Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН

Методы создания, исследования и идентификации математических моделей

Международная научная конференция
посвященная 85-летию со дня рождения
академика Анатолия Семеновича Алексеева

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Новосибирск, Академгородок
10-13 октября 2013 года

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Международная научная конференция,
посвященная 85-летию со дня рождения
академика Анатолия Семеновича Алексеева

Новосибирск, Россия, 10–13 октября 2013 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Сибирское научное издательство
Новосибирск
2013

Международный программный комитет

Б. Г. Михайленко (председатель), В. Г. Романов (председатель), С. И. Кабанихин (председатель), А. Г. Ягола (председатель), Б. Д. Аннин, С. К. Годунов, Н. А. Колчанов, А. Н. Коновалов, И. А. Тайманов, Ю. И. Шокин, М. И. Эпов, В. В. Васин, С. С. Гончаров, Г. А. Михайлов, А. В. Николаев, И. Б. Петров, Е. Е. Тыртышников, А. М. Федотов, М. А. Бектемесов, Б. М. Глинский, С. К. Голушко, И. Н. Ельцов, Г. Н. Ерохин, Ю. М. Зыбарев, В. П. Ильин, В. В. Ковалевский, В. И. Кузин, Ю. М. Лаевский, В. Э. Малышкин, М. А. Марченко, В. В. Пененко, В. К. Попков, В. П. Пяткин, Т. А. Сушкевич, М. П. Федорук, М. В. Фокин, М. С. Хайретдинов, В. А. Чеверда, М. А. Шишленин.

Организационный комитет

С. И. Кабанихин (председатель), Х. Х. Имомназаров (зам. председателя), М. А. Шишленин (зам. председателя), А. В. Пененко (зам. председателя), О. И. Криворотько (ученый секретарь), А. Л. Карчевский, А. Г. Усов, В. Н. Глинских, Д. В. Нечаев, И. Н. Медведев, И. М. Куликов, А. А. Дучков, Э. А. Пьянова, И. Г. Черных, Н. Ю. Зятьков, Д. А. Воронов, Н. С. Новиков, А. В. Бухаров, Д. В. Беседин, Л. И. Макарова.

Организаторы конференции

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
Новосибирский государственный университет
Институт вычислительных технологий СО РАН
Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН
Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН
Институт цитологии и генетики СО РАН

Спонсоры

РФФИ, Schlumberger, Baker Hughes, Intel, Автомотив

Содержание

ДВЕ МОДЕЛИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ШУМА

Аверина Т. А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики;
Новосибирский государственный университет, Новосибирск;
ata@osmf.sscc.ru

Рассматриваются два варианта описания с помощью стохастических дифференциальных уравнений (СДУ) математических моделей сложных технических и экономических систем, учитывающих воздействие шума: с использованием неоднородной пуассоновской меры [1], либо обобщенного процесса Пуассона [2].

Для численного решения рассматриваемых стохастических систем предложены алгоритмы статистического моделирования, использующие численные методы решения СДУ [3] и алгоритмы моделирования пуассоновского поля [4]. Эффективность алгоритмов демонстрируется на решении тестовых задач, а также прикладных задач радиотехники [5].

Работа проводилась при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 11-01-00282, № 12-01-00490).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ватанабэ С., Икеда Н.** Стохастические дифференциальные уравнения и диффузионные процессы. М.: Наука, 1986.
2. **Пугачев В. С., Синицын И. Н.** Стохастические дифференциальные системы. Анализ и фильтрация. М.: Наука, 1990.
3. **Artemiev S. S., Averina T. A.** Numerical analysis of systems of ordinary and stochastic differential equations. Utrecht: VSP, 1997.
4. **Аверина Т. А.** Новые алгоритмы статистического моделирования неоднородных пуассоновских ансамблей // Журн. вычисл. матем. и матем. физ. 2010. Т. 50, № 1. С. 16–23.
5. **Тихонов В. И.** Статистическая радиотехника. М: Радио и связь, 1982.

МАТМОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Аксенов В. В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск; aksenov@omzg.sscc.ru

