дифференциальное

следствие основной системы, приводящее к сохранению на неподвижном разрыве функции типа интеграла Бернулли.

Разработан численный алгоритм для решения задач с неподвижным и подвижным скачками площади. Основное внимание уделено задаче о движущемся с ускорением поршне.

Математическое моделирование МГД-конвекции вязкой несжимаемой жидкости с вакуумными граничными условиями

И. В. Бычин, А. В. Гореликов, А. В. Ряховский
Сургутский государственный университет
E-mail: igor-bychin@yandex.ru

Разработан комплекс программ для численного моделирования конвекции и МГД-течений вязкой несжимаемой жидкости. В рамках метода контрольного объема реализован алгоритм решения задач МГД с вакуумными граничными условиями [1], являющейся комбинацией: метода типа предиктор-корректор для нахождения индукции магнитного поля [2] в задачах МГД, итерационного метода решения внешней задачи Неймана для уравнения Лапласа [3] и численной процедуры, реализующей условие сопряжения магнитного поля на границе области. Проведено численное исследование МГД-конвекции с вакуумными граничными условиями во вращающемся сферическом слое. Получен установившийся режим гидромагнитного динамо.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (коды проектов: 16-29-15105 офи_м, 15-41-00059 р_урал_а, 15-41-00013 р_урал_а).

Список литературы

1. Водинчар Г.М., Крутьева Л.К. Базисные системы для геомагнитного поля // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2010. № 1 (1). С. 24–30.
2. Betelin V.B., Galkin V.A., Gorelikov A.V. Predictor–Corrector Algorithm for the Numerical Solution of the Magnetic Field Equation in Viscous Incompressible MHD Problems // Doklady Mathematics, Pleiades Publishing, 2015, Vol. 92, No. 2, 618–621 pp.
3. Савченко А.О., Ильин В.П., Бутюгин Д.С. Метод решения внешней трехмерной краевой задачи для уравнения Лапласа // Сибирский журнал индустриальной математики, 2016, Том XIX, №2(66). С. 88–99.

Численное моделирование многоуровневых каталитических процессов в реакторах

Н. В. Верниковская
Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН
E-mail: vernik@catalysis.ru

При описании процессов тепло-массопереноса, сопровождающихся химическими реакциями, в каталитических реакторах иногда возникает необходимость одновременно рассматривать процессы и на более низком по отношению к реактору уровне. Например, на атомно-молекулярном уровне или на уровне отдельной частицы катализатора. Работа посвящена описанию подхода к решению таких задач, основанного на последовательном расчете процессов на каждом уровне. Для реализации численного алгоритма на каждом уровне использовался интегро-интерполяционный метод, метод прямых. Для интегрирования получающейся системы ОДУ использовался L устойчивый метод типа Розенброка 2-го порядка точности [1], а также итерационный процесс и специальная прогонка. Апробация подхода проверена при моделировании ряда каталитических процессов в реакторах различного типа [2-3].

Список литературы

1. Новиков Е. А. Численные методы решения дифференциальных уравнений химической кинетики // Математические методы в химической кинетике. Новосибирск: Наука, 1990. С. 53-68.
2. Vernikovskaya N. V., Bobrova L. N., Pinaeva L. G., et al, Transient behavior of the methane partial oxidation in a short contact time reactor: Modeling on the base of catalyst detailed chemistry, Chem. Eng. J. 134 (2007) 180-189.
3. Zolotarskii I. A., Andrushkevich T. V., Popova G. Ya., et al, Modeling, design and operation of pilot plant for two-stage oxidation of methanol into formic acid, Chem. Eng. J. 238 (2014) 111-119.

Моделирование реакции окисления изопропилбензола

М. К. Вовденко, К. Ф. Коледина, И. М. Губайдуллин

Институт нефтехимии и катализа РАН

E-mail: mikhail_vovdenko@rambler.ru

Окисление изопропилбензола (кумола) кислородом воздуха является одной из промежуточных стадий получения фенола и ацетона в кумольном методе - наиболее распространенном методе получения данных веществ на сегодняшний день. Реакция протекает по радикально-цепному механизму, при этом наряду с целевыми продуктами получают нежелательные побочные компоненты [1].

Реакция окисления изопропилбензола является объектом изучения с 30-х годов 20 века. Различные авторы указывают разные направления развития цепей реакции, механизмы инициирования и степень влияния тех или иных факторов на ход реакции.

Несмотря на то, что существует ряд работ, как современных, так и прошлого столетия, посвященных моделированию этого процесса, работа в данной области по-прежнему актуальна. Поскольку различные исследователи выделяют различные пути протекания радикально-цепных реакций и разный вклад массообменной и кинетической составляющих процесса в скорость его протекания.

При моделировании реакции следует учитывать как кинетическую, так и массообменную составляющие. Работы по созданию математической модели реакции велись различными авторами, начиная со второй половины XX века. Можно отметить таких авторов, как К. Hattori, H.G. Henry и др [2,3]. Моделирование химического процесса сводится к решению системы дифференциальных уравнений (СДУ), характеризующих его протекание [4]. При этом, не обладая достаточно мощными вычислительными средствами (по сравнению с современными), авторы шли на различные допущения, чтобы упростить получаемые СДУ [2,3,5]. Поэтому применение современных математических и программных средств при математическом моделировании реакции окисления изопропилбензола является актуальной задачей.

Список литературы

1. Закошанский В.М. Фенол и ацетон: Анализ технологий, кинетики и механизма основных реакций / В.М. Закошанский. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2009. – 608 с.:ил.
2. Hattori, K. Kinetics of liquid phase oxidation of cumene in bubble column / K.Hattori Y. Tanaka, H.Suzuki // Journal of chemical Engineering of Japan – 1970. – Vol.3(1). – P.72-78.
3. Dale, G. H. Rate Constants of Osidation of Cumene / G.H. Dale // Journal of the American Chemical Society – 1967. – Vol.89(21). – P.5433-5438.
4. Губайдуллин И.М. Информационно-аналитическая и система обратных задач химической кинетики: Учеб. пособие /И.М. Губайдуллин, Л.В. Сайфуллина, М.Р. Еникеева. Изд-е Башкирск. Ун-та. Уфа, 2003. 89 с.
5. Макалец Б.И. Кинетическая модель жидкофазного окисления кумола в гидрперекись / Б.И. Макалец, Г.С. Кириченко, Е.И. Стрыгин и др. // Нефтехимия. – 1978. – Т. 18, № 2. – С 250-255.

Численное моделирование процесса переноса тепла в плоском слое жидкости со свободными границами

А. Ф. Воеводин¹, О. Н. Гончарова², Е. В. Резанова²

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

²Алтайский государственный университет

E-mail: katerezanova@mail.ru

Численно исследуется динамика бесконечного слоя вязкой несжимаемой жидкости со свободными границами, находящегося под действием термокапиллярных сил и дополнительных касательных напряжений, вызываемых внешней средой. Математическое моделирование деформации плоского слоя вязкой жидкости проводится на основе точных решений уравнений Навье – Стокса (Пухначёв, 1999) и алгоритмов типа "предиктор-корректор" для нахождения поля скоростей и положения свободных границ (Пухначёва, 2000).

Решена задача о нахождении распределения температуры в слое в двумерном (Воеводин, Гончарова и Кондратенко, 2013) и трехмерном случаях. Представлена общая схема численного моделирования переноса тепла в прямоугольной области и параллелепипеде с движущимися границами.

Алгоритм расчета основан на применении продольно-поперечной конечно-разностной схемы второго порядка аппроксимации. На искусственно введенных "вертикальных торцах" расчетной области требуется выполнение "мягких" граничных условий, которые являются следствием уравнения переноса тепла и условий для температуры на бесконечности. Представлены результаты численных экспериментов, проведенных при использовании различных типов "мягких" условий.

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

Численное моделирование наклонного падения акустической волны на пористую среду

Г. М. Воскобойникова¹, К. А. Шаламов²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

E-mail: gulya@opg.sccc.ru

Решение проблемы прогнозирования разрушительного воздействия от природно-техногенных взрывов является очень важной. Существуют факторы, приводящие к эффекту ослабления акустических колебаний от природных и техногенных взрывов, распространяющихся в приземной атмосфере. К таким факторам можно отнести снежный покров, лесной массив, рельеф местности. В данной работе рассмотрена задача падения акустической волны под углом на пороупругий снежный слой, лежащий на упругом полупространстве, а также выполнено математическое моделирование процессов совместного распространения сейсмических в земле и акустических в атмосфере волновых полей от инфранизкочастотного источника с учетом влияния снежного покрова на излучение и распространение упругих волн. Слой снежной среды расположен на упругом полупространстве с постоянными характеристиками (плотность, скорости продольных и поперечных волн). Реализованы программы моделирования для расчета уровней акустического давления колебаний волн с помощью математической модели, основанной на волновых уравнениях и динамических уравнениях упругости.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 16-07-01052

Список литературы

1. Рожко А.Ю. Взаимодействие акустических и сейсмических волн (отражение-преломление волн от границы "земля воздух") // Физическая мезомеханика, №1, т.6, 2003, сс.23-31
2. Исакович М.А. Общая акустика. Из-во "Наука", Москва: 1973, 496 с.
3. Gassmann F. Uber Die elastizitat poroser medien // Vier der Natur Gesellschaft. – 1951. N 96. P. 1–23.
4. Крючкова В.В. Акустические волны в пористых флюидонасыщенных средах: компьютерное моделирование на мезоуровне. // Физическая механика. № 3, т.3, 2000, сс. 87-92

Алгоритм вычисления тока и форма ядра частицы в методе частиц в ячейках

В. А. Вишневков, Е. А. Генрих

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: mesyats@gmail.com

Метод частиц в ячейках, зарекомендовавший себя как удобный и простой инструмент для моделирования сложных нелинейных процессов, широко применяется при решении задач физики плазмы. Но численные шумы, являющиеся неотъемлемой частью метода частиц, способны приводить к развитию нефизических неустойчивостей, подавляющих физические процессы. Один из возможных путей решения данной проблемы — увеличение количества частиц. С развитием параллельных компьютерных технологий этот вариант становится более доступным. Но остается ряд задач, проблеме шумов в которых сложно решить одним лишь увеличением вычислительных мощностей. Сюда относится в том числе и задача плазменно-пучкового взаимодействия в кинетической постановке, представляющая интерес для широкого круга приложений. Второй путь решения проблемы шумов — использование ядер частиц повышенной гладкости, схем более высокого порядка точности,

использование методов адаптивного изменения количества и масс частиц и т. д. Это усложняет алгоритм, лишает метод частиц ряда его преимуществ и не всегда дает ощутимый результат. Поэтому актуальным является вопрос оценки точности полученного решения. Ответ на него даст понять, какой из путей при решении конкретной задачи лучше выбрать.

В работе рассматривается вопрос зависимости точности решения от формы модельных частиц и алгоритма расчета токов на примере решения задачи взаимодействия электронного пучка с плазмой. Реализовано несколько алгоритмов вычисления токов и несколько разных форм ядра модельных частиц.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 16-11-10028.

Гибридные численные модели для задач физики бесстолкновительной плазмы

Л. В. Вишивкова, Г. И. Дудникова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: lyudmila.vshivkova@parbz.ssc.ru

Трудности, которые возникают при практической реализации кинетической модели плазмы для электронной и ионной компонент связаны с большим различием их характерных пространственных масштабов. Это приводит к необходимости создания гибридных (комбинированных) моделей, где для описания движения одной компоненты плазмы используется кинетическое уравнение Власова, а для другой компоненты плазмы – приближение магнитной гидродинамики. Уменьшение требований на архитектуру и память ЭВМ по сравнению с полностью кинетическими моделями обеспечило широкое распространение гибридных моделей. Исследования на их основе являются наиболее перспективными с точки зрения вычислительного эксперимента.

В представленной работе рассматриваются гибридные модели двух типов и их отличия от моделей, рассматриваемых другими авторами в настоящее время. В первой модели используется традиционная модель, где ионы описываются кинетически, а электроны трактуются, как жидкость. Во второй модели рассматривается гибридная модель, основанная на кинетическом приближении для электронов и МГД приближении для ионной компоненты плазмы. Исследована структура формирования ударных волн для разных параметров плазмы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 16-11-10028) и Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00209).

Численное моделирование генерации оптических вихрей при прохождении пучка света через слой нематического жидкого кристалла

Р. В. Галёв¹, А. Н. Кудрявцев¹, С. И. Трашкеев²

¹Институт теоретической и прикладной механики СО РАН

²Институт лазерной физики СО РАН

E-mail: alex@itam.nsc.ru

В последние годы большое внимание исследователей привлекают пучки света, несущие ненулевой орбитальный угловой момент ("оптические вихри"). Они могут использоваться для повышения скорости передачи информации, манипуляции микрообъектами и многих других целей [1]. Одним из эффективных методов генерации таких пучков может служить взаимодействие света со слоем жидкого кристалла. Преимуществом метода является возможность динамического изменения параметров выходного пучка с помощью малых внешних механических, тепловых и др. воздействий на жидкий кристалл.

В работе проведено численное моделирование прохождения пучка света через анизотропную жидкокристаллическую среду. Уравнения Максвелла решались методом FDTD на расчетных сетках, насчитывавших до $5 \cdot 10^8$ узлов. Моделировалось распространение основной моды HE₁₁ волоконного световода через слой нематического жидкого кристалла, заполняющего поперечный зазор в оптоволокне и содержащий дисклинацию. Была изучена зависимость генерируемого орбитального мо-

мента от толщины слоя и силы дисклинации, найдены параметры системы, при которых генерация закрученных пучков света происходит наиболее эффективным образом.

Список литературы

1. Franke-Arnold S., Allen L., Padgett M. Advances in optical angular momentum // *Laser & Photon Rev.* 2008. Vol. 2, No. 4. P. 299-313.

Математическое моделирование гибридных автоволн при фильтрационном горении газов в слое катализатора

А. П. Герасев

Институт катализа СО РАН

E-mail: a.gerasev@ngs.ru

Явление распространения гибридных автоволн (тепловых волн с одновременно идущими каталитическими и газофазными реакциями) в неподвижном слое является одним из ярких примеров автоволновых процессов [1]. В рамках двухфазных представлений гетерогенной среды исследована простейшая математическая модель автоволновых процессов с химическими реакциями в газовой фазе и на катализаторе [2]. Методами качественного и численного анализа исследован характер поведения фазовых траекторий динамической системы и разработана эффективная методика поиска физически содержательного решения задачи. Подобраны значения параметров модели, позволяющие описать экспериментально установленные закономерности распространения гибридных автоволн в зависимости от скорости фильтрации газа. Проведен анализ структуры гибридных автоволн.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИК СО РАН (проект № 0303-2016-0017).

Список литературы

1. В.С. Бабкин, Г.Б. Баранник, З.Р. Исмагилов и др. Гибридная тепловая волна при фильтрационном горении газа // *ДАН СССР.* 1989. Т. 304. № 3. С. 630-633.
2. Gerasev A.P. Simulations of traveling hybrid waves // *Combustion and Flame.* 2015. V. 162. № 3. P. 736-744.

Математическое моделирование технологических процессов плазмохимического травления

А. Г. Горобчук

Институт вычислительных технологий СО РАН

E-mail: alg@eml.ru

В докладе рассматриваются задачи о течениях многокомпонентных газовых смесей с физико-химическими превращениями применительно к математическому моделированию плазмохимических технологий микроэлектроники. Для описания технологических процессов плазмохимического травления предложена обобщенная физико-математическая модель, соответствующая современным направлениям в моделировании производства микроэлектронных схем и позволяющая исследовать тонкие физические эффекты плазменного травления. Приводятся эффективные численные алгоритмы решения уравнений многокомпонентной гидродинамики с применением современных суперкомпьютерных технологий. Для реактора радиальной схемы представлены результаты по управлению скоростью травления кремния в смесях CF_4/O_2 и CF_4/H_2 с использованием многокомпонентных моделей плазмохимических кинетик, воспроизводящих в расчетах экспериментально наблюдаемые кинетические эффекты, в частности, эффект гистерезиса в CF_4/O_2 и процесса полимеризации в CF_4/H_2 .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00209) и гранта ведущих научных школ (номер гранта НШ-7214.2016.9).

Моделирование процессов фильтрационного горения газа

А. В. Григорьев, Ю. М. Лаевский, Т. А. Носова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kandryukova@labchem.sccc.ru

В докладе представлены новые результаты в области численного моделирования фильтрационного горения газа. Предложена многомерная модель процесса, основанная на системе законов сохранения терминах "температура – тепловой поток", "масса – диффузионный поток" с введением понятия потока полной энтальпии. Также в докладе представлены численные результаты для одномерной задачи при различных критических значениях параметров. Эти результаты основаны на новом устойчивом алгоритме вычисления фронта горения. В частности, рассмотрены предельные случаи бесконечно интенсивного теплообмена и теплообмена малой интенсивности, когда перестает реализовываться режим медленного горения. Промоделирован процесс пульсационного горения, имеющий место при достаточно малых расходах горючей смеси. Проанализирована производительность модели с точки зрения использования высокопроизводительных вычислений.

Основная часть работы (формулировка математических моделей, проведение численных экспериментов и физическая интерпретация результатов) выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (номер гранта 15-11-10024), работа, связанная с распараллеливанием алгоритмов и их кластерной реализацией выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных (номер гранта 16-29-15122 офи-м).

Оптимизация условий проведения каталитических реакций

И. М. Губайдуллин, К. Ф. Коледина, С. Н. Коледин

Институт нефтехимии и катализа РАН

E-mail: irekmars@mail.ru

В работе исследуется кинетическая модель реакции взаимодействия спиртов с диметилкарбонатом в присутствии дикобальтокарбонила и гексакарбонила вольфрама [1]. Определены кинетические параметры при различных начальных данных (количество катализатора, природа катализатора, продолжительность реакции). Разработаны экономические критерии оценки качества реакции в условиях лабораторного эксперимента [2, 3]. Решена задача оптимизации по физико-химическим и экономическим критериям.

Список литературы

1. К. Ф. Коледина, С. Н. Коледин, Н. А. Щаднева, И. М. Губайдуллин Кинетика и механизм каталитической реакции спиртов с диметилкарбонатом // Журнал физической химии, 2017, том 91, № 3, с. 422–428
2. Коледин С.Н., Коледина К.Ф., Губайдуллин И.М., Спивак С.И. Определение оптимальных условий каталитических процессов на основе экономических критериев // Химическая промышленность сегодня. №10. 2016г. стр. 24-35.
3. С. И. Спивак, К. Ф. Коледина, С. Н. Коледин, И. М. Губайдуллин Информационно-вычислительная аналитическая система теоретической оптимизации каталитических процессов // Прикладная информатика / Journal of applied informatics. Том 12. № 1 (67). 2017. с. 39-49.

Описание статистико-термодинамических особенностей димеризационных равновесий в системе твердых сфер с притяжением

А. Г. Давыдов, Н. К. Ткачев

Уральский федеральный университет им. Б. Н. Ельцина

Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН

E-mail: alex_davydov@mail.ru

В наших предыдущих работах были рассмотрены несколько различных задач о димеризационном равновесии, в которых молекулярные постоянные считаются заданными, а все взаимодействия включаются в коэффициенты активности участников реакции [1–4]. Целью настоящей работы было проанализировать особенности димеризационного равновесия твердосферной смеси при учете

образования только гомоядерных димерных молекул, взаимодействие которых и с одиночными атомами и между собой описывается моделью прямоугольной ямы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-03-01588).

Список литературы

1. Ткачев Н. К., Зинатулина А. Р. Особенности химического равновесия димеризации в системе твердых сфер // ЖФХ. 2013. Т. 87, № 9. С. 1471–1476.
2. Ткачев Н. К. Влияние твердосферного взаимодействия на ассоциацию в расплавах // Расплавы. 2014. № 2. С. 87–93.
3. Tkachev N. K., Peshkina K. G. Features of dimerization equilibrium in hard-sphere fluids // TVT. 2016. V. 54, № 2. P. 317–319.
4. Давыдов А. Г., Ткачев Н. К. Анализ термодинамики смешения растворов с самоассоциацией в модели твердых сфер с перекрытием // Расплавы. 2015. № 5. С. 22–38.

Численные модели динамики турбулентных следов с варьируемым суммарным избыточным импульсом

А. Г. Деменков¹, А. В. Фомина², Г. Г. Черных³

¹*Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН*

²*Новокузнецкий филиал-Институт Кемеровского государственного университета*

³*Институт вычислительных технологий СО РАН*

E-mail: chernykh@ict.nsc.ru

Построены численные модели плоских и осесимметричных турбулентных следов с варьируемыми значениями суммарного избыточного импульса, основанные на применении алгебраической модели рейнольдсовых напряжений Роди. Результаты расчетов близки к известным экспериментальными данными. С применением модифицированной $e\sim e$ модели турбулентности осуществлено численное моделирование заключительной вязкой стадии вырождения турбулентных следов за буксируемым и самодвижущимся телами вращения. Результаты расчетов хорошо согласуются с известными асимптотиками.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00332).

Закон Гука и уравнения теории упругости с несимметричным тензором напряжений

К. Б. Джакупов

Институт математики и математического моделирования

E-mail: jakupovkb@mail.ru

Установлены прямые связи касательных и нормальных напряжений с законом Гука и несимметричность тензора напряжений твердого деформируемого тела.

Построены новые уравнения динамической теории упругости. Показаны парадоксы гипотезы Ламе о симметричности тензора напряжений и уравнений Ламе. Для новых уравнений построена явная схема 2-го порядка точности, по которой рассчитано упругое состояние плоского бруска при действующих в середине 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 неадекватность решения уравнений Ламе физике деформаций.

Список литературы

1. Тимошенко С.П.- Киев: Изд-во "Наукова Думка", 1972г. С.506.
2. Джакупов К.Б. Коррекции теоретических парадоксов механики сплошной среды. –А.: Типография "Гылым ордасы", 2016г. С.418.
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.

Степенные реологические законы в моделировании динамики вязкой жидкости*К. Б. Джакупов**Институт математики и математического моделирования**E-mail: jakupovkb@mail.ru*

Закон трения Ньютона соответствует зависимости сил трения от первой степени скорости. Реологические законы, соответствующие четным степеням зависимости от скорости, приводят к некорректным уравнениям динамики [1-3]. Моделирование течений вязкой жидкости эффективно с использованием сил трения с нечетными показателями степени. Выведены несимметричные тензоры напряжений и уравнения динамики, решения которых идентичны экспериментам осредненного турбулентного течения в трубе [2]. Уравнения применены в численных расчетах обтекания в декартовой системе координат нескольких цилиндров.

Список литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики.- Т.1. М.: "Наука", 1977г.
3. Jakupov K.B. rheological laws of viscous fluid dynamics // Известия НАН РК, сер.физ.-мат., 1(293), 2014.С.51-55.
4. Джакупов К.Б. Коррекции теоретических парадоксов механики сплошной среды. –А.: Типография "Тылым ордасы", 2013г.

Уравнения Максвелла и закон Ома в магнитной гидродинамике*К. Б. Джакупов**Институт математики и математического моделирования**E-mail: jakupovkb@mail.ru*

Установлена противоречивость систем с уравнениями гиперболического или параболического типов для индукций и напряженностей магнитного и электрического полей. Обоснован алгоритм прямого применения уравнений Максвелла и закона Ома в численном моделировании МГД. Приводятся результаты расчетов двухфазного течения: струи электропроводящей жидкости в канале, заполненном электронепроводящим воздухом: конфигурации жидкости после наложения поперечного магнитного поля, распределения векторов плотности тока и напряженности электрического поля, индукции магнитного поля. При больших числах Гартмана поперечное магнитное поле останавливает в неподвижности введенную массу электропроводящей жидкости. Показана существенная зависимость конфигурации заторможенной жидкости от параметров подобия, входящих в безразмерную электромагнитную силу в уравнениях динамики вязкой жидкости.

Список литературы

1. Ватажин А.Б., Любимов Г.А. Магнитогидродинамические течения в каналах. – М.: "Наука", 1970. С.672.
2. Куликовский А.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. - М.: Физматгиз. 1962. С. 245.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. - М.: "Наука", 1982. С.621.
4. Савельев И.В. Курс общей физики, том 2.- М.: "Наука", 1988. С.496.
5. Джакупов К.Б. Коррекции теоретических парадоксов механики сплошной среды. – А.: Типография "Тылым ордасы", 2016. С.418.
6. Джакупов К.Б. Эффективное применение уравнений Максвелла и закона Ома в численном моделировании двухфазных процессов магнитной гидродинамики // Известия НАН РК, сер. физ.-мат. 4 (302), июль-август 2016 г., с.117-123.

Численное моделирование ионно-звуковых ударных волн в плазме*А. А. Ефимова, Г. И. Дудникова**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**E-mail: anuta_e@ngs.ru*

Численное моделирование структуры формирования электростатических ударных волн имеет важное значение при исследовании наблюдаемых возмущений в лабораторной и космической

плазме, а также в экспериментах по ускорению частиц при взаимодействии лазерного импульса с плазмой (например, [1]). Рассматриваются задачи в одномерной постановке: а) формирование ударной волны в результате распада разрыва и б) отражение от стенки. Эти задачи имеют прямое отношение к ускорению бесстолкновительных ударных волн. Исследования проводятся на основе кинетической модели и двух гибридных моделях. В рассматриваемых гибридных моделях движение ионов описывается кинетическим уравнением, а движение электронов в первом случае описывается уравнением Больцмана [2], а во втором – адиабатической функцией [3, 4]. Для решения поставленных задач используется метод частиц-в-ячейках [5]. Основной упор сделан на исследование количества отраженных частиц в закритических режимах ударных волн.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-01-00209.

Список литературы

1. Macchi A., Nindrayog A. S., Pegoraro F. Solitary versus shock wave acceleration in laser-plasma interaction // *Physical Review E*, 2012. Volume 85, P. 046402.
2. 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.
3. Gurevich A. V. Distribution of Captured Particles in a Potential Well in the Absence of Collisions // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. 1968. Volume 26, No. 3, P. 575.
4. 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.
5. Григорьев Ю.Н., Вшивков В. А., Федорук М. П. Численное моделирование методами частиц-в-ячейках // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 360 с.

Технология 3D моделирования гидротормозных устройств пушечных установок

В. Р. Ефремов¹, А. С. Козелков², Ю. Г. Нечепуренко¹, В. В. Курулин², А. С. Кривонос²

¹ОАО "Конструкторское бюро приборостроения" им. А. Г. Шипунова

²Российский федеральный ядерный центр (Всероссийский научно-исследовательский Институт экспериментальной физики)

E-mail: valentin_e@mail.ru

Доклад посвящен описанию разработанной технологии трехмерного моделирования физических процессов, протекающих в гидротормозных устройствах обращенного веретенного типа с наличием свободного объема в цилиндре с рабочей жидкостью. Технология основана на численном решении системы уравнений Навье-Стокса, которая дополняется уравнением переноса для отслеживания движения границы "рабочая жидкость-свободный объем" методом VOF (Volume of Fluid) [1]. В качестве метода решения системы используется полностью неявный метод [2] совместно с решателем СЛАУ, основанном на алгебраическом многосеточном методе [3]. Для увеличения точности решения вблизи границы фаз используются схемы, сжимающие фронт раздела фаз – HRIC и M-CICSAM [2]. Моделирование подвижных частей производится путем применения метода подвижных деформирующихся сеток [4], учет которых в исходных уравнениях осуществлен с использованием Лагранже-Эйлерового приближения. Разработанная технология позволяет моделировать полный цикл работы гидротормозного устройства: откат подвижных частей при выстреле и обратный накат при приведении пушечной установки в исходное положение. Технология реализована на базе отечественного пакета программ ЛОГОС [5].

В докладе представлена верификация технологии, на задачах, имеющих экспериментальные данные. В качестве основной задачи рассматривается работа гидротормозного устройства в различных постановках. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными, полученными на стендах АО "КБП".

Работа выполнена при поддержке АО "КБП" им. Шипунова А.Г. (г. Тула) в рамках НИР "Моделирование гидротормозных устройств обращенного веретенного типа с наличием свободного объема в цилиндре с рабочей жидкостью", а также при частичной финансовой поддержке РФФИ - проект № 16-01-00267.

Список литературы

1. Ubbink O. Numerical prediction of two fluid systems with sharp interfaces // PhD thesis, Imperial College, University of London, 1997.
2. Козелков А.С., Мелешкина Д.П., Куркин А.А., Тарасова Н.В., Лашкин С.В., Курулин В.В. Полностью неявный метод решения уравнений Навье-Стокса для расчета многофазных течений со свободной поверхностью // Вычислительные технологии, 2016, Том 21, № 5, с. 54-76.
3. Волков К.Н., Дерюгин Ю.Н., Емельянов В.Н., Карпенко А.Г., Козелков А.С., Тетерина И.В. Методы ускорения газодинамических расчетов на неструктурированных сетках. – Москва: Физматлит, 2013, 536 с.
4. J. A. Benek, T. L. Donegan, N. E. Suhs, Extended Chimera Grid Embedding Scheme With Application to Viscous Flow // AIAA Paper. 1987. № 87-1126.
5. Козелков А.С., Шагалиев Р.М., Курулин В.В., Ялозо А.В., Лашкин С.В. Исследование потенциала суперкомпьютеров для масштабируемого численного моделирования задач гидродинамики в промышленных приложениях // Вычислительная математика и математическая физика, 2016, том 56, № 8, с. 1524–1535.

Моделирование формообразования при электрохимической обработке вращающимся пластинчатым электрод-инструментом

В. П. Житников¹, Р. Р. Муксимова², А. А. Соколова¹

¹*Уфимский государственный авиационный технический университет*

²*Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации*

E-mail: rose_muks@rambler.ru

В задаче прорезания пазов обычно используется ЭИ круглого сечения [1,2]. Использование ЭИ в виде узкой полосы при вращении создает условия для постоянного обмена электролита, что делает технологический процесс более эффективным и предсказуемым. Задача решалась методом граничных элементов [1]. Вычислительный эксперимент с различными значениями угловой скорости ω вращения ЭИ показал, что левая граница прорезаемого паза при малых частотах приобретает волнообразную форму. При некотором значении ω амплитуда волн имеет максимальное значение. Это было объяснено совпадением мгновенного центра вращения ЭИ, совершающего вращательное движение с одновременным поступательным движением его центра, с некоторой точкой на обрабатываемой поверхности (ОП). Это способствует наиболее длительному нахождению кромки ЭИ вблизи ОП и увеличению количества растворяемого материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-07-00356).

Список литературы

1. Волгин В. М., До Ван Донг, Давыдов А. Д. Моделирование электрохимической обработки проволочным электродом-инструментом // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 11. С. 122–136.
2. Житников В.П., Муксимова Р.Р., Зарипов А.А. Моделирование прецизионной нестационарной электрохимической обработки круглым и пластинчатым электрод-инструментом // Вестник УГАТУ. 2015. Т. 19, №1 (67). С. 92–99.

Краевая задача для одной переопределенной стационарной системы, возникающей в двухжидкостной среде

Х. Х. Имомназаров, М. В. Урев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: imom@omzg.sgcc.ru

Рассматривается стационарная система двухжидкостной среды с равновесием фаз по давлению и неоднородными дивергентными и краевыми условиями для двух скоростей. Рассматриваемая система дифференциальных уравнений является переопределенной. В докладе показано, что решение системы дифференциальных уравнений сводится к последовательному решению двух краевых задач: задачи Стокса для одной скорости и давления и переопределенной системы для другой скорости. Приведены обобщенные постановки этих задач и их дискретные аппроксимации по мето-

ду скалярных и векторных конечных элементов Неделека. Для решения переопределенной задачи применяется вариант метода регуляризации.

Кинетическое моделирование распространения электронной тепловой волны в столкновительной лазерной плазме

С. А. Карпов¹, И. Ф. Потапенко²

¹*Всероссийский научно-исследовательский Институт автоматики им. Н. Л. Духова*

²*Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша*

E-mail: karpov.st@yandex.ru

При взаимодействии лазерного излучения большой интенсивности с плазмой возникают значительные градиенты температуры и плотности. В случае, когда характерный масштаб градиента меньше или порядка сотни электрон-ионных длин свободного пробега, экспериментальные данные указывают на нелокальный характер электронного теплопереноса и свидетельствуют о невозможности его описания в рамках классической гидродинамической модели. Для получения параметров теплопереноса в плазме с произвольным масштабом неоднородности необходимо численное решение столкновительного кинетического уравнения, что приводит к существенной многомасштабности рассматриваемой задачи.

В данной работе представлены результаты численного кинетического моделирования распространения электронной тепловой волны из нагретой области плазмы, полученные с помощью двух оригинальных вычислительных кодов, реализующих стохастический и детерминистический подход для решения столкновительного кинетического уравнения. В рамках стохастического подхода в 1D3V геометрии для интеграла столкновений Ландау разработан метод прямого дискретного моделирования типа Монте-Карло (DSMC) [1], а для расчета "власовской" части кинетического уравнения использован PIC метод. Детерминистический подход состоит в решении кинетического уравнения в 1D2V геометрии на основе так называемых сохраняющих асимптотику разностных схем (см., например, работу [2]). В работе дан краткий сравнительный анализ эффективности двух данных подходов, исследована структура электронной функции распределения на фронте тепловой волны, а также представлено сравнение результатов кинетического и гидродинамического моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-51-52007 и 16-01-00256).

Список литературы

1. Bobylev A. V., Potapenko I. F. Monte Carlo methods and their analysis for Coulomb collisions in multicomponent plasmas // *Journal of Computational Physics*. 2013. V. 246. P. 123–144.
2. S. Guisset et al. Asymptotic-Preserving scheme for the M1-Maxwell system in the quasi-neutral regime // *Communications in Computational Physics*. 2016. V. 19, N 2. P. 301–328.

О неаналитичности решения уравнения Пуассона

П. А. Ким

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kim@ooi.sgcc.ru

Рассматривается построение сглаживания ступеньки масштабируемой модели местности для полигона заданного на квадрате X^*U . Показывается сходимость процесса полидугизации к минимальной поверхности по заданным граничным условиям, которая должна отвечать некоторому уравнению Пуассона с константной частью. Задание границы неаналитической функцией, отвечающей "неберущемуся интегралу", приводит к неаналитичности собственно предельного решения уравнения.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00066) и Программы I.33П Президиума РАН (проект № 0315-2015-0012).

Список литературы

1. Ким П.А. Дифференциальное представление масштабируемой модели рельефа // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2011. Т. 4. С. 120-122.
2. Ким П.А. Полидуга как элемент конструирования профилей масштабируемой модели рельефа // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2007. Т. 3. С. 188-192.
3. Ким П.А. О геометрической форме решения интегрального уравнения масштабируемой модели рельефа // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2006. Т. 3. № 1. С. 212-217.

Математическое моделирование взрыва сверхновой на суперЭВМ*И. М. Куликов**Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**E-mail: kulikov@ssd.sccc.ru*

В докладе будет изложен метод высокого порядка точности на гладких решениях и с малой диссипацией решения в области разрывов для решения уравнений релятивистской газовой динамики. Численный метод основан на комбинации метода Годунова и кусочно-параболического метода на локальном шаблоне [1]. Для построения решения задачи Римана была решена задача о полном спектральном разложении для уравнений релятивистской газовой динамики [2]. Процедура восстановления примитивных переменных основана на работе [3]. Численный метод был протестирован на задаче о распаде релятивистского разрыва, допускающего аналитическое решение. В рамках модели релятивистской газовой динамики был смоделирован процесс взрыва сверхновой типа SN 2006gy [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проектов 15-01-00508 и 16-07-00434) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-1445.2017.9).

Список литературы

1. Kulikov I., Vorobyov E. Using the PPML approach for constructing a low-dissipation, operator-splitting scheme for numerical simulations of hydrodynamic flows // J. of Computational Physics. 2016. V. 317. P. 318-346.
2. Falle S.A.E.G., Komissarov S.S. An upwind numerical scheme for relativistic hydrodynamics with a general equation of state // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1996. V. 278, I. 2. P. 586-602.
3. Mignone A., Bodo G. An HLLC Riemann solver for relativistic flows – I. Hydrodynamics // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2005. V. 364, I. 1. P. 126-136.
4. Ofek E.O., et al. SN 2006gy: An Extremely Luminous Supernova in the Galaxy NGC 1260 // The Astrophysical Journal Letters. 2007. V. 659. L13-L16.

Сравнительный анализ двух алгоритмов динамики встречных противоположно заряженных пучков*К. В. Лаговская¹, М. А. Боронина²*¹*Новосибирский государственный университет*²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН**E-mail: k.lagovskaia@g.nsu.ru*

В представленной работе рассматривается задача о взаимодействии движущихся навстречу друг другу пучков противоположно заряженных частиц. Предполагается, что движение частиц происходит под действием самосогласованного поля в вакууме на релятивистских скоростях. Его описывают уравнения Власова - Максвелла, решение системы обеспечивается методом частиц в ячейках [1,2]. Работа содержит сравнительный анализ численных результатов двух схем [3,4] в случае взаимодействия гауссовых пучков и существующих аналитических решений. В работе исследуются наборы параметров пучков, необходимых для увеличения светимости коллайдера, например, форма, величина заряда, энергия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 16-31-00301, 16-01-00209).

Список литературы

1. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987.
2. Boronina M. A., Vshivkov V. A. Parallel 3-D particle-in-cell modelling of charged ultrarelativistic beam dynamics // Journal of Plasma Physics. 2015. Vol. 81, Issue 6.
3. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989.
4. Boronina M. A., Vshivkov V. A. Development and analysis of computational algorithm of the Maxwell's equations in flat domains // Journal of Physics: Conference Series. 2016, 722 012006.

Модификация метода Галеркина с разрывными базисными функциями, обеспечивающая выполнение дискретного аналога энтропийного неравенства

М. Е. Ладонкина, В. Ф. Тишкин

Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша

E-mail: adonkina@imamod.ru

Разрывный метод Галеркина относится к классу методов повышенной точности на гладких решениях [1]. В работе [2] в одномерных расчетах прохождения ударной волны по неравномерному фону были получены порядки точности разрывного метода Галеркина близкие ко вторым при отсутствии лимитиров. Введение лимитера несколько ухудшает порядок точности метода [3]. Как известно, существует ряд постановок, которые не могут быть просчитаны разрывным методом Галеркина без использования лимитеров. Одной из причин необходимости использования лимитирующих функций может оказаться тот факт, что в традиционных схемах разрывного метода Галеркина может нарушаться энтропийное неравенство [4]. В данной работе рассмотрена модификация метода, использующая базисные функции зависящие от времени. Показано, что за счет такого выбора функций можно обеспечить выполнение дискретного аналога энтропийного неравенства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты №17-01-00361_А, №16-01-00333).