Эта работа была начата более 10-ти лет назад совместно с академиком А. С. Алексеевым публикацией статьи [1]. Принципиальным вопросом как тогда, так и сейчас является выяснение в том числе глобальных причин возникновения землетрясений. А. С. Алексеевым была высказана мысль об основной причине, состоящей в появлении и развитии в очагах землетрясений микротрещин [1]. Физико-химические и фазовые процессы с различной интенсивностью происходят под всей поверхностью Земли, начиная с глубин от 5 км и до 700 км (судя по глубине залегания очагов землетрясений). Это приводит к ослаблению, а затем нарушению жесткости внутреннего скелета глубинного вещества. Появляются микротрещины, которые под воздействием давления создают поля трещиноватости. Поля трещиноватости затем концентрируются на короткое время в глобальный разрыв. Разрыв вызывает землетрясение. Для моделирования предвестников, исходя из концепции сформулированной выше, в качестве характеристик среды естественно не подходят феноменологические параметры Ламе из-за их сильного усреднения, отчего проблематично увидеть главные микрофизические свойства пород очага. Поэтому, с нашей точки зрения, для описания состояния очага его среду лучше всего моделировать параметрами Работнова — Ломакина, которые задают разномодульную среду, в которой по определению из-за наличия трещин, зерен и пор, модуль упругости при растяжении и сжатии разный [2]. В геофизике к такому описанию характеристик пород в очаге впервые обратились Мясников и Ляховский [3]. В их публикации появились обобщенные на трещиноватые среды параметры $\bar{\lambda} = \lambda - \nu\xi^{-1}$ и $\bar{\mu} = \mu - \nu\xi$, где ν — модуль упругости, ξ — параметр, характеризующий трещиноватость среды. В докладе приводятся два определения этого параметра. Для выявления предвестников землетрясений в физических полях в докладе вводятся уравнения электромагнитоупругости с тензором напряжений Гука — Дюамеля — Неймана, скорректированные для трещиноватой среды.

Анализ указанных уравнений привел автора к пониманию того, что среди наблюдаемых на Земле физических полей реальным предвестником краткосрочных и среднесрочных предвестников землетрясений выступает только потенциальное электрическое поле зарядов, возникающих на бортах микротрещин, зерен и пор и усиленное многократно поверхностью Земли за счет большой разницы в проводимостях воздуха и Земли. Все другие поля: сейсмическое, тепловое, магнитное и звук возникают только в момент возникновения самого землетрясения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алексеев А. С., Аксенов В. В.** ДАН. 2003. Т. 392, № 1. С. 106–110.
2. **Работнов Ю. Н., Ломакин Е. В.** Изв. АН СССР. МТТ. 1978. № 6. С. 29–34.
3. **Мясников В. П., Ляховский В. А.** ДАН. 1990. Т. 314, № 6. С. 1366–1369.

ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕЛОКАЛЬНЫЕ КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ АНАЛОГОВ УРАВНЕНИЯ БУССИНЕСКА

Алсыкова А. А.

Бурятский государственный университет, Улан-Удэ;
Бурятская государственная сельскохозяйственная академия, Улан-Удэ;
888552@mail.ru

Пусть Ω есть интервал (0,1) оси Ox, Q — цилиндр $\Omega \times (0,T)$ конечной высоты T, $f(x,t)$, $a(x,t)$, $b(x,t)$, $c(x,t)$, $\alpha_i(t)$, $\beta_i(t)$ $(i = 1,2)$ заданные при $x \in \overline{\Omega}$, $t \in [0,T]$ функции.

Краевая задача I: найти функцию $u(x,t)$, являющуюся в цилиндре Q решением уравнения

$$u_{tt}(x,t) - u_{xxtt}(x,t) + a(x,t)u_{xx}(x,t) + b(x,t)u_x(x,t) + c(x,t)u(x,t) = f(x,t) \quad (1)$$

и такую, что для нее выполняются условия

$$\begin{cases} u_x(0,t) = \alpha_1(t)u(0,t) + \alpha_2(t)u(1,t) & \text{при } 0 < t < 1, \\ u_x(1,t) = \beta_1(t)u(0,t) + \beta_2(t)u(1,t) & \text{при } 0 < t < 1, \end{cases} \quad (2)$$

$$u(x,0) = u_t(x,0) = 0 \text{ при } x \in \Omega. \quad (3)$$

Краевая задача II: найти функцию $u(x,t)$, являющуюся в цилиндре Q решением уравнения (1) и такую, что для нее выполняются условия (3), а также условия

$$\begin{cases} u(0,t) = \alpha_1(t)u_x(0,t) + \alpha_2(t)u(1,t) & \text{при } 0 < t < 1, \\ u_x(1,t) = \beta_1(t)u_x(0,t) + \beta_2(t)u(1,t) & \text{при } 0 < t < 1. \end{cases} \quad (4)$$

Для краевых задач I, II с использованием метода продолжения по параметру доказаны существование и единственность регулярных решений.

Работа проводилась при поддержке гранта БГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Демиденко Г. В., Успенский С. В.** Уравнения и системы, не разрешенные относительно старшей производной. Новосибирск: Научная книга, 1998.
2. **Kiguradze T.** On the correctness of the Dirichlet problem in a characteristic rectangle for fourth order linear hyperbolic equations // Georgian Math. J. 1999. V. 6, N 5. P. 447–470.
3. **Уткина Е. А.** Задача Дирихле для одного уравнения четвертого порядка // Дифференц. уравнения. 2011. Т. 47, № 4. С. 400–404.
4. **Уткина Е. А.** Характеристические граничные задачи для линейных уравнений высокого порядка со старшими частными производными: автореф. дис. на соискание ученой степени д. ф.-м. н. Казань, 2011.
5. **Якубов С. Я.** Линейные дифференциально-операторные уравнения и их приложения. Баку: Элм, 1985.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ

Апарцин А. С., Сидлер И. В.

Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Иркутск;
apartsyn@isem.sei.irk.ru

Доклад посвящен построению интегральных моделей развития электроэнергетической системы (ЭЭС) России на долгосрочную перспективу с учетом старения оборудования электростанций. В соответствии с различными гипотезами о механизмах старения введены три типа моделей с операторами Вольтерра.

Детально исследуется следующая модель. Пусть элементы системы разбиты на n возрастных групп. Тогда, считая эффективность функционирования элементов, принадлежащих одной группе, постоянной, можно описать динамику вводов генерирующих мощностей совокупностью n интегральных уравнений

$$\sum_{i=1}^{k-1} \beta_i(t) \int_{t-T_i}^{t-T_{i-1}} x(s)\,ds + \beta_k(t) \int_{0}^{t-T_{k-1}} x(s)\,ds = y(t), \qquad (1)$$
$$t \in [T_{k-1}, T_k), \quad k = \overline{1,n},$$

где T_k, $k = \overline{0,n}$ — границы возрастных групп, $T_0 = 0$, β_k – коэффициенты эффективности, $\beta_k = 1 - \gamma_k$, $\gamma_k \in [0,1]$ – доля мощностей k-ой группы, выведенных из эксплуатации, $\gamma_k \geq \gamma_{k-1}$; $y(t)$ – располагаемая мощность ЭЭС, $x(t)$ – искомый ввод генерирующей мощности в момент t. Для ЭЭС России за T_0 можно принять 1950 год, $n = 3$, $T_1 = 30$, $T_2 = 50$, $T_3 = 60$. Если по известной предыстории идентифицировать коэффициенты β_k (в общем случае – функции времени), то на базе (1) можно реализовать прогноз ввода $x(t)$ при $t \in [T_n, T]$ для различных сценариев роста $y(t)$.

С использованием реальных данных о вводах $x(t)$ при $t \in [1950, 2010]$ получены результаты для оптимистичного, базового и пессимистичного вариантов ежегодного прироста $y(t)$ (соответственно 3%, 2%, 1%), причем базовый вариант вводов $x(t)$ до 2020 года оказался близок к плану министерства энергетики РФ [1].

Детальное описание других типов моделей приведено в [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 12-01-00722-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Презентация** к докладу министра энергетики РФ А. В. Новака на совещании у председателя Правительства РФ Д. А. Медведева “О модернизации Российской электроэнергетики до 2020 года”. Минэнерго РФ, 2012. URL: http://minenergo.gov.ru/press/doklady.
2. **Апарцин А. С., Сидлер И. В.** Применение неклассических уравнений Вольтерра I рода для моделирования развивающихся систем // Автоматика и телемеханика. 2013. № 6. С. 3–16.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ РЭЛЕЙ — БЕНАРОВСКИХ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ ПОЛИНОМОВ БЕРНШТЕЙНА

Арбузов В. А., Арбузов Э. В., Шлапакова Е. О.

Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск;
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск;
Новосибирский государственный технический университет;
arbuzov@itp.nsc.ru, arbuzov@math.nsc.ru

Предложен метод моделирования с помощью полиномов Бернштейна формы поверхности рэлей-бенаровских структур в горизонтальном слое сильно-вязкой жидкости со свободной верхней границей.

Рэлей-бенаровская конвекция (РБК) является одним из примеров самоорганизующихся структур в нелинейных диссипативных системах. Конвекция в подогреваемом снизу горизонтальном слое жидкости со свободной верхней границей - один из классических объектов исследований [1, 2]. Прикладное значение такого рода исследований связано с необходимостью учёта рэлей-бенаровской конвекции в технологических процессах выращивания кристаллов, в изучении атмосферы и в океанологии, в практических задачах метеорологии и экологии.

В экспериментальных исследованиях конвекционных течений широко применяются оптические методы. Эффективно используются теневые, интерференционные и проективно-растровые методы [3, 4].

В работе, на основе информации о фазовых возмущениях и пространственной конфигурации РБК-структур, получаемой методами гильберт-оптики, предложен метод построения аппроксимирующей поверхности с помощью полиномов Бернштейна, позволяющий восстанавливать фазовую функцию светового поля и форму поверхности жидкости.