Список литературы

1. М.Е.Ладонкина, В.Ф. Тишкин, О методах типа Годунова высокого порядка точности, Доклады академии наук, 2015, т.461, №4, с.390-393;
2. М.Е.Ладонкина, В.Ф. Тишкин. Обобщение метода Годунова, использующее кусочно-полиномиальные аппроксимации, Дифференциальные уравнения, 2015, т.51, № 7, с.899-907
3. М.Е.Ладонкина, О.А.Неклюдова, В.Ф.Тишкин, Использование разрывного метода Галеркина при решении задач гидродинамики, Мат. моделирование 2014. т.25. N1, 17-32
4. Краснов М.М., Кучугов П.А., Ладонкина М.Е., Тишкин В.Ф. Обобщение метода Годунова, использующее кусочно-полиномиальные аппроксимации. Тезисы XVI Международной конференции "Супервычисления и математическое моделирование", г.Саров, 3-7 октября 2016

Моделирование кривых блеска затменной двойной системы с аккреционным диском

В. В. Лукин¹, К. Л. Маланчев², Н. И. Шакура², К. А. Постнов², В. М. Четчин¹

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

²Государственный астрономический Институт им. П.К. Штернберга МГУ

E-mail: vvlukin@gmail.com

Рассмотрена математическая модель формирования аккреционного диска в затменной двойной системе V1239 Her. Модель включает в себя систему уравнений трёхмерной газовой динамики для частично ионизованного невязкого газа с учетом гравитационного потенциала Роша и радиационного охлаждения вещества, записанную во вращающейся системе отсчета. Для численного исследования модели разработан параллельный программный комплекс, основанный на методе типа Годунова для тетраэдральных неструктурированных сеток и позволяющий строить синтетические кривые блеска по результатам газодинамического расчета. Исследован процесс формирования и эволюции аккреционного диска при переменном темпе аккреции для параметров системы V1239 Her [1]. Расчетные кривые блеска показывают хорошее соответствие с данными наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-03073, 16-02-00656, 16-31-00302), Российского научного фонда (код проекта 14-12-00146).

Список литературы

1. Lukin V.V., Malanchev K.L., Shakura N.I., Postnov K.A., Chechetkin V.M., Utrobin V.P. 3D modelling of accretion disc in eclipsing binary system V1239 Her // MNRAS. 2017. V. 467. Pp. 2934-2942.

Построение кинетической модели реакции метилирования первичных аминов диметилкарбонатом

А. А. Мазитов¹, К. Ф. Коледина², И. М. Губайдуллин²

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет

²Институт нефтехимии и катализа РАН

E-mail: mazitov.ainur13@gmail.com

Объектом исследования работы является гетерогенная каталитическая реакция метилирования первичных аминов диметилкарбонатом. В общем случае реакция содержит 6 необратимых стадий, в которой всего участвует 13 веществ. Исходными реагентами являются анилин и диметилкарбонат, а выходными продуктами – N-метиланилин и N,N-диметиланилин. В качестве катализатора используется гранулированный цеолитный катализатор.

N-Метиланилин и N,N-диметиланилин используются для получения лекарственных препаратов, красителей и взрывчатых веществ. N-Метиланилин – экологически малоопасная антидетонационная система добавка к бензинам. N-метиланилин и N,N-диметиланилин и их производные – важный класс азотосодержащих соединений [1] поэтому для подробного изучения физико-химических свойств этих веществ необходимо построить математическую модель исследуемой реакции.

На основе закона действующих масс реакция описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, начальными данными для которой являются концентрации всех реагентов системы в начальный момент времени. Математическое описание реакции необходимо для построения модели химической кинетики, называемой кинетической моделью [2].

Список литературы

1. Хуснутдинов Р.И., Щаднева Н.И., Маякова Ю.Ю., Хазипова А.Н., Кутепов Б.И., Ардиева С.И. Метилирование анилина и его производных диметилкарбонатом под действием микро-, мезо- и макропористых цеолитов KNaX, NaY и HY без связующего // Журн. органич. химии. 2016. Т. 52, № 11. С. 1574-1578.

2. Губайдуллин И.М., Сайфуллина Л.В., Еникеев М.Р. Информационно-аналитическая система обратных задач химической кинетики: учебное пособие. Уфа: Изд-е Башкирск. Ун-та, 2011.

Математическое моделирование переноса и поглощения излучения в турбулентных потоках газа с химическими превращениями

Т. В. Маркелова

Институт катализа СО РАН

E-mail: matamara@gmail.com

Разработана и реализована при использовании программного пакета Ansys Fluent (лицензия ССКЦ СО РАН) численная модель переноса и поглощения излучения в турбулентном потоке газа ($Re \sim 30\ 000$) с учетом химических реакций. Для моделирования была использована k-ε модель турбулентного течения с уравнением прямого переноса излучения и системой уравнений для химических реакций. Расчеты проводились для области цилиндрической формы длиной один метр и 10 сантиметров в диаметре с заданием температуры на границах и плотности потока лазерного излучения в центральной области основания цилиндра диаметром 1.5 сантиметра. Для расчетов была сгенерирована конечно элементная сетка из 6000000 ячеек. Наличие ввода и вывода газа обеспечивают его циркуляцию, для ввода задается состав и температура газовой смеси, на выводе задается условие свободного вытекания. Давление в расчетной области практически постоянное, равно 1 атм.

Проведенные расчеты позволили найти безразмерные параметры задачи, установить взаимосвязь начальных условий и степени превращения реагентов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИК СО РАН (код проекта 0303-2016-0017).

Сравнение эффективности двух быстрых методов расчета вихревого влияния при расчете двумерных несжимаемых течений вихревыми методами

И. К. Марчевский, Е. Н. Авдеева, К. С. Кузьмина

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

E-mail: iliamarchevsky@mail.ru

Рассмотрены две реализации быстрых методов расчета вихревого влияния, используемых при моделировании плоскопараллельных течений несжимаемых сред вихревыми методами. Исходная задача аналогична гравитационной задаче N тел и при прямом решении имеет квадратичную вычислительную сложность (влияния отдельных вихрей друг на друга находятся по закону Био-Савара). Быстрые методы имеют сложность порядка $N \log N$. Первый из рассмотренных приближенных методов аналогичен быстрому методу Барнса-Хата и основан на приближенном учете влияния удаленных вихрей. Для данного метода построены эффективные оценки точности и вычислительной сложности, разработана методика выбора параметров, обеспечивающая наименьшую сложность алгоритма. Вторая рассмотренная реализация основана на решении уравнения Пуассона для функции тока на грубой прямоугольной сетке и последующем уточнении результата путем непосредственного расчета влияния ближайших вихревых элементов по закону Био-Савара.

Проведено сравнение указанных реализаций по точности и вычислительной сложности. Показано, что использование быстрых методов позволяет существенно повысить скорость расчетов вихревыми методами при сохранении требуемого уровня точности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента (проект МК-7431.2016.8) и гранта РФФИ (проект 17-08-01468а).

К клеточно-автоматным моделям конвекционно-диффузионных процессов

А. В. Павлова, С. Е. Рубцов

Кубанский государственный университет

E-mail: kmm@fpm.kubsu.ru

Результаты изучения процессов миграции субстанций востребованы в различных областях научной и хозяйственной деятельности. Работа посвящена развитию методов моделирования механизмов переноса и рассеяния субстанций, разработке и сопоставлению моделей, основанных на применении конечно-разностных методов решения задач распространения примесей, а также клеточно-автоматных (КА) моделей указанных процессов.

В основу модели распространения примеси в атмосфере положена двумерная КА диффузия с окрестностью Марголуса (ТМ-диффузия) [1], распространенная на трехмерное пространство, добавлены процессы переноса субстанций под действием ветра и взаимодействия с препятствиями (строения, неровности рельефа). При отсутствии препятствий перенос осуществлен синхронным сдвигом состояний клеток вдоль координатных осей с вероятностью, пропорциональной соответствующим составляющим скорости ветра. Сдвиг добавляется третьим тактом к ТМ-диффузии, при наличии препятствий после сдвига выполняется еще один такт [2].

Для сравнения с результатами конечно-разностного моделирования реализован переход от булевых значений к непрерывным функциям распределения примеси путем осреднения значений состояний клеток по задаваемой окрестности.

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

Список литературы

1. Бандман О.Л. Клеточно-автоматное моделирование пространственной динамики. Новосибирск: СО РАН. 2000. 113 с.
2. Рубцов С.Е., Павлова А.В., Шкурят И.И. О клеточно-автоматных моделях процесса течения жидкости при наличии препятствий и примеси // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 7. С. 39–44.

О конвективной устойчивости газовой смеси при температуре близкой к критической

И. Б. Палымский¹, В. И. Палымский², П. А. Фомин³, А. В. Трифанов⁴

¹*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики*

²*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН*

³*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН*

⁴*Объединенный Институт физики полупроводников СО РАН*

E-mail: palymsky@hnet.ru

Движение газа часто сопровождается конденсацией и испарением жидкости. Количество пара определяется давлением насыщенных паров. Последнее быстро нарастает при увеличении температуры и обуславливает рост плотности газа. Газ считается идеальным, поэтому после испарения всей жидкости (критическая точка) плотность газа спадает с ростом температуры. В критической точке наблюдается разрыв коэффициента теплового расширения со сменой знака.

Рассматривается конвекция кислорода O_2 с циклогексаном C_6H_{12} в плоском слое, считается, что циклогексан конденсируется на горизонтальных изотермических границах, а парциальное давление кислорода постоянно. Слой подогревается снизу и разделен на два подслоя критической температурой, причем температура нижней горизонтальной границы выше критической, а верхней – ниже.

Показано, что при достаточной толщине нижнего подслоя может наблюдаться его неустойчивость, методом Галеркина построена нейтральная кривая и рассчитаны инкременты нарастания возмущений.

Работа выполнена в рамках Проекта РФФИ № 17-58-53100.

О подавлении конвекции химически равновесного реагирующего газа инертными микрочастицами

И. Б. Палымский¹, П. А. Фомин², И. В. Фролов³, А. В. Трилис⁴

¹*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики*

²*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН*

³*Новосибирский государственный университет*

E-mail: palymsky@hnet.ru

В рамках модели химического равновесия идеального реагирующего газа и приближения Буссинеска рассматривается конвекция в плоском слое водородо-кислородной газовой смеси с добавленными инертными микрочастицами Al_2O_3 . Плотность смеси рассматривается как функция абсолютной температуры, заданного внешнего давления и массовой концентрации частиц.

Отметим сосуществование двух противоречивых тенденций. Показано, что протекающие химические реакции обуславливают четырехкратное понижение его критического значения и увеличение конвективной неустойчивости. С другой стороны, добавление в реагирующую смесь инертных микрочастиц уменьшает удельную теплоемкость и как следствие, столь же существенно увеличивает критическое значение числа Рэлея, повышая тем самым конвективную устойчивость течения.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ №15-08-05166.

Математическое моделирование поведения конструкций при динамических нагрузках с использованием программного комплекса EFES

П. А. Радченко, С. П. Батуев, А. В. Радченко

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: radchenko@live.ru

В работе исследования проводятся численно, методом конечных элементов в трехмерной постановке с помощью авторского высокопроизводительного вычислительного комплекса EFES. Данный программный комплекс основан на трехмерном подходе к описанию поведения материалов и конструкций.

Модели, используемые в вычислительном комплексе, позволяют описывать широкий спектр материалов: металлы, композиты на основе угле- и стеклопластиков, различные типы бетонов, с учетом

анизотропии, пластичности, разрушения, влияния скорости деформации на пластичные свойства материалов. Предложенные модели и алгоритмы были протестированы на многих экспериментальных данных, которые подтвердили их адекватность. В работе предлагается алгоритм описания разрушения контактных элементов, обеспечивающий выполнение всех законов сохранения и проведения расчетов для больших деформаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-31-00125 мол_а, грант № 16-38-00256 мол_а), а также гранта Президента РФ МК-413.2017.1.

Метод декомпозиции области для задачи о равновесии упругого тела, армированного тонкими волокнами

Е. М. Рудой

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

E-mail: rem@hydro.nsc.ru

Рассматривается задача о равновесии упругого тела, армированного тонкими упругими волокнами. Считается, что волокна расположены внутри тела. Деформации волокон описываются в рамках модели балки Тимошенко. Для численного решения задачи предложен итерационный алгоритм, основанный на методе декомпозиции области и алгоритме Удзавы. Приведены результаты расчетов, иллюстрирующие эффективность алгоритма.

Список литературы

1. Rudoy E.M. Domain decomposition method for crack problems with nonpenetration condition // ESAIM-Math. Model. Num. 2016. V. 50, № 4. P. 995–1009.
2. Itou H., Khludnev A.M. On delaminated thin Timoshenko inclusions inside elastic bodies // Math. Meth. Appl. Sci. 2016. V. 39, № 17. P. 4980–4993.

Математическое моделирование воздействия излучения CO₂- лазера на внутреннее турбулентное течение химически активной смеси углеводородов

В. Н. Снытников, Т. В. Маркелова

Институт катализа СО РАН

E-mail: snyt@catalysis.ru

Внутреннее турбулентное течение смеси углеводородов, в котором поглощается излучение CO₂ лазера и происходят радикально – цепные реакции, рассчитано в пространственно трехмерной геометрии по k - ϵ модели. Течение газа происходит с числами Рейнольдса от 5000 до 30000. Поток тепла направляется со стенок в объем газовой смеси для компенсации энергии, идущей на эндотермические реакции углеводородов. Расчет воздействия излучения от CO₂ лазера на течение газа осуществлялся решением уравнения прямого переноса излучения самосогласованно с химическими процессами, включающими перенос атомарного водорода, метильного и других радикалов, и с газодинамикой. В качестве инструмента для численного моделирования был использован программный пакет ANSYS Fluent (лицензия ССКЦ СО РАН). В расчетах были получены зависимости конверсии этана от внешних параметров задачи, в частности, от мощности лазерного излучения и от температуры стенок реакционного объема, а также другие физико-химические параметры, характеризующие взаимодействующую систему турбулентный поток газа – химические процессы – поглощаемое лазерное излучение.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИК СО РАН (проект № 0303-2016-0017).

О корректности численного моделирования физических неустойчивостей

В. Н. Снытников, О. П. Стояновская

Институт катализа СО РАН

E-mail: snyt@catalysis.ru

Изучена корректность численных моделей для нестационарных задач с развитием физических неустойчивостей на примерах физики плазмы и гравитационной газодинамики с развитием

гравитационных неустойчивостей, в том числе с формированием множественных коллапсов газа в околозвездном диске. Исходные дифференциальные начально-краевые задачи некорректны из-за своей неустойчивости к изменению входных данных. Показано, что в численном методе для решения этих некорректных задач проводится следующая регуляризация: 1) если решение исходной неустойчивой задачи существует на всей временн'ой оси, то ограниченность области изменения переменных в численном методе позволяет удовлетворить условию его устойчивости к малым изменениям входных данных; 2) если решения исходной неустойчивой задачи существуют только на ограниченном временн'ом интервале, как в случае множественных коллапсов, то устойчивый численный метод строится на классе функций, ограниченных фиксированной постоянной, выбираемой из физических соображений. На этом классе функций исходная задача тоже становится корректной. Для выяснения смысла приближенных численных решений, получаемых в вычислительных экспериментах, следует использовать интегральные функции, слабо чувствительные к деталям численного алгоритма.

Работа частично выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИК СО РАН (проект № 0303-2016-0017).

Суперкомпьютерное моделирование гравитирующего газового околозвездного диска с использованием SPH

Н. В. Снытников¹, О. П. Стояновская², О. А. Стадниченко²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

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

E-mail: nik@ssd.sccc.ru

Разработан новый параллельный алгоритм для моделирования динамики тонкого околозвездного диска. Он основан на комбинации бессеточного метода сглаженных частиц [1] и сеточного метода свёртки для вычисления гравитационного потенциала [2]. Для разработки, оптимизации и профилировки алгоритма были проведены численные эксперименты по моделированию гравитационной фрагментации и последующей миграции сгустков плотности на протозвезду.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00916, 16-31-00301) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-5915.2016.1).

Список литературы

1. Gingold, R.A., Monaghan, J.J. Smoothed particle hydrodynamics. Theory and application to non-spherical stars //
2. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 181. P.375-389. 1977.
3. Стояновская О.П., Снытников Н.В., Снытников В.Н. Алгоритм для решения нестационарных задач гравитационной газовой динамики: комбинация метода SPH и сеточного метода вычисления гравитационного потенциала // Вычислительные методы и программирование. 16. С.52-60. 2015.

Численное исследование влияния тормозного излучения на поглощение альфвеновской волны диссипативной плазмой

А. А. Таюрский, М. Б. Гавриков

ИПМ им. М. В. Келдыша РАН

E-mail: tayurskiy2001@mail.ru

В работе рассмотрена задача о затухании альфвеновской волны, падающей на границу с диссипативной плазмой. В качестве диссипаций учитывались гидродинамические вязкости и теплопроводности электронов и ионов, магнитная вязкость, релаксация температур, потери на тормозное излучение. Поскольку, как показали исследования, затухание происходит на длинах порядка скин-слоев, на которых МГД уравнения не применимы, то в основу исследований положены уравнения двухжидкостной электромагнитной гидродинамики с полным учётом инерции электронов. Была предложена неявная разностная схема численного расчёта плоских течений двухжидкостной плазмы. Проведённые исследования позволили установить зависимость затухания от частоты альфвеновской волны и электронной теплопроводности и вязкости. Выполненные исследования учитывали

как тормозное, так и синхротронное излучение. Обнаружены квазистационарный режим затухания альфвеновской волны диссипативной плазмой и эффект запираания альфвеновской волны в диссипативной плазме.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-03085, 16-31-00302).

Прогноз затворно-управляемого поведения полупроводникового искусственного графена

О. А. Ткаченко, В. А. Ткаченко

Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН

E-mail: otkach@isp.nsc.ru

Дан численный прогноз затворно-управляемого поведения оптимизированной трехмерной структуры металл-изолятор-металл-GaAs/AlGaAs с графеноподобной решеткой антиоточек, которая может стать первой реализацией электростатического двумерного кристалла. Самосогласованным решением задач трехмерной электростатики и двумерной квантовой механики в приближении Пуассона-Хартри показано, что интервалы по затворному напряжению, отвечающие прохождению плоских зон, растягиваются, а запрещенной зоны сжимаются практически в точку. Обычная связь полной, геометрической и квантовой емкости нарушается из-за неоднородности электрических полей. Емкость в зависимости от затворного напряжения демонстрирует узкие провалы и пики, коррелирующие с щелями и минизонами. Дираковские особенности в плотности состояний остаются хорошо выраженными и сохраняют на затворной зависимости характерный V-образный вид. Обнаруженное расчетом поведение можно будет измерить, и оно не возникает в приближении Пуассона-Томаса-Ферми, которое игнорирует наличие минизонного спектра при расчете потенциала. Хотя оба приближения и дают почти одинаковые координатные зависимости потенциала и близкие зависимости плотности состояний от энергии, но они трудно измеряемы.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 14-22-00143) и гранта Президента РФ (НШ-10211.2016.8).