Работа проводилась при частичной поддержке СО РАН (проекты №№ 87-2012, 132-2012) и РФФИ (проект № 10-08-00813).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гетлинг А. В.** Конвекция Рэлея — Бенара. М.: Эдиторная УРСС, 1999.
2. **Бердников В. С., Гришков В. А., Ковалевский К. Ю., Марков В. А.** Тепловизионные исследования ламинарно-турбулентного перехода в рэлей-бенаровской конвекции // Автометрия. 2012. Т. 48, № 3. С. 111–120.
3. **Rahal S., Cerisier P., Azuma H.** Bernard-Maragoni convection in a small circular container: influence of the Diot and Prandtl numbers an pattern dynamics and free surface deformation // Experiment in Fluids. 2007. V. 43. P. 547–554.
4. **Арбузов В. А., Арбузов Э. В., Буфетов Н. С., Шлапакова Е. О.** Гильберт-диагностика рэлей-бенаровской конвекции в жидкости // Автометрия. 2012. 48, № 3. С. 61–67.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОБРАБОТКИ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ «PLANETAMONITORING»

Асмус В. В.[1], Кровотынцев В. А.[1], Бучнев А. А.[2], Пяткин В. П.[2], Салов Г. И.[2]

[1]*ФГБУ НИЦ Планета, Москва;*
[2]*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;*
asmus@planet.iitp.ru, krv@planet.iitp.ru,
baa@ooi.sscc.ru, pvp@ooi.sscc.ru, gis@ooi.sscc.ru

В докладе представлен комплекс программного обеспечения обработки спутниковых данных «PlanetaMonitoring», разработанный совместно ФГБУ НИЦ «Планета» и ИВМиМГ СО РАН, и его использование в прикладных задачах дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Он является функционально полным набором программных технологий, позволяющих решать различные задачи обработки данных ДЗЗ. Программный комплекс «PlanetaMonitoring» реализует технологии предварительной и тематической обработки многоспектральной спутниковой информации оптического, инфракрасного и микроволнового диапазонов.

В процессе предварительной обработки спутниковых данных осуществляются яркостные и геометрические преобразования, геокодирование, составление обзорных монтажей и другие. Тематическая обработка многоспектральных спутниковых данных включает технологии распознавания объектов (без обучения и с обучением), выделения и картирования линеаментов и кольцевых структур, а также пространственного перемещения природных объектов (ледяных полей, водных масс, облачных образований в атмосфере). Многолетний успешный опыт использования программного комплекса обработки спутниковых данных «PlanetaMonitoring» в различных прикладных задачах ДЗЗ подтверждает высокую эффективность реализованных в комплексе алгоритмов обработки данных ДЗЗ.

Все исходные космические снимки, используемые в данной работе, любезно предоставлены Сибирским центром ФГБУ НИЦ «Планета».

Работа проводилась при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-07-00068).

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

Астракова А. С., Банников Д. В., Лапин В. Н., Черный С. Г., Чирков Д. В.

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск;
anna.astrakova@gmail.com, cher@ict.nsc.ru

Поставлены и решены предложенным в работе оптимизационным методом обратные задачи гидродинамики турбин и геофизики (оптимального расположения датчиков мониторинга и своевременного обнаружения воздействия опасных природных и антропогенных факторов [1], восстановления структуры породы по результатам каротажного зондирования [2] или по замеренным временным зависимостям давления и потерь бурового раствора в скважине [3]. Оптимизационный метод решения обратных задач построен на основе модифицированного генетического алгоритма. Проведена верификация предложенных методов. Разработанные алгоритмы решения поставленных задач реализованы в программном комплексе.

Работа проводилась при частичной поддержке гранта РФФИ № 11-01-00475-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Астракова А. С., Лаврентьев М. М. (мл.), Черный С. Г.** Расположение датчиков для своевременного обнаружения волн цунами с максимальной амплитудой // Вестник НГУ. Серия: Математика, механика, информатика. 2013. Т. 13, № 3. С. 11–31.
2. **Астракова А. С., Черный С. Г.** Оптимизационный метод определения структуры прискважинной области по результатам каротажного зондирования // Материалы VI Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям земли имени М. Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна — ЭМЗ-2013. http://ems2013.ipgg.sbras.ru.
3. **Астракова А. С., Лапин В. Н., Черный С. Г., Алексеенко О. А.** Модель фильтрации жидкости Гершеля — Балкли в задаче определения параметров трещиновато-пористой среды // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2013. Т. 11, № 2. С. 18–35.

КЛЕТОЧНО-АВТОМАТНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ОРГАНИЗМОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Афанасьев И. В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СОРАН, Новосибирск;
ivafanas@gmail.com

Предложена клеточно-автоматная модель динамики популяций трёх видов организмов озера Байкал: макрогектопуса, малой и большой голомянки. Каждый из видов разделён на возрастные группы. Всего восемь групп организмов. Между группами определены отношения хищник-жертва и демографические отношения.

Модель позволяет учитывать пространственное распределение организмов, их собственное перемещение, водные течения, сезонность поведения организмов, локальные особенности окружающей среды и влияние возможных локализованных загрязнений в области моделирования.