Кинетическая модель процесса висбрекинга

А. Г. Фасхутдинов¹, И. В. Ахметов², И. М. Губайдуллин²

¹Институт нефтехимии и катализа Российской академии наук

²Уфимский государственный нефтяной технический университет

E-mail: azamat_d1989@mail.ru

На сегодняшний день одним из простых и дешевых способов глубокой переработки нефтяных остатков является висбрекинг [1]. На нефтеперерабатывающих заводах России имеется большой промышленный опыт освоения и эксплуатации установок висбрекинга в различном технологическом оформлении, как в печном варианте, так и с реакционной камерой. Сущность данного процесса заключается в термоллизе нефтяных остатков с целью снижения вязкости. В качестве сырья процесса висбрекинга служит гудрон, асфальты процесса деасфальтизации и т.п.

Нефтяные остатки представляют собой смесь множества сложных и разнообразных по структуре органических соединений, имеющие в своем составе достаточное количество гетерогенных соединений. Поэтому описать реальную кинетику процесса висбрекинга, используя термические превращения каждой отдельной молекулы, задача не из простых на сегодняшнее время. В этой связи нефтяные остатки часто представляют как смесь компонентов, которые сгруппированы по температурам кипения, растворимости и другим физико-химическим признакам.

В данной работе рассмотрена модель, описывающая кинетику процесса висбрекинга [2].

Список литературы

1. Фасхутдинов А. Г., Сафронов А. В., Губайдуллин И. М. Исследование особенностей кинетики процесса висбрекинга // В сборнике: Математическое моделирование процессов и систем Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 110-летию со дня рождения академика А.Н. Тихонова. 2016. С. 162-166.

2. Ахметов И. В., Губайдуллин И. М. Кинетическая модель реакции получения метилового эфира 5-ацетил-2-пирролкарбоновой кислоты // Обзорные прикладной и промышленной математики. 2009. Т. 16. № 5. С. 805.

"Последовательные приближения по характерным взаимодействиям" для интерпретации данных измерений ядерно-геофизических технологий

А. И. Хисамутдинов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН

Новосибирский государственный университет

E-mail: KhisamutdinovAI@ipgg.sbras.ru

В настоящем докладе рассматриваются задачи уравнения переноса и случайных процессов, связанные с ядерно-геофизическими технологиями. Основное внимание уделено проблемам восстановления параметров пластов по данным измерений.

Приводятся результаты по развитию подхода и численных методов "последовательные приближения по характерным взаимодействиям".

Литература

1. Филиппов Е.М. Ядерная геофизика. --- Новосибирск: Наука, 1973. --- Т1, Т2. --- Т.1, --- 514 с.; Т.2, --- 400 с.
2. Ellis D.V., Singer J.M. Well Logging for Earth Scientists. Springer, Dordrecht: 2007.
3. 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
4. Хисамутдинов, А.И. Характерные взаимодействия и восстановление параметров уравнения переноса и среды, включая коэффициент пористости, по данным измерений некоторых ядерно-геофизических методов // Геология и Геофизика, 2013, т.54, № 9, с. 1427-1445.

Submodels of the model of thermal motion of gas in a rarefied space

Yu.A. Chirkunov, E.O. Pikhullina

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: elena187@list.ru

One-dimensional version of the model of thermal motion of a gas in a rarefied space has been used to solve the problem of a strong blast [1–3]. The multi-dimensional model was investigated in [4]. Exact solutions and conservation laws for the three-dimensional model were obtained in [5]. In this paper all significantly various invariant submodels of the model of thermal motion of gas in a rarefied space defined by invariant solutions of rank 2 of the system that defines the thermal motion of the gas in the rarefied space are obtained.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 16-01-00446 a and by Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering.

References

1. Sedov L. I. Propagation of strong blast waves//Appl. Math. and Mech. 10(2) 1946. P. 241–250. In Russian.
2. Taylor G. The formation of a blast wave by a very intense explosion. I. Theoretical discussion. Proceedings of the Royal Society. Ser. A. 201. 1950. P. 159–174.
3. von Neuman J., Bethe H.A., Fuchs K., Hirschfelder J.O. et al. The point source solution//Blast wave. Los-Alamos Scientific Laboratory Report LA-2000. 1958. P. 27–55.
4. Chirkunov Yu.A. The Conservation Laws and Group Properties of the Equations of Gas Dynamics with Zero Velocity of Sound. J. Appl. Math. Mech. 73(4). 2012. P. 421– 425.
5. Chirkunov Yu. A. Exact solutions of the system of the equations of thermal motion of gas in the rarefied space. Int. J. of Non-Linear Mech.. V. 83. 2016. P. 9-14.

О скорости высвобождения энергии для трещин в композиционных материалах*В. В. Щербakov**Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН**E-mail: sherbakov87@gmail.com*

В докладе рассматривается вариационная модель равновесия композиционного материала, состоящего из упругой матрицы и тонкого полужесткого включения при наличии трещины отслоения [1]. Тонкое полужесткое включение — это анизотропное включение, которое может растягиваться/сжиматься в одном направлении и перемещаться как жесткое целое в перпендикулярном направлении. На берегах трещины задаются краевые условия, имеющие вид равенств и неравенств и исключающие взаимное проникание точек упругой матрицы и включения, что приводит к нелинейной задаче с неизвестным множеством контакта. Развита математический аппарат, позволяющий получить формулы для скорости высвобождения энергии при продвижении трещины вдоль направления армирования. В частности, найдены аналоги основополагающих понятий механики разрушения: формулы Гриффитса и инвариантного J-интеграла Эшелби — Черепанова — Райса.

Список литературы

1. Shcherbakov V. Energy release rates for interfacial cracks in elastic bodies with thin semirigid inclusions // Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik. 2017. V. 68, No. 1. Article No. 26.

Моделирование сценариев перехода к турбулентности в области обрушения внутренних волн в различных условиях*С. Н. Яковенко**Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН**E-mail: s.yakovenko@mail.ru*

Выполнено численное исследование устойчиво стратифицированного потока с двумерным препятствием, генерирующим подветренные волны, которые опрокидываются при определенных условиях. Для численного решения уравнений Навье–Стокса в приближении Буссинеска, дополненных уравнением диффузии скаляра, применены методы прямого численного моделирования (DNS) и моделирования крупных вихрей (LES). Проведено сканирование сценариев перехода к турбулентности по числам Рейнольдса ($100 \leq Re \leq 40\,000$) и Прандтля/Шмидта ($1 \leq Pr \leq 700$), соответствующим физическим экспериментам и геофизическим течениям. Случай $Re = 4000$ и $Pr = 1$ исследован в [1]. Анализ полей скорости, скаляра и спектров показывает, что имеет место неустойчивость Рэлея–Тейлора (НРТ) в трансверсальном направлении y (по размаху препятствия). С ростом Re и Pr уменьшается длина волны квазидвумерных возмущений НРТ, ускоряется их рост, а также возникают возмущения НРТ в продольном направлении x . Интегральный результат представляет длина волны λ_y максимально нарастающего возмущения, полученная из визуализации полей плотности, анализа спектров и построенная в зависимости от Re при различных числах Pr . В частности, соблюдается аналитическое выражение длины волны ($\lambda_y \sim Re^{-2/3}$), записанное в [1] при $Pr = 1$.

Список литературы

- Yakovenko S. N., Thomas T. G., Castro I. P. // J. Fluid Mech. 2014. Vol. 760. P. 466–493.

Моделирование течения из узкой щели при небольших числах Рейнольдса*С. Н. Яковенко**Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН**E-mail: s.yakovenko@mail.ru*

Цель работы – численное исследование структуры, вытекающей из щели плоской струи, стационарной и с наложенными поперечными осцилляциями, аналогичными акустике. Результаты применимы, например, для развития водородной энергетики: формирующаяся под влиянием акустики вихревая структура увеличивает подсос воздуха, степень смешения топливо-воздух, устойчивость

пламени, снижает температуру, длину пламени и вредные выбросы [1]. Используются двумерные уравнения Навье–Стокса. Как в [2], их дискретизация проведена на смещенной сетке для согласования полей скорости и давления, определяемых при помощи одновременных итераций и метода искусственной сжимаемости. Изучено влияние шага по координате/времени, разрежения/сгущения сетки, длины/ширины области расчета, условий на границах, аппроксимаций конвективных членов на точность счета. Исследуется развитие возмущений из численной неустойчивости, малых случайных возмущений, наложенных колебаний различной частоты и влияние различных профилей скорости на входе в струю при числе Рейнольдса до 1000, основанном на высоте щели и скорости на выходе из щели.

Список литературы

1. Козлов В.В. и др. // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2014. Т. 9, вып. 1. С. 79–86.
2. Курбацкий А.Ф., Яковенко С.Н. // Теплофизика и аэромеханика. 1996. Т. 3, № 2. С. 145–163.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003.

Секция 10. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИММУНОЛОГИЯ, БИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА

Применение диаграмм Найквиста для анализа бифуркаций уравнения Ван дер Поля – Дуффинга, описывающего локальную гемодинамику мозга

Е. Е. Борд¹, А. А. Черевко², А. П. Чупахин²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

E-mail: bord.elizaveta@yandex.ru

Релаксационные колебания в сосудистой системе головного мозга описываются обобщенным уравнением Ван-дер-Поля – Дуффинга [1]. Коэффициенты определяются индивидуально для каждого пациента на основе клинических данных [2]. Для исследования решений уравнений с гармонической правой частью успешно применяются диаграммы Найквиста [3]. Такой подход существенно дополняет экспериментальные данные. В общей сложности были проанализированы ДН для 300 уравнений, описывающих системы сосудов головного мозга для пяти пациентов с церебральными аневризмами. Проводится сравнение результатов численных расчетов и аналитических исследований уравнений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 14-01-00036).

Список литературы

1. Бутенин Н. В., Неймарк Ю. И., Фуфаев Н. Л. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.: Наука, 1987.
2. Чупахин А. П., Черевко А. А., Хе А. К., Кривошапкин А. Л., Орлов К. Ю., Баранов В. И., Телегина Н. Ю., Панарин В. А. Измерения и анализ локальной церебральной гемодинамики у больных с сосудистыми мальформациями головного мозга // Патология кровообращения и кардиохирургия. 2012. Т. 16, № 44. С. 27–31.
3. Nyquist H. Regeneration theory // Bell System Technical Journal, 1932. V. 11, No. 1. P. 126–147.

Современные проблемы математического моделирования иммунных процессов

Г. А. Бочаров

Институт вычислительной математики РАН

E-mail: bocharov@m.inm.ras.ru

В докладе будет представлен современный подход к развитию интегративных математических моделей иммунных процессов при инфекционных заболеваниях [1]. Ядром этого подхода являются математические модели высокого разрешения, на основе дискретных и непрерывных описаний, которые позволяют учесть пространственную организацию иммунных и инфекционных процессов в различных органах и тканях [2], фенотипическую гетерогенность клеток и иные варианты неоднородности иммунных процессов в организме в норме и при развитии инфекционных заболеваний [3]. На их основе построены гибридные модели, интегрирующие клеточный, тканевой и системный уровни описания с использованием детерминистских и стохастических методов различной природы, например, дискретные стохастические клеточные модели Поттса, учитывающие хемотаксис и хаптотаксис клеток, континуальные модели переноса-диффузии-реакции [3, 4].

Индивидуальные блоки исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 15-11-00029) или Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-01-00636).

Список литературы

1. Ludewig B, Stein JV, Sharpe J, Cervantes-Barragan L, Thiel V, Bocharov G. A global "imaging" view on systems approaches in immunology. Eur J Immunol. 2012;42(12):3116-25.

2. Novkovic M, Onder L, Cupovic J, Abe J, Bomze D, Cremasco V, Scandella E, Stein JV, Bocharov G, Turley SJ, Ludewig B. Topological Small-World Organization of the Fibroblastic Reticular Cell Network Determines Lymph Node Functionality. PLoS Biol. 2016;14(7):e1002515.
3. Bouchnita A, Bocharov G, Meyerhans A, Volpert, V. Towards a Multiscale Model of Acute HIV Infection. Computation 2017; 5: 6.
4. Bocharov G, Meyerhans A, Bessonov N, Trofimchuk S, Volpert V. Spatiotemporal Dynamics of Virus Infection Spreading in Tissues. PLoS One. 2016;11(12):e0168576.

Двухфазная фильтрация как численная модель эмболизации артериовенозной мальформации

Т. С. Гологуш¹, А. А. Черевко², И. А. Петренко³, В. В. Остапенко²

¹Новосибирский государственный университет

²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

³Владимирский государственный университет

E-mail: tatiana_06.08@mail.ru

Эмболизация – это метод лечения сложных пороков развития сосудов головного мозга, артериовенозных мальформаций. Цель данной работы состоит в том, чтобы смоделировать этот процесс и построить оптимизационный алгоритм эмболизации АВМ.

Процесс эмболизации в одномерном приближении описывается уравнением Баклея-Левеверетта, которое решается численно с помощью новой модификации схемы Кабаре [1].

Процесс эмболизации описывается как процесс оптимального управления, где, управляя концентрацией эмболизата, нужно добиться максимальной эмболизации за конечное время при выполнении ограничения удельной нагрузки на узел АВМ.

Показано, что оптимальное управление состоит из интервалов, на которых либо концентрация крови на входе в АВМ достигает минимального допустимого значения, либо эмболизация проходит при предельной допустимой нагрузке.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ № 14.W03.31.0002.

Список литературы

1. Cherevko A.A, Gologush T.S., Ostapenko V.V., Petrenko I.A., Chupakhin A.P. Modeling process of embolization arteriovenous malformation on the basis of two-phase filtration model // J. Phys.: Conf. Ser. 2016. Volume 722. Conference 1.

Условия существования устойчивого цикла в одной несимметричной модели генной сети

В. П. Голубятников

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

E-mail: golubyatn@yandex.ru

Получены достаточные условия существования устойчивого цикла у одной шестимерной динамической системы, не имеющей симметрий относительно циклической перестановки переменных. Широкие классы аналогичных систем в применении к моделированию генных сетей рассматривались в [1-5], что послужило основой наших нынешних результатов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 15-01-00745).

Список литературы

1. Аюпова Н.Б., Голубятников В.П., Казанцев М.В. О существовании цикла в одной несимметричной модели молекулярного репрессилатора // Сиб. журнал вычислительной математики. 2017. Т. 20, № 2. С. 121–130.
2. Golubyatnikov V., Likhoshvai V., Ratushnyi A. Existence of closed trajectories in 3D gene networks // The Journ. of 3-Dimensional Images. 2004. V. 18, № 4. P. 96–101.
3. H.El Samad, D. Del Vecchio, M. Khammash Repressilators and Promotilators: Loop dynamics in gene regulatory networks // Proc. Amer. Control Conference, 2005. P. 4405–4410.
4. Smith R. A. Orbital stability for ordinary differential equations // J. Diff. Equations. 1987. V. 69. P. 265–287.

Усовершенствование одномерной модели гемодинамики*С. Г. Давыдова¹, Э. А. Бибердорф²*¹*Новосибирский государственный университет*²*Институт математики СО РАН**E-mail: svetamira_davydova@mail.ru*

Математическое моделирование сердечно-сосудистой системы является обширной и востребованной областью биоинформатики. Для моделирования артериальной системы оптимальным является использование одномерной модели гемодинамики. Созданная на ее основе модель сердечно-сосудистой системы на платформе BioUML при валидации на большом объеме экспериментальных данных показала хорошее соответствие для таких параметров как систолическое и диастолическое давление [1]. Для того чтобы получить аналогичный результат по моделированию пульсовой волны, проведена адаптация одномерной модели гемодинамики для сосудов конической формы, а также разработана уточненная методика получения уравнения состояния [2]. Проведены различные численные исследования для разных типов сосудов.

Список литературы

1. Баранов В.И., Бибердорф Э.А., Киселев И.Н., Колпаков Ф.А., Комлягина Т.Г., Кривошеков С.Г., Мельников В.Н., Суворова И.Ю. Персонализированная одномерная модель сердечно-сосудистой системы человека // Сибирский научный медицинский журнал. 2016. № 1. С. 70–79.
2. Владимиров Ю. А., Рощупкин Д. И., Потапенко А. Я., Деев А. И. Биофизика: Учебник. М., 1983. С. 200–205.

Экспериментальное исследование течения вязкой жидкости в упругом канале, моделирующем артерию*Н.С. Денисенко¹, А. А. Черевко², В. М. Кулик¹, А. П. Чупахин¹*¹*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН*²*Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН**E-mail: raselkroy@gmail.com*

Построение математических моделей гемодинамики мозга является сложной задачей, поскольку на характер течения крови в сосудах влияет множество факторов: среда в которой находится сосуд, сложное строение и геометрия стенки сосуда, нестационарное течение [1, 2]. Поэтому одним из путей решения этой задачи является непосредственное построение математических моделей по данным течения измеренным внутри сосуда [3].

Математическая модель строится по данным скорости и давления, измеряемым в артериях во время нейрохирургических операций [4, 5]. В качестве математической модели выбрана модель нелинейного осциллятора с правой частью (обобщенное уравнение Ван-дер-Поля – Дуффинга с нагрузкой).

Для проведения более глубокого анализа модели и её свойств, предлагается перейти от клинических исследований к лабораторным экспериментам по изучению течения вязкой жидкости в цилиндрических каналах с различными упругими свойствами стенок. Движение жидкости в модели обеспечивается насосом CompuFlow 1000 MR. Измерения проводятся внутрисосудистым датчиком ComboWire (ННИИПК). В работе исследуется взаимное влияние механических свойств и характера течения жидкости, с помощью коэффициентов дифференциального уравнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 17-08-01736), Программы государственной поддержки ведущих научных школ РФ (номер гранта НШ-8146.2016.1).

Список литературы

1. Педли Т. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов: Пер. с англ. М.: Мир, 1983.
2. Левтов А.В., Регирер С.А., Шадрин Н.Х. Реология крови. М.: Медицина, 1982.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979.

4. Панарин В.А., Орлов К.Ю., Кривошапкин А.Л., Чупахин А.П., Черевко А.А., Хе А.К., Телегина Н.Ю., Баранов В.И. Использование гидродинамических расчетов в выборе сценария эм-болизации церебральной артериовенозной мальформации с фистульным компонентом. Патология кровообращения и кардиохирургия. 2012. Т. 16. №3. 39-43 с.

5. Чупахин А.П., Черевко А.А., Хе А.К., Телегина Н.Ю., Кривошапкин А.Л., Орлов К.Ю., Панарин В.А., Баранов В.И. Измерения и анализ локальной церебральной гемодинамики у больных с сосудистыми мальформациями головного мозга. Патология и кровообращение. 2012. Т. 16. №4. 27-31 с.

A numerical investigation of the inverse problems for the mathematical model of HIV dynamics

D. V. Yermolenko¹, O. I. Krivorotko², S. I. Kabanikhin²

¹*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет*

²*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

E-mail: ermolenko.dasha@mail.ru

In this paper, the problem of identifying parameters (inverse problem [1]) of the immunity and disease using additional measurements of the concentrations of free virus, T-lymphocytes and immune effectors at fixed times for the mathematical model of HIV dynamics [2] is investigated numerically. The stability of the inverse problem solution is analyzed using the singular value decomposition for linearized matrix of inverse problem. For determining some important parameters of the model genetic algorithm is used. After identifying the parameters, a treatment is introduced into the model. The optimal treatment control is investigated by using Pontryagin's Maximum Principle. It is shown that using the optimal treatment allows one to obtain the same results as for the full treatment case. Numerical results are presented and discussed.

This work is supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (4.1.3 The Joint Laboratories of NSU-NSC SB RAS) and President Grant No. MK-1214.2017.1

References

1. S.I. Kabanikhin. Inverse and Ill-Posed Problems: Theory and Applications. Berlin/Boston: de Gruyter, 2012.
2. B.M. Adams, H.T. Banks, et al. HIV dynamics: Modeling, data analysis, and optimal treatment protocols // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2005. V. 184. P. 10–49.

Метод оптимального управления в задаче взаимодействия новообразований и иммунных клеток

С. И. Кабанихин¹, О. И. Криворотко¹, Е. А. Кондакова²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Новосибирский государственный университет*

E-mail: ekondak95@mail.ru

В работе численно исследуется прямая и обратная задачи для математической модели взаимодействия новообразований и иммунных клеток [1]. Исследуемая модель описывается системой нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), параметры которой характеризуют степень роста новообразования, скорость иммунного ответа и другие. В докладе исследуются вопросы устойчивости прямой задачи для системы нелинейных ОДУ, основанные на исследовании фазовых портретов системы [2]. Установлено влияние члена, отвечающего за лечение, на устойчивость системы.

В работе построен и исследован численный алгоритм определения оптимального лечения [3], основанного на методе оптимального управления, и разработан алгоритм регуляризации задачи управления. Результаты численных расчетов приведены и обсуждены.

Список литературы

1. Ledzewicz U., Mosalman M. S. F., Schattler H. Optimal controls for a mathematical model of tumor-immune interactions under targeted chemotherapy with immune boost // Discrete and Continuous Dynamical Systems Series B. 2013. Vol. 18, № 4. С. 1031-1051.
2. Годунов С. И. Современные аспекты линейной алгебры. Новосибирск: Научная книга, 1997.
3. Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сибирское научное изд-во, 2009.

Комплексный подход к численному исследованию обратных задач в науке о живом

О. И. Криворотко¹, С. И. Кабанихин¹, Д. В. Ермоленко², В. Н. Каштанова², В. А. Латышенко²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

E-mail: krivorotko.olya@mail.ru

В докладе математические модели иммунологии, эпидемиологии, фармакокинетики, социологии (науки о живом) описываются системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), коэффициенты которых характеризуют особенности иммунного ответа и внутриклеточных характеристик заболевания, популяции и распространения болезни, скорости обмена веществами между камерами организма (кровь, лимфа, жировые ткани), информационное распределение и т.п. Для составления наиболее оптимального плана лечения инфекционного заболевания, точных карт прогноза распространения эпидемии (в том числе и социальной) в конкретном регионе необходимо уточнять существенные параметры - коэффициенты ОДУ – или их комбинации, которые обычно носят усредненный характер, по дополнительным измерениям состояний системы в фиксированные моменты времени (обратная задача) [1].

Первым этапом исследования математических моделей для систем ОДУ является исследование на теоретическую идентифицируемость, а именно, получение условий единственности решения обратной задачи. Вторым этапом является исследование линейризованной матрицы для дискретной математической модели и анализе сингулярных чисел, которые характеризуют степень устойчивости обратной задачи. На третьем этапе разрабатывается численный алгоритм решения обратной задачи для математических моделей в науке о живом, который состоит из комбинации стохастических методов (сверхбыстрого отжига, генетического алгоритма) и детерминистских (GSL метод, градиентные методы) [1-2]. Параллельно проводится исследование на практическую идентифицируемость, а именно, определяются минимальное количество измерений, требующиеся для определения выбранного набора параметров или их комбинаций [3].

В работе приводятся примеры в иммунологии (динамика ВИЧ с лечением) [4], эпидемиологии (ко-инфекция ВИЧ и туберкулеза) [5] и социологии [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-31-00189) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-1214.2017.1).

Список литературы

1. Kabanikhin S.I. Inverse and Ill-Posed Problems: Theory and Applications. Berlin: Gruyter, 2011.
2. Banks, H.T. and Thompson, W.C. Modeling and Inverse Problems in the Presence of Uncertainty. Chapman Hall/CRC press, 2014.
3. Hongyu Miao, Xiaohua Xia, Alan S. Perelson, Hulin Wu. On Identifiability of nonlinear ODE models and applications in viral dynamics // SIAM Rev. Soc. Ind. Appl. Math. -. 2011. T. 53, No. 1. P. 3-39.
4. B.M. Adams, H.T. Banks, et al. HIV dynamics: Modeling, data analysis, and optimal treatment protocols // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2005. V. 184. P. 10–49.
5. Lih-Ing W. Roeger, Zhilan Feng, Carlos Castillo-Chavez. Modeling TB and HIV co-infections // Mathematical Biosciences and Engineering. – 2009. – V. 6, No. 5. – P. 815-837.
6. Rapoport A. Mathematical Models in the Social and Behavioral Sciences. New York: A Wiley-Interscience Publication, 1983.

Стохастический GLS метод решения обратной задачи для математических моделей эпидемиологии

О. И. Криворотко¹, В. Н. Каштанова²

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

²Новосибирский государственный университет

E-mail: vikakashtanova@ya.ru

Для прогнозирования распространения эпидемии в конкретном регионе необходимо разработать индивидуальную математическую модель распространения болезни для данного региона.

Такие модели описываются системами нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), коэффициенты которых характеризуют особенности популяции и распространения болезни. Таким образом, для уточнения модели для конкретной популяции необходима качественная оценка параметров модели (или их комбинаций) [1].

Цель работы – исследование и анализ алгоритма GSL [2] в комбинации со стохастическим методом сверхбыстрого отжига для определения коэффициентов нелинейной системы ОДУ, которая описывает процессы распространения эпидемии в популяции, используя дополнительные статистические данные о популяции за последние несколько лет, заданные со случайной ошибкой. Проведены расчеты на тестовых данных. Результаты численных расчетов приведены и проанализированы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-31-00189) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-1214.2017.1).

Список литературы

1. Kabanikhin S.I. Inverse and Ill-Posed Problems: Theory and Applications // Berlin: Gruyter. 2011.
2. Banks, H.T. and Thompson, W.C. Modeling and Inverse Problems in the Presence of Uncertainty. Chapman Hall/CRC press, (2014).

Эмпирический критерий существования хаоса в уравнениях с запаздывающим аргументом

В. А. Лихошвай¹, В. В. Когай², С. И. Фадеев², Т. М. Хлебодарова

¹*Институт цитологии и генетики СО РАН*

²*Институт математики СО РАН*

E-mail: kogai@math.nsc.ru

В докладе предложен эмпирический критерий достаточности наличия хаотического потенциала у уравнения с запаздыванием общего вида. Критерий является конструктивным, в том смысле, что позволяет определить значения параметров управляющих функций, при которых гарантируется наличие хаотической динамики в уравнении для некоторого значения запаздывающего аргумента. Критерий основан на установлении хаотичности одномерного дискретного отображения, порождаемого отношением f/g .

Использование этого критерия позволило нам существенно уменьшить время поиска значений параметров управляющих функций моделей, которые бы гарантировали наличие хаоса в системе, и достаточно быстро и подробно исследовать класс процессов, обладающих, как оказалось, высоким хаотическим потенциалом. Это сопряжённые процессы синтеза и деградации белковых продуктов (или разбавления их концентрации в процессе роста клетки), лежащие в основе всех метаболических и молекулярно-генетических процессов и которые описываются уравнениями с запаздывающими аргументами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-01-00237а).

Релаксационные колебания в математической модели интракраниальной аневризмы

Д. В. Паршин¹, Ю. О. Куянова², А. А. Черевко¹, А. П. Чупахин¹

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

²*Новосибирский государственный университет*

E-mail: danilo.skiman@gmail.com

Работа посвящена исследованию математической модели типа Ван дер Поля – Дуффинга интракраниальной аневризмы. С моделей такого типа начиналось математическое моделирование в гемодинамике [1]. Однако, в наши дни изучению подобных моделей уделяется большое внимание [2]. Это в первую очередь связано с возможностью моделирования в клинически-значимое время, что делает такие модели незаменимыми для реальных медицинских приложений. В работе рассмотрены решения с релаксационными колебаниями [2,3] в системе дифференциальных уравнений для одной из таких моделей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 17-11-01156).

Список литературы

1. Austin G. Biomathematical model of Aneurysm of the circle of Willis: The Duffing equation and some approximate solution Mathematical Biosciences 1971. V(11). Pp.163-172
2. Cherevko A.A., Mikhaylova A.V., Chupakhin A.P., Ufimtseva I.V., Krivoschapkin A.L., Orlov K. Yu. Relaxation oscillation model of hemodynamic parameters in the cerebral vessels. Journal of Physics: Conference Series. V.722. 2016. 012045. doi:10.1088/1742-6596/722/1/012045.
3. Guckenheimer J, Ilyashenko Yu S 2001 Moscow Math. J. 1 1 27—47.
4. Arnold V I, Afraimovich V S, Ilyashenko Yu S, Shilnikov L P 1986 Dynamic systems (Moscow, Allrussian institute of science and technical information, modern problems of mathematics. Fundamental directions).

Стохастическое моделирование эпидемического процесса на основе непрерывно-дискретной SIRS модели*Н. В. Перцев, Б. Ю. Пичугин**Омский филиал ФГБУН Института математики им. С. Л. Соболева СО РАН**E-mail: pertsevnv@mail.ru*

Рассмотрен стохастический и детерминированный подход к моделированию распространения эпидемии в некотором регионе на основе SIRS модели. Все индивидуумы региона поделены на три группы: S – восприимчивые к инфекции, I – инфицированные, R – переболевшие, имеющие временный иммунитет. Группа S с некоторой интенсивностью пополняется индивидуумами, иммигрирующими из других регионов. Индивидуумы группы S погибают или эмигрируют из рассматриваемого региона. Контакт восприимчивого и инфицированного индивидуумов с некоторой вероятностью приводит к инфицированию восприимчивого. Моменты таких контактов порождаются пуассоновским потоком событий, интенсивность которого пропорциональна произведению численностей групп S и I. Если индивидуум группы I не погибнет или не эмигрирует, то после инфицирования он через заданное время (одинаковое для всех индивидуумов) переходит в группу R. В группе R индивидуум также находится заданное одинаковое для всех индивидуумов время и, если не погибнет или не эмигрирует, то переходит в группу S. Стохастическая модель построена на основе ветвящегося случайного процесса с взаимодействием частиц и учитывает распределения индивидуумов по оставшемуся времени их пребывания в группах I, R. Детерминированная модель задается с помощью системы нелинейных дифференциальных уравнений с двумя запаздываниями. В работе приведен алгоритм статистического моделирования эпидемического процесса и представлены результаты вычислительного эксперимента по сопоставлению детерминированной и стохастической моделей.

Стохастическая модель ВИЧ-инфекции, учитывающая пространственную организацию лимфатической системы и стадии развития вирусных частиц и инфицированных клеток-мишеней*Н. В. Перцев¹, Б. Ю. Пичугин¹, К. К. Логинов¹, Г. А. Бочаров²**¹Омский филиал ФГБУН Института математики им. С. Л. Соболева СО РАН**²Институт вычислительной математики РАН**E-mail: kloginov85@mail.ru*

Построена марковская стохастическая модель ВИЧ-инфекции, описывающая распространение вирусных частиц по лимфатической системе и инфицирование ими клеток-мишеней. Лимфатическая система представлена в виде графа, вершинами которого являются лимфатические узлы, селезенка и ткани слизистых оболочек, а ребрами — лимфатические сосуды. Вирусные частицы проходят две стадии развития: незрелая (U) и зрелая (V). Инфицированная клетка-мишень также проходит две стадии: латентно инфицированная (L) и стадия производства вирусных частиц (I). Клетки-мишени имеют одну стадию развития (T). Продолжительность каждой из стадий U, L, I — некоторая константа. В докладе представлен частный случай модели, отражающий динамику развития ВИЧ-инфекции в отдельно взятом лимфоузле. Схема потоков, взаимодействий, превращений клеток и вирусных частиц имеет следующий вид: $S \rightarrow T, L, I, U, V$ (приток); $T + V \rightarrow L$ (инфицирование); $L \rightarrow I$ (переход из латентно инфицированной стадии); $I \rightarrow I + U$ (производство незрелых вирусных частиц); $U \rightarrow V$ (созревание вирусных частиц); $T, L, I, U, V \rightarrow D$ (гибель); $T, L, I, U, V \rightarrow S$ (отток). Здесь S означает внешнюю среду для выбранного лимфоузла, D — стадия, в которую попадают все

погибшие клетки и вирусные частицы. Для данного частного случая приведены результаты вычислительных экспериментов.

Математическое моделирование процессов гибели клеток в живом организме

Н. Д. Плотников¹, Ч. А. Цгоев¹, О. Ф. Воропаева²

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт вычислительных технологий СО РАН*

E-mail: vorop@ict.nsc.ru

Три главные проблемы современной медицины – онкологические заболевания, инфаркт миокарда, ишемический инсульт – характеризуются серьезными нарушениями в процессах гибели клеток, обусловленными, в частности, дерегуляцией сетей сигнальных белков и/или избыточной иммунной реакцией организма на стрессовые факторы.

В докладе обсуждаются актуальные постановки задач и результаты численного моделирования динамики факторов воспаления и апоптоза клеток миокарда и мозга при ишемическом повреждении. Построены эффективные математические модели функционирования сетей белков-регуляторов программируемой клеточной смерти (апоптоза). Постановки задач представлены нелинейными системами уравнений типа реакция-диффузия с запаздывающими аргументами, а также жесткими нелинейными системами ОДУ. Результаты численных исследований включают в себя решения прямых и обратных коэффициентных задач. Их адекватность подтверждается сопоставлением с известными экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ведущих научных школ НШ-7214.2016.9.

Анализ радиоактивного загрязнения и онкозаболеваемости населения поселков Томской области в зоне влияния выбросов Сибирского химического комбината

В. Ф. Рапута¹, Т. В. Ярославцева²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*ФБУН "Новосибирский НИИ гигиены" Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека*

E-mail: raputa@sscc.ru

Предложена модель реконструкции региональных пылеарозольных выпадений ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr от стационарных источников Сибирского химического комбината. Выполнен совместный численный анализ данных наблюдений, моделирования радиоактивного загрязнения и онкозаболеваемости населения поселков Томской области. В зависимости от расстояния от источников и направления выноса приведены оценки вклада радиационного фактора на развитие заболеваемости.

Следует отметить, что в соответствии со среднеклиматической розой ветров основной вынос ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr происходил в северо-восточном направлении от СХК. Эти радионуклиды следует рассматривать, скорее всего, как трассерные, так как эксплуатация производств комбината была связана также с существенными выбросами в атмосферу изотопов йода, а также других примесей. При интерпретации данных заболеваемости необходимо учитывать, что злокачественные образования являются полиэтиологичными заболеваниями, факторами риска развития которых является не только радиационное воздействие. При воздействии на человека "малых" доз ионизирующего излучения радиационный фактор не доминирует, а конкурирует с другими факторами. Существенным вкладом в решение этой задачи может явиться генетический анализ, который позволит уточнить наличие биологических последствий влияния радиации на состояние здоровья населения, проживающего в зоне влияния СХК.

Численный анализ диагностических свойств р53-зависимых микроРНК

С. Д. Сенотрусова¹, О. Ф. Воропаева²

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт вычислительных технологий СО РАН*

E-mail: vorop@ict.nsc.ru

Изучение биомаркеров, направленное на раннее выявление и прогнозирование исхода заболеваний, является бурно развивающейся областью в современных медико-биологических исследованиях

и клинической практике. Перспективными маркерами дегенеративных заболеваний (рака, болезней Альцгеймера, Паркинсона и др.) считаются белок p53 и связанные с ним микроРНК, которые играют важную роль в регуляции процесса гибели клеток. Число таких микроРНК весьма велико, поэтому при численном анализе диагностических свойств имеет смысл разделять их по типу связи с p53, используя данные о конкретных микроРНК как инструмент для валидации и/или верификации подхода.

В докладе представлены результаты численных исследований двух типов микроРНК, связанных с p53 положительной связью – играющих в этой сети пассивную роль (с некоторой достаточно высокой степенью достоверности), а также таких, которые сами способны воздействовать на p53, сдерживая белок-регулятор p53. Разработаны соответствующие математические модели функционирования сети p53–микроРНК. Выполнено численное исследование динамики микроРНК в норме и при установлении критических уровней p53, которые характерны для заболеваний, сопровождающихся массовой гибелью клеток или, наоборот, утратой способности безболезненно ликвидировать дефектные клетки. Изучены интересные для клинической практики ситуации дерегуляции микроРНК. Адекватность результатов моделирования подтверждается согласием с известными данными клинических и лабораторных исследований конкретных микроРНК.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ведущих научных школ НШ-7214.2016.9.

Параллельный алгоритм численного решения задачи гормонального лечения онкологических заболеваний в условиях гормонорезистентности

С. Я. Серовайский¹, Д. Б. Нурсеитов², А. А. Азимов²

¹*Казахский национальный университет им. Аль-Фараби*

²*Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева*

E-mail: anvar.aa@mail.ru

Лечение некоторых форм рака, связанных с действием гормонов, осуществляется с помощью гормональных препаратов. Они, подавляя выработку организмом определенных гормонов, замедляют развитие опухоли. Однако из-за явления гормонорезистентности (постепенного привыкания клеток рака к действию гормонов) эффективность подобных препаратов со временем падает. Это объясняется тем, что часть клеток опухоли чувствительны к действию гормональных препаратов, а часть – устойчивы. В условиях лечения чувствительные раковые клетки постепенно замещаются устойчивыми, что приводит к дальнейшему развитию опухоли. Математическая модель данного процесса базируется на однофазной задаче Стефана и представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных с определенными условиями.

На основе метода выпрямления фронтов предлагается параллельный алгоритм численного решения данной системы, который реализован на языке программирования C++ с использованием стандарта OpenMP. Распараллеливание осуществляется путем равномерного распределения вычислительной нагрузки на каждом временном слое между потоками, тем самым обеспечивая значительное ускорение.

Математическая модель регуляции иммунной и нейроэндокринной систем с учетом функциональных нарушений

В. М. Чигвинцев

Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения

E-mail: cvm@fcrisk.ru

Моделирование процессов, протекающих в нейроэндокринной и иммунной системах, сопряжено с необходимостью учета сложности и разветвленности механизмов регуляции. Большинство работ в этой области посвящено биологическому и математическому описанию отдельных звеньев регуляторных механизмов, что существенно облегчает понимание изучаемых явлений, но не дает полного и системного представления о внутренних связях и протекающих процессах.

Представленная прогнозная математическая модель позволяет качественно описать сложный многокомпонентный процесс взаимодействия регуляторных систем при воспалительных реакциях вирусного происхождения в условиях нарушения синтетической функции иммунной и нейроэндокринной систем. Модель разрабатывается в рамках концепции многоуровневой модели организма человека, учитывающей взаимодействия между системами и функциональное состояние включенных в рассмотрение органов. Математическая модель описывается системой из 17 обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка с запаздывающим аргументом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-31-00333 мол_а).