Экспериментально показано, что при начальных отклонениях от устойчивых состояний численности модель эволюционирует к колебательному процессу с периодом колебаний в один год. Годовой период колебаний является следствием зависимости рождаемости организмов от сезона.

Проведена верификация по критериям соотношения продукции к биомассе и частоте встречаемости. Модельные оценки отличаются от наблюдаемых данных не более чем 20 %.

С целью исследовать динамику популяций при локальных загрязнениях разной интенсивности проведены вычислительные эксперименты, показывающие, что влияние загрязнения не распространяется далеко за его область. Получены оценки минимальной интенсивности загрязнения, при которой происходит гибель всех организмов, и максимальной интенсивности загрязнения, влияние которого не заметно на фоне естественных колебаний численности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Афанасьев И. В.** Клеточно-автоматная модель динамики популяций трёх видов организмов озера Байкал // Труды конференции «Параллельные вычислительные технологии». Челябинск, 2013. С. 261–268.
2. **Афанасьев И. В.** Клеточно-автоматная модель динамики численности организмов озера Байкал // Прикладная дискретная математика. 2012. № 1. С. 121–132.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАЖИГАНИЯ СЛОЯ ЛЕСНОГО ГОРЮЧЕГО МАТЕРИАЛА СФОКУСИРОВАННЫМ СОЛНЕЧНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Барановский Н. В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет;
firedanger@narod.ru

Согласно правилам пожарной безопасности в лесах запрещается разбрасывать стеклянные бутылки, так как они или их осколки могут сфокусировать солнечное излучение и вызвать возгорание ЛГМ [1]. В последние годы интенсивно развивается теория детерминированно-вероятностного прогноза лесной пожарной опасности [2]. Детерминированные компоненты этой теории представлены математическими моделями зажигания ЛГМ, описывающими достаточно подробно физико-химические процессы тепломассопереноса, которые предшествуют непосредственному возгоранию. До настоящего времени теоретический анализ условий возгорания ЛГМ под действием солнечного излучения не проводился. В частности, нет достоверных оценок минимальных значений радиационных тепловых потоков, при которых возможно зажигание, например, сухой хвои. Для мониторинга и прогноза лесных пожаров по таким неочевидным причинам, как сфокусированное солнечное излучение, следует разработать соответствующие методики прогноза на основе детерминированных моделей зажигания ЛГМ радиационным тепловым потоком.

Цель исследования — численное моделирование условий зажигания слоя ЛГМ в результате воздействия сфокусированного потока солнечного излучения. Процесс воспламенения слоя ЛГМ сфокусированным потоком солнечного излучения описывается системой нестационарных нелинейных уравнений теплопроводности и диффузии с соответствующими начальными и граничными условиями. Численная реализация проведена с использованием конечно-разностного метода [3]. Для решения многомерных уравнений математической физики использован локально-одномерный метод. Разностные аналоги одномерных уравнений теплопроводности и диффузии решены методом прогонки в сочетании с методом простой итерации [3].

На основании результатов выполненных теоретических исследований можно сделать вывод о целесообразности учета рассмотренного в данной работе фактора в системах прогноза лесной пожарной опасности. Решение поставленной задачи имеет важное значение для развития теории зажигания ЛГМ. Полученные результаты создают базис для дальнейшего развития физико-математических моделей зажигания ЛГМ и других пожароопасных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Об утверждении** Правил пожарной безопасности в лесах: постановление Правительства РФ от 30 июня 2007 г. № 417 // Пожарная безопасность. 2007. № 4.
2. **Кузнецов Г. В., Барановский Н. В.** Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009.
3. **Самарский А. А.** Теория разностных схем. М.: Наука, 1983.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ ОЗЕРА ШИРА

Белолипецкий В. М.[1], Генова С. Н.[1], Дегерменджи А. Г.[2], Рогозин Д. Ю.[2]

[1] *ИВМ СО РАН, СФУ, Красноярск;*
[2] *Институт биофизики СО РАН, Красноярск;*
belolip@icm.krasn.ru

Рассматривается модификация одномерной в вертикальном направлении модели температурного и солевого режимов озера [1], учитывающая изменение глубины водоема. Увеличение глубины озера происходит в случае превышения притока пресной воды над испарением. Увеличение глубины учитывается добавлением весной сверху слоя пресной воды толщиной. Уменьшение глубины озера связано с превышением испарения над притоком пресной воды. Предполагается, что при испарении воды соль остается в озере, т. е. запасы соли в озере не изменяются. После испарения глубина озера уменьшается, а высвободившаяся после испарения соль равномерно распределяется в верхнем квазиоднородном слое.