Разработка программного обеспечения нейро-нечётких сетей для искусственной иммунной системы терапии сульфаниламидами

О. И. Ширяева¹, Т. Г. Денисова²

¹*Казахский национальный технический университет им. К. И. Сатпаева*

²*Казахский научный центр гигиены и эпидемиологии им. Х. Жуматова*

E-mail: oshiryayeva@gmail.com

В статье получены результаты разработки программного обеспечения моделирования нейро-нечётких сетей для искусственной иммунной системы терапии сульфаниламидами [1]. Для решения поставленной задачи сформированы нечеткие множества для различных свойств организма, которые использованы для разработки правил нечеткой логики и построения искусственной иммунной системы оптимизации терапевтических доз сульфаниламидов средств при протекании болезней. Использована нечеткая многослойная нейронная сеть, в которой слои выполняют функции элементов системы нечеткого вывода. На основе применения генетического алгоритма получены результаты процесса обучения нейро-нечёткой сети в виде оптимальных значений параметров системы. Для имитации реакции организма на оптимальную дозу препарата разработана математическая модель стохастического иммунного объекта формирования специфических реакций организма в зависимости от течения хронического пиелонефрита, лечение которого проводится сульфаниламидными препаратами [2].

Исследования проводятся по гранту №ГР 0115РК00549 МОН РК по теме "Компьютерный молекулярный дизайн лекарственных препаратов на основе иммунносетевого моделирования" (2015-2017 гг.).

Список литературы

1. Dasgupta D. Recent Advances in Artificial Immune Systems: Models and Applications // Applied Soft Computing Journal. 2011. Vol. 11. P. 1574-1587.
2. Ширяева О.И., Денисова Т.Г. Разработка искусственной иммунной системы оптимального управления терапевтическими дозами сульфаниламидов на основе нечеткой логики // Проблемы информатики. 2016. №2. С. 60-70.

Использование термодинамически согласованных систем законов сохранения для моделирования течения жидкости сквозь упругий пористый скелет в приложении к задачам гемодинамики

А. А. Янченко, Е. И. Роменский, А. К. Хе, А. П. Чупахин

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

E-mail: aya.home.nsk@gmail.com

Одним из подходов к моделированию гемодинамики мозга является рассмотрение кровеносного русла в области мелких сосудов как пористого пространства. Для получения системы уравнений течения жидкости в упругой пористой среде применяется метод термодинамически согласованных систем законов сохранения. При использовании этого подхода все уравнения системы принимают дивергентный вид, она может быть приведена к симметричной форме и является гиперболической при условии выпуклости порождающего потенциала, что позволяет применять уже разработанные методы для исследования и моделирования описываемого этой системой процесса.

Построение математической модели церебрального кровообращения основывается на клинических данных, характеризующих течение крови в сосудах головного мозга в норме и при наличии аномалии.

Для проведения численных расчётов построены вычислительные алгоритмы на основе методов, развитых для гиперболических систем законов сохранения. Основой является метод конечных объемов.

Разработанная модель позволит более адекватно описывать гемодинамику мозговых сосудов в норме и при аномалии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-31-00223).

Список литературы

1. Роменский Е. И., Термодинамически согласованная система законов сохранения течения сжимаемой жидкости в пористой упругой среде // Сибирский журнал индустриальной математики, 2011, Том XIV, № 4(48).
2. Чупахин А. П., Черевко А.А, Хе А.К., Кривошапкин А.Л. и др. Измерения и анализ локальной церебральной гемодинамики у больных с сосудистыми мальформациями головного мозга // Патология кровообращения и кардиохирургия, 2012, Том 16, №. 4
3. Годунов С. К., Забродин А. В., Иванов М. Я., Крайко А. Н., Прокопов Г. П. Численное решение многомерных задач газовой динамики. М.: Наука, 1976.

Анализ различий строения кровеносной системы головного мозга методами магнитно-резонансной томографии с последующим CFD - расчетом

Г. С. Янькова¹, А. А. Черевко², Д. В. Паршин², А. Е. Акулов³

¹Новосибирский государственный университет

²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН

³Институт цитологии и генетики СО РАН

E-mail: Galinka0395@mail.ru

Кровь осуществляет перенос необходимых веществ по всему организму. Интересным представляется вопрос о связи какого-либо заболевания и структуры сосудистой сети (в частности, головного мозга).

В работе рассматриваются модели сосудистых сетей головного мозга двух различных генетических линий лабораторных мышей – линия с нокаутом по ФНО и контрольная линия, а также генетическая линия мышей NODSCID с сахарным диабетом I типа.

Для построения конфигураций сосудистых сетей головного мозга мышей нокаутной линии было проведено МРТ-сканирование методом варьирования наклона сканирующей плоскости. Для линии мышей NODSCID - метод получения МРТ изображений с использованием объемной радиочастотной катушки.

Для построенных моделей проведены гемодинамические расчеты с помощью пакета ANSYS CFX на базе компьютерного центра НГУ, был выполнен статистический анализ параметров кровотока.

На основе данных, полученных в результате статистического и численного анализа, для мышей нокаутной и контрольной линий показано отсутствие влияния нокаута по ФНО на различные характеристики Виллизиева круга. Для мышей с сахарным диабетом I типа были выявлены статистически значимые различия в строении подходящих артерий к Виллизиеву кругу.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Правительства РФ №14.W03.31.0002.

Секция 11. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

Algorithms and software for analysis of textural features and the space spectral properties of images

G. B. Abdikerimova¹, A. L. Bychkov², Wei Xin Yu³, F. A. Murzin⁴, N. E. Russkikh⁴, E.I. Ryabchikova², S.S. Khairulin⁴

¹*L. N. Gumilyov Eurasian National University (Kazakhstan)*

²*Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS*

³*Heilongjiang University (China)*

⁴*A.P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS*

E-mail: murzin@iis.nsk.su

The work is carried out in order to fulfill the Agreement No. 16-13-10200 of May 12, 2016 between the Russian Science Foundation, the project manager and the organization on granting a grant for fundamental scientific research and exploratory research related to granting a grant for the implementation of the scientific project " Controlled change in the structure and composition of plant raw materials by mechanochemical methods for intensifying the extraction of biologically active compounds "No. 16-13-10200".

The purpose of the given work is the development and search of analysis algorithms of textural features and the spectral decomposition on various orthonormalized bases of the images obtained by through electronic microscopy. The basic focus is on working out of program instruments for the analysis of above-mentioned micro-photos. Suitable algorithms have been selected and corresponding program tools are created. Also prototypes of programs realized that implement R / S and fractal analysis.

Link Grammar Parser and estimation of the document relevance to the search query

T. V. Batura¹, F. A. Murzin¹, D. F. Semich¹, A. M. Bakiyeva², A. S. Yerimbetova³

¹*A.P. Ershov Institute of Informatics Systems SB RAS*

²*Novosibirsk State University*

³*L.N. Gumilyov Eurasian National University(Kazakhstan)*

E-mail: murzin@iis.nsk.su

The main purpose of the work is to construct the algorithms that can estimate the document relevance on the basis of the text structure analysis. It is important that this estimate should be based on the context of the search query and not limited only by keywords, their similarity or frequency. The semantic-syntactical relations between words built by the program system Link Grammar Parser can be used to solve these problems. They allow us to develop the methods of comparison of the sentences in a natural language and introduce certain measures of the closeness (similarity) between the sentences.

One of the problems we solved, in some approximation, is the development of a parser like Link Grammar Parser for Turkic languages frequent represented in Internet, such as Kazakh and Turkish. The studies in the Turkic languages stem from the need to analyze information in social networks, such as socio-economic, political, and radical Islamism. Investigations of this kind allow us to use Internet and social networks as a tool for influencing public sentiment and identifying social risks.

Анализ данных в проблеме дешифровки знаменных песнопений

И. В. Бахмутова, В.Д. Гусев, Л. А. Мирошниченко, Т.Н. Туткова

Институт математики СО РАН

E-mail: gusev@math.nsc.ru

Древнерусские церковные песнопения XII-XVII веков представлялись преимущественно в знаменной форме записи. Проблема их перевода в современную нотопевию форму носит дешифровочный характер и в общем случае остается нерешенной.

Развиваемый нами подход основан на использовании двознаменников – певческих книг конца XVII – начала XVIII вв., в которых песнопения записаны параллельно в знаменной и нотолинейной форме. В докладе рассмотрены основные этапы предлагаемого решения. Отметим, в частности, этап кодирования исходных данных, обнаружения и характеристики ошибок, содержащихся в самих двознаменниках, а также возникающих на этапах кодирования и, собственно, дешифровки. Значительное внимание уделено системе описания и анализа знаменных текстов, выделению основных структурных единиц и системе осмогласия [2], регламентирующей знаменное пение. Обсуждается начальная версия алгоритма дешифровки и приводятся количественные показатели эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-07-00812).

Список литературы

1. Бражников М.В. Древнерусская теория музыки. Л.: Музыка, 1972.- 423с.
2. Металлов В.М. Осмогласие знаменного распева (сборник нотолинейных попевок). М.: 1899.- 50с.

Опыт сравнительного анализа данных в биофизическом эксперименте

С. Битюков¹, В.Смирнова¹, О. Бондаренко¹, А. Матаморос², Е. Нурматова³, Н. Окунев³

¹*Институт физики высоких энергий*

²*UNAM, Instituto de Biotechnology*

³*Московский технологический университет*

E-mail: okunev.mtu@mail.ru

В данном докладе представлены предварительные результаты анализа биофизических экспериментальных данных с помощью метода статистического сравнения гистограмм. Метод статистического сравнения гистограмм [1] позволяет сравнивать экспериментальные и/или теоретические данные с помощью многомерной тестовой статистики, которая строится на основе эмпирического распределения тестовых статистик "значимости различия" в соответствующих бинах сравниваемых гистограмм.

В эксперименте регистрировался сигнал с 5000 клеток. Цель эксперимента: изучения изменения мембранного потенциала во время краткосрочного хранения клеток *in vitro*. Изменение флюоресценции измерялось прибором Amnis[®] с использованием лазера 658 nm.

Показано, что метод статистического сравнения гистограмм позволяет отслеживать и визуализировать изменения в биофизических процессах на клеточном уровне при массовой обработке данных.

Список литературы

1. Bityukov S., Krasnikov N., Nikitenko A., Smirnova V. On the distinguishability of histograms // European Physical Journal Plus, 128 (2013) 143; arXiv:1302.2651, 2013.

Цензурирование объектов-выбросов в биомедицинских данных с помощью функции конкурентного сходства

И. А. Борисова, О.А. Кутненко

Институт математики СО РАН

E-mail: olga@math.nsc.ru

Рассматривается проблема цензурирования данных, содержащих одновременно как шумовые признаки, так и шумовые объекты. Для решения задачи предложены два подхода, основанные на использовании функции конкурентного сходства [1]. В зависимости от исходного объема обучающей выборки цензурирование проводится либо на основе локального сходства объектов со своими ближайшими соседями, либо с опорой на сходство объектов с типичными представителями классов, представленных в выборке. Предложенные методы были протестированы и показали свою конкурентоспособность на модельных и реальных биомедицинских задачах [2, 3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00168).

Список литературы

1. N. G. Zagoruiko, I. A. Borisova, V. V. Dyubanov, and O. A. Kutnenko. Int. J. Pattern Recognition and Image Analysis. 2008. 18 (1), 1-6.
2. Breast Cancer Wisconsin (Diagnostic) Data Set URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Breast+Cancer+Wisconsin+%28Diagnostic%29>.
3. Indian Liver Patient Dataset URL: <http://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/00225>.

Контролируемая классификация гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли

А. А. Бучнев, В. П. Пяткин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: baa@ooi.ssc.ru

Непосредственное применение разработанного ранее классификатора Байеса для нормально распределенных векторов признаков в классах [1] к гиперспектральным данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) приводит к непредсказуемым результатам, прежде всего, из-за невозможности обеспечения достаточных объемов обучающих выборок для получения адекватных оценок ковариационных матриц классов. Предложены способы приведения гиперспектральных данных к мультиспектральным данным ДЗЗ. Представлена реализация классификатора спектрально-углового картирования [2], разработанного специально для гиперспектральных данных. В качестве ссылочных векторов классов используются векторы средних, получаемых из обучающих выборок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-07-00066) и Программы I.33П Президиума РАН (проект № 0315-2015-0012).

Список литературы

1. Асмус В.В., Бучнев А.А., Пяткин В.П. Контролируемая классификация данных дистанционного зондирования Земли // Автометрия. 2008. № 4. С. 60–67.
2. Kruse, F. A., A. B. Lefkoff, J. W. Boardman, K. B. Heidebrecht, A. T. Shapiro, P. J. Barloon, and A. F. H. Goetz. The Spectral Image Processing System (SIPS) - interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data // Remote Sensing of Environment. 1993. № 44. P. 145–163.

Бикритериальный глобальный поиск в задаче оптимизации процесса флотации медно-молибденовых руд

Т. В. Груздева, А. В. Ушаков

Институт динамики систем и теории управления СО РАН

E-mail: gruzdeva@icc.ru

К решению задачи оптимизации процесса флотации на горно-обоганительном комбинате предлагается новый подход, основанный на теории глобального поиска для невыпуклых задач с d.c. функциями [1], методе точного штрафа [2] и методе главного критерия [3]. Цель состоит в поиске оптимальных значений параметров, приводящих к максимальному содержанию меди в концентрате и одновременно к максимальному ее извлечению при заданных технологических ограничениях.

Разработанная методика нахождения приближенного множества Парето в бикритериальной задаче основана на решении серии подзадач с d.c. ограничением. Поиск оптимальных решений невыпуклых подзадач состоит из двух основных этапов: локального поиска и основанных на условиях глобальной оптимальности [1] процедур выхода из локальных решений.

Эффективность предложенного подхода продемонстрирована тестированием прикладной модели флотации на СПГОК "Эрдэнэт" (Монголия).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 15-11-20015).

Список литературы

1. Strelakovsky A.S. On solving optimization problems with hidden nonconvex structures, Optimization in Science and Engineering, New York: Springer, 2014, 465-502.
2. Pillo G. D. Exact Penalty Methods, Algorithms for Continuous Optimization, Dordrecht: Springer, 1994, 209-253.
3. Miettinen K. Nonlinear Multiobjective Optimization. Boston: Kluwer, 1999.

Сравнение близких символьных последовательностей

В. Д. Гусев, Л. А. Мирошниченко, Т. Н. Туткова

Институт математики СО РАН

E-mail: luba@math.nsc.ru

Во многих приложениях, связанных с анализом символьных последовательностей (текстов) любой языковой природы, встречаются объекты, описания которых очень похожи друг на друга (разные переводы одного и того же произведения, кодирующие последовательности родственных генов, распевы одного и того же песнопения в разных гласах и др.). Традиционно используемые меры близости оказываются в таких случаях малоинформативными.

В работе предложена методика выявления "тонких различий" между близкими последовательностями, основанная на технике L-граммного [1] и сложностного [2] анализа. В качестве признаков, характеризующих определенный класс последовательностей, рассматриваются цепочки символов (фрагменты текстов) как минимальной так и максимальной длины, присутствующие в обучающих последовательностях данного класса, но отсутствующие в других. Изложение иллюстрируется примерами анализа геномов вируса клещевого энцефалита, относящихся к разным классам

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 16-07-00812).

Список литературы

1. Гусев В.Д. Характеристики символьных последовательностей // Машинные методы обнаружения закономерностей. – Новосибирск, ИМ СО РАН, 1981. – Вып. 88: Вычислительные системы. – С. 112–123.
2. Gusev V. D., Miroshnichenko L. A Complexity decompositions in problems of comparison of symbolic sequences // Proc. 11th Int. Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-11-2013) September 23-28, 2013, Samara, Vol. 1. 94-97.

Многоспектральные проекции в задаче уточнения границ на изображениях в томографии

И. Г. Казанцев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: kazantsevivan6@gmail.com

В работе рассматривается задача восстановления изображений по рентгеновским проекциям, регистрируемым детекторами высокого спектрального разрешения. Для известного распределения линейного коэффициента ослабления f внутри среды, источника A и детектора B на поверхности просвечиваемого тела, интегральная модель формирования данных имеет вид лучевого преобразования Радона в каждом спектральном диапазоне. Рассматривается задача реконструкции f итерационными методами по многомерным проекционным данным $p(f, A, B)$, регистрируемым множеством пар источник-детектор (A, B) . Геометрия просвечивания определяет матрицу системы, а правая часть представлена взвешенными суммами определенных элементов изображения. Целью работы является улучшение качества реконструкции, уменьшение артефактов и уточнение границ на реконструкции при малом числе направлений просвечивания. Применен хорошо адаптируемый к различным геометриям просвечивания итерационный метод Качмажа, на каждой итерации осуществляется минимизация полной вариации градиента реконструируемого изображения. Проведены модельные численные эксперименты восстановления изображений с использованием многоспектральной информации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00066) и Программы I.33П Президиума РАН (проект № 0315-2015-0012).

Приближенные схемы для некоторых задач 2-разбиения множества точек

А. В. Кельманов¹, А. В. Моткова², В. В. Шенмайер¹

¹*Институт математики им. С. Л. Соболева*

²*Новосибирский государственный университет*

E-mail: kelm@math.nsc.ru

Рассматриваются труднорешаемые задачи разбиения конечного множества точек евклидова пространства на два кластера. Критерием решения является минимум суммы по обоим кластерам взвешенных сумм квадратов внутрикластерных расстояний от элементов кластеров до их центров. Центр одного из кластеров неизвестен и определяется как точка пространства, равная среднему значению элементов этого кластера. Центр другого кластера задан в начале координат. Веса внутрикластерных сумм заданы на входе. Построены два общих для рассматриваемых задач приближенных алгоритма. Оба алгоритма основаны на адаптивном сеточном подходе поиска приближенного решения. Алгоритмы отличаются формой адаптивно настраиваемой аппроксимирующей решетки. В первом алгоритме применяется решетка кубической формы, а во втором – ускоренном – сферической формы. Показано, что оба алгоритма являются полностью полиномиальными приближенными схемами (FPTAS) в случае, когда размерность пространства ограничена константой. При этом в случае, когда размерность пространства не фиксирована, но медленно растёт с ростом мощности входного множества точек, ускоренный алгоритм реализует полиномиальную аппроксимационную схему (PTAS).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (код проекта 16-01-10041).

Рандомизированный алгоритм для задачи 2-кластеризации последовательности

А. В. Кельманов, С. А. Хамидуллин, В. И. Хандеев

Институт математики им. С. Л. Соболева

E-mail: khandeev@math.nsc.ru

Рассматривается NP-трудная [1] в сильном смысле задача разбиения конечной последовательности точек евклидова пространства на два кластера заданных мощностей по критерию минимума суммы по обоим кластерам внутрикластерных сумм квадратов расстояний от элементов кластеров до их центров. Центр одного из кластеров неизвестен и определяется как среднее значение по всем точкам, образующим этот кластер. Центр второго кластера задан в начале координат. При этом разность между номерами последующего и предыдущего элементов последовательности, входящих в первый кластер, ограничена сверху и снизу заданными константами. Предложен рандомизированный алгоритм, который при заданных относительной погрешности и вероятности несрабатывания для установленного значения параметра находит приближённое решение задачи за полиномиальное время. Найдены условия, при которых алгоритм полиномиален и асимптотически точен.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 15-01-00462, 16-31-00186, 16-07-00168).