В зимний период по вертикали выделяются слой льда, слой конвективного перемешивания и придонный слой. Для определения динамики толщины ледяного покрова применяется упрощенная модель, основанная на квазистационарном температурном режиме в затвердевшей области. В соленых озерах при образовании льда в результате кристаллизации воды высвобождается соль и формируется слой конвективного перемешивания. Так как в зимний период температура воды мало изменяется по глубине, то плотность воды в основ-ном зависит от солености. С учетом этого предположения выведены расчетные формулы для определения глубины распространения конвекции и значений температуры, солености, плотности воды в конвективном слое в зимний период. Выполнены расчеты сезонных изменений вертикальной термохалинной структуры озера Шира.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 56-2012 и гранта РФФ №11-05-00552.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Genova S. N., Belolipetskii V. M., Rogozin D. Y., Degermendszhi A. G.** A one-dimensional model of vertical stratification of Lake Shira focussed on winter conditions and ice cover // Aquat Ecol. 2010. V. 44. P. 571–584.

НОВЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ К ОБРАТНЫМ ЗАДАЧАМ АКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Белоносов В. С., Белоносова А. В.

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск;
Новосибирский государственный университет;
Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
bvs@math.nsc.ru

Задача о восстановлении дифференциальных операторов по их спектральным характеристикам сформулирована 70 лет назад В. Гайзенбергом, Дж. Уилером и другими известными физиками в связи с проблемами квантовой механики и теории элементарных частиц. Ее решение для уравнений Штурма — Лиувилля с гладкими коэффициентами получено в начале 50-х годов в классических работах В. А. Марченко, М. Г. Крейна, И. М. Гельфанда, Б. М. Левитана. Благодаря идеям А. С. Алексеева [1, 2], спектральные методы сейчас широко используются при интерпретации геофизических данных. Тема настоящего доклада — дальнейшее развитие этих идей применительно к обратным задачам акустического зондирования дна водоемов [3].

Рассматривается процесс распространения акустических колебаний в сложной среде, состоящей из плоского горизонтального слоя воды, лежащего на границе упругого полупространства. Предполагается, что колебания порождены точечным источником, расположенным на поверхности воды. Формулируется прямая задача о построении полного волнового поля, удовлетворяющего кинематическим и динамическим условиям сопряжения на границе раздела жидкой и твердой фаз. В случае, когда механические параметры упругой среды зависят только от глубины, решена обратная задача о восстановлении акустического импеданса среды, если известны внешнее точечное воздействие и соответствующий отклик на поверхности воды.

Работа поддержана Президиумом РАН (программа фундаментальных исследований № 15, проект № 121) и Сибирским отделением РАН (междисциплинарный интеграционный проект № 30).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алексеев А. С.** Некоторые обратные задачи теории распространения волн. I // Изв. АН СССР. Сер. геофизич. 1962. Вып. 11. С. 1515–1522.
2. **Алексеев А. С.** Обратные динамические задачи сейсмики // Некоторые методы и алгоритмы интерпретации геофизических данных. М.: Наука, 1967. С. 9–48.
3. Белоносова А. В., Белоносов В. С. Прямые и обратные задачи акустического зондирования дна водоемов // Сибирские электронные математические известия. 2013. Т. 10. С. С.10–С.15.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИЛЬТРАЦИИ ДВУХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ В ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТЫХ ПЛАСТАХ

Бервено Е. В., Калинкин А. А., Лаевский Ю. М.

ИВМиМГ, Новосибирск;
ekaterina.berveno@gmail.com

Ранее в рамках данной тематики авторами статей [1, 2] исследовались модели фильтрации двухфазной несжимаемой жидкости в однородной среде с различным расположением скважин. В последующих исследованиях акцент ставился на изучение того, как неоднородности в почве могут влиять на процесс фильтрации, в результате чего стала очевидной неточность классической теории фильтрации в пористых средах при применении её для описания коллекторов некоторых структур трещиновато-пористого типа. Эксперименты приведены в статье [3].

В данной работе рассматривается двухфазное течение, соответствующее вытеснению первоначально заполнявшей поры пласта нефти, подаваемой в коллектор под давлением водой в трещиновато-пористой среде. В новой модели каждой точке пространства соответствуют две системы уравнений. Одна система уравнений описывает процесс фильтрации для пор, вторая - процесс движения жидкости в трещинах. А поскольку вместо одного давления жидкости в каждой точке среды два: давление в трещинах и давление в порах блоков, то эти системы уравнений будут связаны аналогом закона теплообмена ньютоновской жидкости. Для аппроксимации по времени уравнения насыщенности вытесняющей фазы используется явная схема типа предиктор-корректор второго порядка аппроксимации, как и в работе [1], с одним вычислением правой части на шаге интегрирования. Данная схема, предложенная в статье [4], продемонстрировала эффективность при численных экспериментах и в работе [3]. Для построенной модели применяется разработанная в ходе предыдущих исследований методика распараллеливания трехмерной задачи с использованием MPI технологии для компьютерных систем, удовлетворяющих кластерной структуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Laevsky Yu. M., Popov P. E., Kalinkin A. A.** Simulation of two-phase fluid filtration by mixed finite element method // Matem. Mod. 2010. V. 22, N 3. P. 74–90.
2. **Popov P. E., Kalinkin A. A.** The method of separation of variables in a problem with a saddle point // Russian J. Numer. Anal. Math. Model. 2008. V. 23, N 1. P. 97–106.
3. **Berveno E. V.** Simulation of two-phase fluid filtration with nonuniform media on clusters. (в печати)
4. **Демидов Г. В., Новиков Е. А.** Экономичный алгоритм интегрирования нежестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений // Численные методы в математической физике. Новосибирск: ВЦ СО СССР, 1979. С. 69–83.

ГРАДИЕНТНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА В P_n-ПРИБЛИЖЕНИИ

Бобоев К. С.

НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск;
boboev@mail.ru

Рассмотрим нестационарное кинетическое уравнение переноса излучения нейтронов для анизотропного рассеяния в случае плоско-параллельной геометрии.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \mu \frac{\partial u}{\partial x} + \sigma(x)u = Su, \quad x \in R, \quad t \in R_+, \tag{1}$$

где

$$Su = \frac{1}{4\pi}\sigma_s(x) \int\limits_0^{2\pi} \int\limits_{-1}^{1} g(x, \mu_0) u(x, t, \mu') d\mu' d\varphi,$$

с начальными и граничными условиями

$$u|_{t=0} = \varphi(x, \mu), \tag{2}$$

$$u|_{t=0} = 0, \text{ при } \mu > 0, \quad u|_{t=H} = 0, \text{ при } \mu < 0. \tag{3}$$

Согласно градиентному методу для решения обратной задачи для системы требуется построить функционал

$$J(\sigma) = \int\limits_0^T \int\limits_{-1}^{1} \left[u(t, 0, \mu, \sigma) - \alpha(t, \mu)\right]^2 d\mu\, dt. \tag{4}$$

Постараемся найти $\sigma(x)$, при котором функционал принимал бы минимальное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Романов В. Г., Кабанихин С. И., Бобоев К. С.** Обратная задача для P_n-приближения кинетического уравнения переноса // ДАН СССР. 1984. Т. 276, № 2.
2. **Годунов С. К.** Уравнения математической физики. М.: Наука, 1971.
3. **Султангазин У. М.** Методы сферических гармоник и дискретных ординат в задачах кинетической теории переноса. Алма-Ата: Изд-во Наука, Каз. ССР, 1979.
4. **Романов В. Г.** Обратные задачи для дифференциальных уравнений. Новосибирск: НГУ, 1973.
5. **Васильев Ф. П.** Численные методы решения экстремальных задач. М.: Наука, 1988.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН С СИЛОВЫМ ЗАМЫКАНИЕМ НА СРЕДУ

Бурьян Ю. А., Сорокин В. Н.

Омский государственный технический университет;
burian7@mail.ru

Работы по созданию вибрационных, низкочастотных сейсмических источников большой мощности начались в Омском политехническом институте в восьмидесятых годах прошлого века в рамках проекта Вибрационное просвечивание Земли, которым руководил Анатолий Семенович Алексеев.

Одной из многочисленных разработок коллектива является вибрационный сейсмический источник СВ-100/20 (толкающее усилие — 100 тс, рабочий диапазон частот 4–20 Гц) [1]. Особенность конструкции этого источника заключается в том, инерционная масса уложена на «мягкие» пружины, опирающиеся на поддерживающие плиты. Силовой гидроцилиндр, установленный на излучающей плите, работая в «распор» в пульсаторном режиме, отталкивается от инерционной массы и создает усилие на грунтовое основание (патент РФ № 2240580).

В низкочастотной области рабочего диапазона источника фазы колебаний излучающей плиты, инерционной массы и поддерживающих стоек практически совпадают. В этой части рабочего диапазона, где соотношение амплитуд колебаний излучающей плиты и поддерживающих стоек минимально, движение элементов источника практически синфазно.

Разность фаз колебаний поддерживающих стоек и излучающей плиты составляет 10–12°, а инерционной массы и излучающей плиты 20–25°. Такое соотношение фаз колебаний обеспечивает наибольшую эффективность излучения сейсмических волн в этой области рабочего диапазона источника.

Несмотря на убывание амплитуд колебаний элементов источника с возрастанием частоты управляющего сигнала, соотношение амплитуд колебаний излучающей плиты и поддерживающих стоек монотонно возрастает практически в шесть раз и эффективность источника в результате этого не снижается.

Анализ поведения сейсмического источника с силовым замыканием на среду в сейсморазведочном диапазоне частот показал, что для сохранения заданного усилия на грунт необходимо увеличить расходные характеристики насосной станции и гидравлического распределителя.