Список литературы

1. Kel'manov A.V., Pyatkin A.V. On Complexity of Some Problems of Cluster Analysis of Vector Sequences // J. of Applied and Industrial Mathematics. 2013. Vol. 7 (3). P. 363–369.

Следы природных катастроф: геометрический анализ изображений на основе шпирлет-преобразования

Ан. Г. Марчук¹, К. В. Симонов², М. А. Курако³

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН*

²*Институт вычислительного моделирования СО РАН*

³*Сибирский федеральный университет*

E-mail: mkurako@sfu-kras.ru

В рамках решения задачи поиска закономерностей в визуальных данных (изображениях) разработана вычислительная методика аппроксимации контуров выделенных структур, включающая

спектральную декомпозицию геометрически сложных геообъектов. При этом показано, что аппроксимацию контуров этих объектов можно представить как сумму коэффициентов шварц-преобразования для заданного масштаба.

Предложенный подход к аппроксимации контуров выделенных геообъектов для количественного описания их геометрических особенностей является полезной альтернативой известным специализированным алгоритмам. Суть предложенной методики для решения задачи аппроксимации выделенных контуров сложных геообъектов с учётом спектральной декомпозиции заключается в разбиении изображения на содержательные части, построении набора геометрических образов исследуемых объектов для разных спектральных представлений (частот) и контрастировании расчётных шварц-диаграмм для наилучшей визуализации выделенных закономерностей в данных.

Опыт исследований визуальных данных в различных предметных областях (следы морских природных катастроф, пространственные данные и изображения в задачах геомониторинга и геоэкологии, сейсмическая томография) показывает высокую эффективность предлагаемой методики для поиска и выделения закономерностей в изучаемых данных.

Математическая основа обработки потоков пространственно-временных данных для динамического моделирования геосистем

А. В. Матерухин

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: a_materuhin@miigaik.ru

Для динамического моделирования геосистем необходим переход к непрерывному моделированию и анализу развития событий в пространстве и времени на основе обработки потоков пространственно-временных данных. Для разработки математического, лингвистического и программного обеспечения процессов такой обработки может быть эффективно использовано понятие алгебраической системы, введенное А. И. Мальцевым [1]. В настоящем докладе представлено развитие предложенного автором в статье [2] подхода к разработке абстрактных типов пространственно-временных данных с использованием сигнатур второго порядка многосортных алгебраических систем. Идея такой математической конструкции основана на статье [3]. Сигнатуры второго порядка – это пара связанных между собой сигнатур многосортных алгебр, где сигнатура более высокого уровня предоставляет типы данных и конструкторы типов, а сигнатура нижнего уровня предоставляет полиморфные операторы над типами, определенными как термы сигнатуры высокого уровня. Верхний уровень может быть использован для того, чтобы определить данные или их представления, а нижний уровень – для описания алгебры запросов. Предложенная формализация может быть использована для обеспечения динамического моделирования пространственных сущностей реального мира как результата обработки потоков пространственно-временных данных.

Список литературы

1. Мальцев А. И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 302 с.
2. Матерухин А.В. Алгебраический подход к разработке абстрактных типов пространственно-временных данных. // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. №1. С. 114-117.
3. Guting, R. Second-order signature: a tool for specifying data models, query processing, and optimization. // In: SIGMOD. - New York: ACM, 1993. - pp. 277–286.

Конструирование вероятностных моделей для анализа эффективности методов классификации на основе бустинга

В. М. Неделько

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН

E-mail: nedelko@math.nsc.ru

В настоящее время boosting является одним из методов классификации, наиболее часто используемых для решения практических задач интеллектуального анализа данных (машинного обучения). Если проанализировать решения задач на портале kaggle.com, то можно заметить, что в большинстве

лучших решений используется бустинг, а именно, алгоритм XGBoost. При этом причины такой высокой эффективности бустинга в настоящее время до конца не исследованы [1, 2].

Как известно, почти для любого метода классификации можно найти (или придумать) такие данные, на которых он будет работать хорошо [3]. Если метод хорошо работает на реальных данных, значит он "угадывает" какие-то существенные свойства этих данных. Задачей настоящего исследования является выявление таких особенностей данных, которые обеспечивают преимущество бустинга над другими методами. Для этого предлагается семейство вероятностных моделей, которые позволяют отражать такие свойства данных, как сложность закономерностей, степень независимости переменных, степень зашумлённости.

Список литературы

1. David Mease and Abraham Wyner. Evidence contrary to the statistical view of boosting. *Journal of Machine Learning Research*, 9:131–156, 2008.
2. Неделько В.М. К вопросу об эффективности бустинга в задаче классификации. // Вестн. Новосибирского государственного университета. Математика, механика, информатика. 2015. Т. 15, вып. 2. С. 72–89.
3. Неделько В.М. Исследование эффективности некоторых линейных методов классификации на модельных распределениях // Машинное обучение и анализ данных, 2016. Т. 2. № 3. С. 305–328.

Using machine learning approach to improve base calling in next generation sequencing data

N.E. Russkikh^{1,2}, D.V. Antonets^{2,3,4}

¹*Novel Software Systems LLC*

²*A.P.Ershov Institute of informatics systems*

³*AcademGene LLC*

⁴*State Research Center of Virology and Biotechnology 'Vector' ''*

E-mail: russkikh@nprog.ru

New generation sequencing is rapidly turning from expensive and dedicated tool of basic research into one of the most powerful techniques aimed to revolutionize the medicine. The single molecule sequencing strategy used by SeqLL (USA) simplifies the DNA sample preparation process, avoids PCR-induced bias and errors, simplifies data analysis and tolerates degraded samples. Here we developed a new machine learning approach to solve base calling task for SeqLL sequencing platform and improved the quality and performance of base calling.

On the training set of image patches corresponding to known signals obtained from synthetic oligonucleotides sequencing we created a predictive model using the extreme gradient boosting algorithm. The developed model was integrated in our custom base calling and oligonucleotides assembly pipeline developed for SeqLL sequencing technology. Our new algorithm works ten times faster, as compared to previous solution and it also demonstrated 10 % improvement in sensitivity at the same level of specificity.

All presented results are property of SeqLL company (USA).

Распознавание интенций покупателей в сообщениях социальных сетей (на примере сети "В контакте")

И. С. Пименов¹, Н. В. Саломатина²

¹*Новосибирский государственный университет*

²*Институт математики СО РАН*

E-mail: nataly@math.nsc.ru

Предложено решение задачи автоматического обнаружения интенций (выраженных явно или неявно намерений совершить некоторое действие) в сообщениях пользователей сети Интернет. В основе подхода – применение шаблонов интенций, построенных экспертом на базе Nграммного анализа обучающей коллекции текстов (сообщений покупателей "В контакте").

Совокупность шаблонов интенций представлена в виде ориентированного ациклического графа, позволяющего группировать схожие маркеры (слова и словосочетания, указывающие на присутствие

интенции в тексте) на основании общности грамматических характеристик [1]. Начальная вершина графа – маркер интенции, остальные – объект интенции, его свойства. Интенция содержится в тексте, если в ходе его анализа в графе найдется хотя бы один путь из начальной вершины в конечную.

Программа поиска интенций реализована на языке Python. Полнота и точность распознавания тестовой коллекции, сформированной по основному и газетному корпусу НКРЯ [2], составляет 80 % и 74 %, соответственно.

Список литературы

1. R.Navigli, P.Velardi. Learning Word-Class Lattices for Definition and Hypernym Extraction [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aclweb.org/anthology/P10-1134>. (дата обращения: 23.11.2016)
2. Национальный корпус русского языка [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ruscorpora.ru/search-main.html>. (дата обращения: 12.04.2017).

К развитию теории шкал измерений

В. А. Сергеев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: vas@omzg.sscs.ru

"Шкалы измерений" (для краткости - "шкалы") [1, 2, 3] рассматриваются и\или используются в каждом исследовании, в каждой теоретической или практической работе. В этом смысле шкалы измерений являются в теоретическом плане не только одной из основ прикладных наук и практики, но и лежат в основании математических дисциплин.

В докладе, соответствующим этим тезисам, рассматриваются полностью или частично проработанные вопросы и результаты такой проработки, отражённые, в частности, в публикациях [4-8]. Элементами научной новизны с авторством В.А. Сергеева обладают все из следующих результатов: приведены существующие и даны новые авторские определения основным терминам, связанным со "шкалами"; шкалы понимаются, в частности, как отображения, как функции и как фреймы; введены понятия "имманентных" и "назначенных" свойств при измерениях; построена совместная табличная характеристика шкал; знания о шкалах распространены (помимо свойств) и на отношения; введены и рассмотрены свойства и меры сходства циклических шкал измерений; введены и рассмотрены многозначные шкалы и многозначные измерения; осуществлена сертификация шкал измерений для опасных природных процессов геокатастрофики (включая цунами); построена система примеров и кейсов для классов новой систематики шкал.

Список литературы:

1. Пфанцгль И. Теория измерений. – М.: 1976. – 225с.
2. Суппес П., Зиннес Дж. Основы теории измерений // Психологические измерения. - М., Мир, 1967. - С. 9-110.
3. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. - 208 с.
4. Воронин Ю.А., Сергеев В.А. К методологии и теории формального задания и использования структур в геоинформатике // Тр. междунар. конф. "Математические методы в геофизике" / ИВМиМГ СО РАН - Новосибирск, 2003. - С. 641-646.
5. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
6. Сергеев В.А. Шкалы свойств и отношений: новая систематика // Научные исследования и разработки: Труды 11-ой Международной научно-практической конференции 26-27 ноября 2015 г. - Тамбов: Изд-во "Консалтинговая компания Юком", 2015. - С. 125-131.
7. Сергеев В.А. Обобщение и формализация понятий о геологическом опробовании // Геология и геофизика. – 1982. - №6. - С.131-134.
8. Сергеев В.А. Разработка теоретических вопросов и алгоритмов формального описания геологических объектов для решения задач прогнозирования и оценки с помощью ЭВМ. - Отчёт о НИР / ВЦ СО АН СССР. Номер гос. рег-ции ГР8312514; Инв. № Б986534. - Новосибирск, 1987. - 113 с.

Иерархический кластерный алгоритм для текстурных данных поверхности земли

В. С. Сидорова

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

E-mail: svcs@oii.sccc.ru

Иерархический гистограммный кластерный алгоритм может быть применен не только к много-спектральным данным, но и к статистическим текстурным признакам изображения [1]. В этом случае он должен быть модифицирован. Так как в отличие от спектральных признаков, которые связаны с одним пикселем изображения, статистические текстурные вычисляются по протяженному окну пикселей изображения. Поэтому, во-первых, должен быть найден подходящий размер окна. Во-вторых, нужно учесть, что окно может попасть на границу двух текстур и участвовать в формировании дополнительных ложных кластеров, от которых нужно избавиться. Алгоритм применялся к изображениям леса. Также, найдя главные компоненты, т.е. существенно уменьшив размерность данных, была сделана попытка кластеризовать этим алгоритмом гиперспектральные данные.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 16-07-00066) и Программы I.33П фундаментальных исследований Президиума РАН (проект № 0315-2015-0012).

Список литературы

1. V. S. Sidorova. Global Segmentation of Textural Images on the Basis of Hierarchical Clusterization by Predetermined Cluster Separability // Pattern Recognition and Image Analysis. 2015, Vol. 25, No. 3, pp. 541–546. Pleiades Publishing.

Распознавание и классификация повреждений автомобильных дорог по данным мобильных видеоизмерений

Б. М. Шумилов, П. А. Елугачев, А. В. Титов

Томский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: sbm05@yandex.ru

Решение задачи разбивается на несколько этапов: 1) фильтрация и приведение к уровням серого последовательных кадров видеосъемки; 2) поиск локальных особенностей изображения на отдельных видеокдрах; 3) выявление устойчивых особенностей и формирование по ним опорных кадров; 4) преобразование стереометрии для получения трехмерных координат точек объекта из двумерных координат особых точек в каждой картинной плоскости; 5) создание пространственной триангуляционной сети; 6) получение трехмерной математической модели объекта. В данной работе мы анализируем известные алгоритмы поиска локальных особенностей изображений с точки зрения корректной идентификации точек интерполяции трехмерного объекта. Стоит отметить, что применение "угловых" фильтров [1–3] целесообразно для анализа изображений объектов искусственного происхождения, например, зданий, для которых характерно наличие большого количества углов, образованных пересечениями направляющих линий (кривых либо прямых). Объектам естественного происхождения, таким, как промоины, ямы и выбоины в асфальто-бетонном покрытии, присуще наличие локальных неоднородностей, поэтому в большей степени пригодны детекторы блобов (капель, blob), основанных на методе Лапласа [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Томской области (код проекта 16-41-700400 p_a).

Список литературы

1. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector // Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, UK. 1988. P. 147–151.
2. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. Image Processing, Analysis and Machine Vision. Thomson. 2008.
3. Harris affine region detector // [Электрон. ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Harris_affine_region_detector (дата обращения: 03.11.2016).
4. Tuytelaars T., Mikolajczyk K.. Local Invariant Feature Detectors: A Survey. 2008.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЗИСЫ ПЛЕНАРНЫХ ДОКЛАДОВ

В. А. Бабешко, А. Г. Федоренко, Е. М. Горшкова, О. В. Евдокимова, А. С. Мухин, С. Б. Уафа, И. С. Телятников, И. Б. Гладской	5
Я. Ван, Д. В. Лукьяненко, А. Г. Ягола	5
Yu. Vassilevski, A. Danilov, I. Konshin, A. Lozovski, M. Olshanski	6
В. В. Васин, Г. Г. Скорик	6
Ю. С. Волков	7
В. А. Вшивков	7
В. А. Галкин	7
Э. Х. Гимади, А. В. Кельманов, А. В. Пяткин	8
А. В. Глазунов, Е. В. Мортиков, В. Н. Лыкосов	8
Б. М. Глинский, И. Г. Черных, И. М. Куликов, А. В. Снытников, А. Ф. Сапетина, Д. В. Винс	9
P. V. Golubtsov	10
В. К. Гусяков, В. А. Кихтенко, Л. Б. Чубаров	11
А. Г. Деменков, Г. Г. Черных, С. Н. Яковенко	12
В. П. Ильин	12
С. И. Кабанихин, М. А. Шишленин	12
С. И. Кабанихин, М. А. Шишленин	13
Б. А. Каргин, А. Б. Каргин, С. М. Пригарин	14
В. В. Ковалевский, А. Г. Фатьянов, А. В. Терехов, Д. А. Караваев	14
В. М. Ковеня	15
А. С. Козелков	15
М. М. Краснов, Р. А. Кучугов, М. Е. Ладонкина, В. Ф. Тишкин	16
Г. Г. Лазарева, А. С. Аракчеев, А. А. Касатов	17
Б. Ю. Лемешко	18
И. В. Марчук	18
Г. А. Михайлов, Г. З. Лотова	19
В. В. Пененко	19
G. Reshetova	20
А. С. Родионов	20
В. Г. Романов	21
К. К. Sabelfeld	21
В. В. Учайкин	22
А. М. Федотов	23
И. Г. Черных, Б. М. Глинский, И. М. Куликов	23
В. В. Шайдуров	24

Секция 1. МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

А. С. Апарцин, И. В. Сидлер	25
К. В. Воронин, Ю. М. Лаевский	25
В. А. Галкин, А. О. Дубовик	26
А. С. Глуховский, В. И. Паасонен	26
С. К. Голушко, С. В. Идимешев	27
Е. В. Дементьева, Е. Д. Карепова	28
О. В. Евдокимова, А. Г. Федоренко, В. А. Бабешко, Г. Н. Уафа, А. В. Плужник, С. Б. Уафа, Т. А. Хафуз, В. В. Лозовой	28
М. В. Зарецкая	29
А. В. Зеленский, И. М. Ступаков	29
Н. А. Зюзина, В. В. Остапенко	30
А. Л. Карчевский	30
О. А. Ковыркина, В. В. Остапенко	31
И. А. Кремер	31
М. В. Кукушкин	32
А. И. Левыкин	32
Б. А. Марков	33
S. I. Markov, N. V. Itkina	33
С. С. Орлов	34
В. И. Паасонен, М. П. Федорук	34
А. В. Павлова	35
Д. О. Пиманов, С. И. Фадеев, Э. Г. Косцов	36
А. Н. Рогалев	36
В. А. Рукавишников, А. В. Рукавишников	37
В. А. Рукавишников, А. О. Мосолапов	37
В. А. Рукавишников, А. С. Рябоконт, Е. И. Рукавишникова	37
А. О. Савченко	38
F. R. Saucedo-Zendejo, E. O. Resendiz-Flores, J. Kuhnert	38
Г. И. Сахибгареева	38
С. В. Свирина	39
S. N. Svitashcheva	39
С. Н. Свиташева	40
Yu. N. Skiba, D. M. Filatov	40
Л. С. Соловарова	41
И. В. Степанова	41
О. П. Стояновская, В. Н. Снытников, Э. И. Воробьев, Т. В. Маркелова	42
Е. В. Табаринцева	42
З. И. Федотова, О. И. Гусев, Н. Ю. Шокина, Г. С. Хакимзянов	43
И. В. Целищева, Г. И. Шишкин	43
Q. Zhang, D. Xu, Y. Xu	44

Г. И. Шишкин	44
Л. П. Шишкина.....	45
N. V. Shtabel	46
Е. Р. Shurina, D. V. Dobrolyubova, Е. I. Shtanko.....	46
Э. П. Шурина, С. А. Трофимова, Н. Б. Иткина.....	47
Г. И. Щепановская, В. В. Шайдуров, М. В. Якубович.....	47
М. И. Эпов, Э. П. Шурина, Д. А. Архипов	48

Секция 2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ АЛГЕБРА И МЕТОДЫ АППРОКСИМАЦИИ

А. С. Апарцин, Е. В. Маркова, И. В. Сидлер, В. В. Труфанов	49
А. Г. Бабенко, Ю. В. Крякин.....	49
Н. В. Байдакова.....	50
Э. А. Бибердорф, А. М. Блохин	50
И. А. Блатов, А. И. Задорин, Е. В. Китаева.....	50
М. А. Блинова, Н. И. Попова, Э. А. Бибердорф	51
В. В. Богданов.....	51
В. В. Богданов, Ю. С. Волков, В. Л. Мирошниченко, А. Е. Салиенко.....	52
В. Л. Васкевич	52
В. С. Гладких, В. П. Ильин, А. В. Петухов	53
Н. И. Горбенко	53
Я. Л. Гурьева, В. П. Ильин	53
П. А. Домников.....	54
А. А. Елеуов, Р. Елеуова, Н. Н. Тунгатаров.....	55
В. С. Желтухин, С. И. Соловьёв, П. С. Соловьёв	55
Г. И. Забияко	56
А. А. Kalinkin, A. V. Anders, R.V. Anders	56
А. Н. Козырев, В. М. Свешников	56
А. Н. Козырев, В. М. Свешников	57
В. Г. Корнеев	57
К. С. Кузьмина, И. К. Марчевский	57
В. Н. Лутай.....	58
В. Л. Мирошниченко	58
Д. Я. Никифоров.....	59
Е. А. Плещева	60
А. С. Попов	60
В. А. Рукавишников, А. О. Мосолапов	60
А. А. Самсонов, С. И. Соловьёв, П. С. Соловьёв	61
А. А. Самсонов, С. И. Соловьёв, П. С. Соловьёв	61
А. S. Strekalovsky	62

А. С. Стрекаловский, И. М. Минарченко.....	62
С. В. Тиховская, А. И. Задорин.....	63
В. Г. Чередниченко	63
С. П. Шарый	64
Б. М. Шумилов	64
Б. М. Шумилов	65
Э. П. Шурина, А. Ю. Кутищева	65
Э. А. Эшаров.....	66
Э. А. Эшаров, А. А. Макаров	66
Э. А. Эшаров, Н.В. Лаходьнова	67
М. В. Янулевич, А. С. Стрекаловский.....	68

Секция 3. ЧИСЛЕННОЕ СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ МОНТЕ-КАРЛО

Т. А. Аверина, К. А. Рыбаков	69
А. Ю. Амбос	69
В. С. Антюфеев	70
Н. С. Аркашов, В. А. Селезнев	70
Г. А. Бабичева, Н. А. Каргаполова.....	70
А. В. Бурмистров, М. А. Коротченко	71
А. В. Бурмистров, А. В. Новиков.....	71
Д. А. Быковских, В. А. Галкин.....	72
А. В. Войтишек	72
Е. В. Губий, В. И. Зоркальцев, С. М. Пержабинский.....	73
С. А. Гусев, В. Н. Николаев.....	73
Б. С. Добронез, О. А. Попова	74
А. А. Иванов, С. С. Артемьев.....	74
Е. Г. Каблукова, С. М. Пригарин.....	75
Л. П. Каменщиков, И. В. Краснов	75
Н. А. Каргаполова, В. А. Огородников	76
А. С. Корда, С. А. Ухинов.....	76
А. В. Лаппа, А. Е. Анчугова.....	76
Н. Э. Лепп	77
К. В. Литвенко, С. М. Пригарин	77
Г. З. Лотова.....	78
В. Л. Лукинов	78
И. Н. Медведев	79
А. М. Медвяцкая, В. А. Огородников.....	79
В. Г. Могулян	79
С. П. Моисеева, И. А. Кононов	80
В. А. Огородников, О. В. Сересева.....	80
С. А. Роженко.....	81
К. К. Sabelfeld, E. G. Kablukova.....	81
К. К. Сабельфельд, А. Е. Киреева.....	82
В. А. Селезнев, Л. В. Пехтерева, Е. В. Исаева.....	82

С. С. Скворцов, Н. А. Каргаполова,	
О. В. Сересева	83
Д. Д. Смирнов	83
О. А. Ткаченко, В. А. Ткаченко	84
Н. В. Трачева, С. А. Ухинов	84
О. С. Ухинова	85
В. В. Учайкин, Е. В. Кожемякина	85
Р. Philonenko, S. Postovalov	86
И. А. Шалимова, К. К. Сабельфельд	86
М. И. Шимелевич, Е. А. Оборнев,	
И. Е. Оборнев, Е. А. Родионов	87
Е. В. Шкарупа, М. Ю. Плотников	87
М. А. Якунин	88

Секция 4. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОФИЗИКА

В. В. Аксёнов	89
И. В. Афанаскин, С. Г. Вольпин, П. В. Ялов ..	89
С. Ю. Белов	89
А. С. Бердышев, Х. Х. Имомназаров	90
М. В. Васильева	90
Н. А. Ваганова, М. Ю. Филимонов	91
Т. А. Vohonina	91
Г. Н. Ерохин, К. С. Алсынбаев,	
В. М. Брыксин, В. В. Савеленко,	
В. И. Строков, А. В. Козлов, М. В. Козлов	92
Х. Х. Имомназаров, А. А. Михайлов	92
К. Т. Искаков, С. А. Боранбаев,	
А. Т. Кусаинова, О. Туенбаев	92
К. Т. Искаков, С. А. Боранбаев,	
Н. Ұзаққызы	93
Д. А. Караваев	94
А. В. Кириленко	94
А. В. Королев, В. А. Бахтин,	
Н. В. Поддерюгина	94
Д. Ю. Кушнир, Г. В. Дятлов,	
Е. А. Коркунова, Ю. А. Дашевский	95
А. Г. Меграбов	96
М. А. Новиков, В. В. Лисица	96
Н. Е. Сибиряков, Е. Б. Сибиряков	97
О. Н. Соболева	97
И. В. Суродина	97
И. С. Телятников	98
А. Т. Турарбек	98
А. Г. Фатъянов	99
М. С. Хайретдинов, Г. М. Воскобойникова,	
Г. Ф. Седухина	99
М. С. Хайретдинов, Б. В. Поллер	100
В. В. Червов	100
В. В. Червов, Н. А. Бушенкова	100

Секция 5. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ, ОКЕАНА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Е. А. Антипова, А. И. Крылова	101
П. Н. Антохин, О. Ю. Антохина,	
А. В. Пененко	101
А. П. Важенин, Ан. Г. Марчук, К. Хаяши	102
М. А. Волкова, Н. К. Барашкова,	
И. В. Кужевская, Л. И. Кижнер,	
А. В. Старченко, А. А. Барт	102
А. А. Гришина, А. В. Пененко	103
М. В. Зарецкая, А. Г. Зарецкий,	
В. В. Лозовой	103
И. И. Кирбижекова, Е. В. Батуева	104
Е. Г. Климова	104
В. В. Кравченко	105
М. В. Крайнева, Е. Н. Голубева	105
В. И. Кузин, Г. А. Платов, Н. А. Лаптева	106
Л. И. Курбацкая, А. Ф. Курбацкий	106
Л. И. Курбацкая, А. Ф. Курбацкий	107
А. А. Леженин, Е. Н. Голубева,	
М. В. Крайнева	108
Z. Liu	108
V. V. Malakhova, A. V. Eliseev	108
В. В. Малахова, Г. А. Платов,	
Е. Н. Голубева, А. В. Елисеев	109
Ан. Г. Марчук	109
А. А. Михайлов	110
Ю. А. Моисеева	110
А. В. Пененко, В. В. Пененко,	
Е. А. Цветова	111
Э. А. Пьянова, А. В. Гочаков	111
Э. А. Пьянова, Л. М. Фалейчик,	
А. А. Фалейчик	112
Э. А. Пьянова, В. В. Пененко,	
Л. М. Фалейчик	112
В. Ф. Рапута, Т. В. Ярославцева	113
А. В. Старченко, В. П. Горбатенко	113
Е. А. Цветова	114
Yu. A. Chirkunov	114
Yu. A. Chirkunov, N. F. Belmetsev	115
M. S. Yudin	115
Д. Ф. Якшина, Е. Н. Голубева	116
Т. В. Ярославцева, В. Ф. Рапута	116

Секция 6. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

С. Б. Арыков	117
Н. А. Беляев, В. А. Перепёлкин	117

Л. Ф. Васильева, В. А. Дебелов, Р. А. Шелепаев.....	118	Н. С. Новиков	136
М. А. Городничев, И. В. Софронов	118	А. В. Пененко, С. В. Николаев, С. К. Голушко	137
Я. Л. Гурьева.....	119	V. I. Priimenko, M. P. Vishnevskii	137
С. Е. Киреев, В. С. Литвинов	119	А. П. Полякова.....	138
И. А. Климонов, В. Д. Корнеев, В. М. Свешников	120	А. Н. Рогалев.....	138
В. И. Костин, С. А. Соловьев	120	Б. Рысбайулы, А. Адамов	139
Е. О. Кривошеин, Н. В. Снытников.....	121	Б. Рысбайулы, М. Рыскелды	140
В. П. Маркова, М. Б. Остапкевич	121	А. М. Савчук.....	140
М. А. Марченко	121	А. Дж. Сатыбаев, А. А. Алимканов.....	141
Ю. Г. Медведев.....	122	А. Дж. Сатыбаев, Ю. В. Анищенко	141
Д. А. Мигов.....	122	А. Дж. Сатыбаев, А. Ж. Кокозова	142
А. А. Никитин, А. С. Сердюков, А. А. Дучков	123	И. Е. Светов	142
М. Б. Остапкевич.....	123	А. И. Сидикова	143
И. Н. Скопин	123	С. Б. Сорокин.....	143
А. В. Снытников, М. А. Боронина.....	124	Ю. Э. Спивак	143
Т. В. Снытникова, А. Ш. Непомнящая	124	Л. Н. Темирбекова	144
А. А. Ткачёва.....	125	А. В. Терехов	145
A. G. Feoktistov, I. A. Sidorov, S. A. Gorsky	125	В. А. Ткаченко, О. А. Ткаченко	145
Г. А. Щукин	126	К. С. Фаязов, И. О. Хажиев.....	146
		Ю. И. Худак	146
		М. И. Шимелевич, Е. А. Оборнев, И. Е. Оборнев, Е. А. Родионов.....	147

Секция 7. ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ

А. Н. Алимова, С. Е. Касенов	127
К. Бобоев.....	127
И. В. Бойков, А. И. Бойкова, Н. П. Кривулин, В. А. Рязанцев	128
I. V. Voikov, V. A. Roudnev, A. I. Voikova.....	128
A. L. Bukhgeim.....	129
A. L. Bukhgeim, V. B. Kardakov.....	29
А. Г. Быков, Д. В. Лосев, Д. С. Бардашов	129
В. И. Васильев	129
С.А. Габитов, Н.М. Байназарова, К.Ф. Коледина, И.М. Губайдуллин.....	130
Ю. В. Гласко	130
P. V. Golubtsov.....	131
Е. Ю. Деревцов, С. В. Мальцева	131
N. Dinh, T. Nguyen, X. Phan	131
А. О. Егоршин	132
А. А. Ершова.....	132
К. Т. Исакаев, Н. Узаккызы, А. Т. Кусаинова.....	133
С. Г. Казанцев	134
С. Е. Касенов, Д. Б. Нурсеитов, М. А. Шишленин.....	134
S. I. Kolesnikova.....	134
А. С. Леонов	135
S. Lu, J. Cheng, V. Isakov	136
Б. В. Лунёв, В. В. Лапковский, М. С. Канаков, А. С. Застрожных.....	136

Секция 8. ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

А. А. Ageev.....	148
А. А. Ageev.....	148
К. А. Айдаров, Г. Т. Балакаева	148
С. Н. Астраков, А. Г. Квашнин, Ю. С. Отмахова	149
А. М. Бакиева, Т.В. Батура	149
М. П. Бакулина	150
Ц. Ч.-Д. Батуева	150
Л. П. Брагинская, А. П. Григорюк, В. В. Ковалевский	150
К. А. Волжанкина.....	151
А. А. Галилейская, Е. Ю. Лисовская	152
В. А. Дебелов, К. Г. Кушнер.....	152
С. С. Журавлев, В. В. Окольнішников, С. В. Рудометов, С. Р. Шакиров	153
Ю. А. Загорюлько	153
Ю. А. Загорюлько, И. Р. Ахмадеева.....	153
В. И. Знак	154
Д. Н. Зырянов, Н. Ф. Денисова	154
А. В. Климов, В. Г. Главный.....	155
О. А. Ляхов	155
С. Н. Мамоиленко, А. В. Ефимов	155
А. V. Mikheeva	156
С. П. Моисеева, Е. А. Павлова, Е. П. Полин	156

О. В. Молдованова, М. Г. Курносос	157	А. Г. Деменков, А. В. Фомина, Г. Г. Черных ..	173
А. А. Назаров, А. А. Анисимова	157	К. Б. Джакупов	173
А. А. Назаров, А. А. Анисимова	157	К. Б. Джакупов	174
А. А. Назаров, В. И. Бронер	158	К. Б. Джакупов	174
С. В. Рудометов, В. В. Окольнішников	158	А. А. Ефимова, Г. И. Дудникова	174
Н. А. Семенова, Т. В. Батура	159	В. Р. Ефремов, А. С. Козелков, Ю. Г. Нечепуренко, В. В. Курулин,	
О. Д. Соколова, В. В. Шахов, А. Н. Юргенсон	159	А. С. Кривонос	175
Л. Р. Сулейменова, С. Ж. Рахметуллина	160	В. П. Житников, Р. Р. Муксимова, А. А. Соколова	176
К. В. Ткачѳв	160	Х. Х. Имомназаров, М. В. Урев	176
М. А. Шкленник, С. П. Моисеева	161	С. А. Карпов, И. Ф. Потапенко	177

Секция 9. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А. У. Абдибекова, Д. Б. Жакебаев, А. П. Кизбаев	162	П. А. Ким	177
Л. Ф. Ахмадуллина, Л. В. Еникеева, И. М. Губайдуллин, П. В. Снытников, Д. И. Потемкин	163	И. М. Куликов	178
О. М. Бабешко, А. Г. Федоренко, Е. М. Горшкова, О. В. Евдокимова, Д. А. Хрипков, С. Б. Уафа	163	К. В. Лаговская, М. А. Боронина	178
П. В. Бабинцев	164	М. Е. Ладонкина, В. Ф. Тишкин	179
И. З. Байназаров, И. В. Ахметов, И. М. Губайдуллин	164	В. В. Лукин, К. Л. Маланчев, Н. И. Шакура, К. А. Постнов, В. М. Четкин	179
В. С. Бердников, С. А. Кислицын, К. А. Митин	165	А. А. Мазитов, К. Ф. Коледина, И. М. Губайдуллин	180
В. С. Бердников, К. А. Митин, В. А. Винокуров, В. В. Винокуров, В. А. Гришков	165	Т. В. Маркелова	180
Е. А. Берендеев	165	И. К. Марчевский, Е. Н. Авдеева, К. С. Кузьмина	181
М. А. Боронина, В. А. Вшивков	166	А. В. Павлова, С. Е. Рубцов	181
О. Б. Бочаров, Т. Э. Овчинникова	166	И. Б. Палымский, В. И. Палымский, П. А. Фомин, А. В. Трифанов	182
И. В. Бычин, А. В. Гореликов, А. В. Ряховский	167	И. Б. Палымский, П. А. Фомин, И. В. Фролов, А. В. Трилис	182
Н. В. Верниковская	167	П. А. Радченко, С. П. Батуев, А. В. Радченко	182
М. К. Вовденко, К. Ф. Коледина, И. М. Губайдуллин	168	Е. М. Рудой	183
А. Ф. Воеводин, О. Н. Гончарова, Е. В. Резанова	168	В. Н. Снытников, Т. В. Маркелова	183
Г. М. Воскобойникова, К. А. Шаламов	169	В. Н. Снытников, О. П. Стояновская	183
В. А. Вшивков, Е. А. Генрих	169	Н. В. Снытников, О. П. Стояновская, О. А. Стадниченко	184
Л. В. Вшивкова, Г. И. Дудникова	170	А. А. Таюрский, М. Б. Гавриков	184
Р. В. Галѳв, А. Н. Кудрявцев, С. И. Трашкеев	170	О. А. Ткаченко, В. А. Ткаченко	185
А. П. Герасев	171	А. Г. Фасхутдинов, И. В. Ахметов, И. М. Губайдуллин	185
А. Г. Горобчук	171	А. И. Хисамутдинов	186
А. В. Григорьев, Ю. М. Лаевский, Т. А. Носова	172	Yu. A. Chirkunov, E. O. Pikmullina	186
И. М. Губайдуллин, К. Ф. Коледина, С. Н. Коледин	172	В. В. Щербаков	187
А. Г. Давыдов, Н. К. Ткачев	172	С. Н. Яковенко	187
		С. Н. Яковенко	187

Секция 10. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИММУНОЛОГИЯ, БИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА

Е. Е. Борд, А. А. Черевко, А. П. Чупахин	189
Г. А. Бочаров	189

Т. С. Гологуш, А. А. Черевко, И. А. Петренко, В. В. Остапенко	190
В. П. Голубятников	190
С. Г. Давыдова, Э. А. Бибердорф	191
Н.С. Денисенко, А. А. Черевко, В. М. Кулик, А. П. Чупахин	191
D. V. Yermolenko, O. I. Krivorotko, S. I. Kabanikhin	192
С. И. Кабанихин, О. И. Криворотько, Е. А. Кондакова	192
О. И. Криворотько, С. И. Кабанихин, Д. В. Ермоленко, В. Н. Каштанова, В. А. Латышенко	193
О. И. Криворотько, В. Н. Каштанова	193
В. А. Лихошвай, В. В. Когай, С. И. Фадеев, Т. М. Хлебодарова	194
Д. В. Паршин, Ю. О. Куянова, А. А. Черевко, А. П. Чупахин	194
Н. В. Перцев, Б. Ю. Пичугин	195
Н. В. Перцев, Б. Ю. Пичугин, К. К. Логинов, Г. А. Бочаров	195
Н. Д. Плотников, Ч. А. Цгоев, О. Ф. Воропаева	196
В. Ф. Рапуга, Т. В. Ярославцева	196
С. Д. Сенотрусова, О. Ф. Воропаева	196
С. Я. Серовайский, Д. Б. Нурсеитов, А. А. Азимов	197
В. М. Чигвинцев	197
О. И. Ширяева, Т. Г. Денисова	198
А. А. Янченко, Е. И. Роменский, А. К. Хе, А. П. Чупахин	198
Г. С. Янькова, А. А. Черевко, Д. В. Паршин, А. Е. Акулов	199

Секция 11. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

G. B. Abdikerimova, A. L. Bychkov, Wei Xin Yu, F. A. Murzin, N. E. Russkikh, E.I. Ryabchikova, S.S. Khairulin	200
T. V. Batura, F. A. Murzin, D. F. Semich, A. M. Bakiyeva, A. S. Yerimbetova	200
И. В. Бахмутова, В.Д. Гусев, Л. А. Мирошниченко, Т.Н. Титкова	200
С. Битюков, В.Смирнова, О. Бондаренко, А. Матаморос, Е. Нурматова, Н. Окунев	201
И. А. Борисова, О.А. Кутненко	201
А. А. Бучнев, В. П. Пяткин	202
Т. В. Груздева, А. В. Ушаков	202
В. Д. Гусев, Л. А. Мирошниченко, Т. Н. Титкова	203
И. Г. Казанцев	203
А. В. Кельманов, А. В. Моткова, В. В. Шенмайер	204
А. В. Кельманов, С. А. Хамидуллин, В. И. Хандеев	204
Ан. Г. Марчук, К. В. Симонов, М. А. Курако	204
А. В. Матерухин	205
В. М. Неделько	205
N.E. Russkikh, D.V. Antonets	206
И. С. Пименов, Н. В. Саломатина	206
В. А. Сергеев	207
В. С. Сидорова	208
Б. М. Шумилов, П. А. Елугачев, А. В. Титов	208

МАРЧУКОВСКИЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ – 2017

Тезисы

Ответственные за выпуск:
И. М. Куликов, М. А. Боронина

Компьютерная верстка *О. Г. Заварзина*

Подписано к печати 16.06.2017. Формат 60×84, 1/8.
Усл. печ. л. 27. Тираж экз. Заказ № .

Отпечатано в типографии "Омега принт",
630090, Новосибирск, просп. Акад. Лаврентьева, д. 6; тел. +7 (383) 335-65-23.