Следует также отметить, что сейсмический источник СВ-100/20 способен излучать сигналы сложной формы, являющиеся суммой двух и более синусоидальных сигналов. Используя принцип силового замыкания на среду коллектив готов построить сейсмический источник с усилием 1000 тс.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бурьян Ю. А., Сорокин В. Н.** Гидромеханический источник сейсмических волн с силовым замыканием в системе инерционная масса — грунт // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2002. № 3. С. 81–88.

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ НЬЮТОНА И ГАУССА-НЬЮТОНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ И ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Васин В. В.

УрФУ, ИММ УрО РАН, Екатеринбург;
vasin@imm.uran.ru

Достаточно общей формой постановки обратной обратной задачи является нелинейное операторное уравнение первого рода

$$Au = f, \tag{1}$$

в гильбертовых пространствах U, F с дифференцируемым по Фреше оператором A, который не имеет непрервного обратного, что означает существенную некорректность задачи (1). Для устойчивой аппроксимации искомого решения уравнения (1) в условиях возмущенных данных предлагается двухэтапный метод построения регуляризованного семейства приближенных решений. На первом этапе применяется одна из схем метода Лаврентьева-Тихонова:

$$A(u) - f_\delta + \alpha(u - u^0) = 0, \qquad A'(u^0)^*(A(u) - f_\delta) + \alpha(u - u^0) = 0,$$
$$A'(u)^*(A(u) - f_\delta) + \alpha(u - u^0) = 0,$$

а на втором этапе для аппроксимации регуляризованного решения u_α привлекаются, соответственно, модифицированные итерационные процессы Ньютона и Гаусс-Ньютона [1, 2]:

$$u^{k+1} = u^k - (A'(u^0) + \beta I)^{-1}[A(u^k) - f_\delta + \alpha(u^k - u^0)],$$
$$u^{k+1} = u^k - (A'(u^0)^* A'(u^0) + \beta I)^{-1}[A'(u^0)^*(A(u^k) - f_\delta) + \alpha(u^k - u^0)],$$
$$u^{k+1} = u^k - (A'(u^0)^* A'(u^0) + \beta I)^{-1}[A'(u^k)^*(A(u^k) - f_\delta) + \alpha(u^k - u^0)],$$

где $||f - f_\delta|| \leqslant \delta, \beta \geqslant \alpha > 0$. При некоторых предположениях устанавливаются линейная скорость сходимости итерационных процессов и оценки погрешности двухэтапного регуляризующего алгоритма (РА). Обсуждаются приложения построенного РА к обратным задачам геофизики и теплового зондирования атмосферы.

Работа в УрФУ поддержана грантом Правительства РФ (Договор 11.G34.0064), а в ИММ частично поддержана УрО РАН (проект 12-П-15-2019) и РФФИ (проект 12-01-00106).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Vasin V. V.** Irregular nonlinear operator equation: Tikhonov regularization and iterative approximation // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2013. V. 21, N 1. P. 109–124.
2. **George S.** On convergence of regularized modified Newton's method for nonlinear ill-posed problems // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2010. V. 18, N 2. P. 133–146.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИСКРЕТНО-СТОХАСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ПРИБЛИЖЕНИЯ СЛОЖНО ВЫЧИСЛИМЫХ ФУНКЦИЙ

Войтишек А. В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
vav@osmf.sscc.ru

При решении достаточно широкого класса актуальных прикладных проблем возникают задачи численного приближения неявно заданных функций, причем получение отдельных (сеточных) значений этих функций является трудоемким (такие функции мы будем называть *сложно вычислимыми*). В таких задачах особую роль играют свойства *устойчивости* используемых численных аппроксимаций приближаемых функций.

В качестве примера рассмотрим *функциональные оценки метода Монте-Карло* [1], связанные с приближением решения $\varphi(x)$ интегрального уравнения Фредгольма второго рода $\varphi(x) = \int k(x', x)\varphi(x')\,dx' + f(x)$ с заданным ядром $k(x', x)$ и свободным членом $f(x)$ на некотором компактном множестве X. Алгоритм аппроксимации функции $\varphi(x)$ связан с введением сетки $\{x_i\}$ в X, приближением значений $\{\varphi(x_i)\}$ методом Монте-Карло с последующим восполнением, основанном на использовании соответствующего «устойчивого» аппроксимационного функционального базиса.

В «классической» теории функциональных алгоритмов метода Монте-Карло одной из основных является проблема оптимального сочетания числа узлов сетки $\{x_i\}$ и числа испытаний (траекторий обрывающихся цепей Маркова) в каждом узле; соответствующие асимптотические результаты для равномерных сеток $\{x_i\}$ получены в [1]. Однако на практике число узлов сетки $\{x_i\}$ не может быть слишком большим и возникает естественная идея использования *адаптивных сеток*, а конкретнее, сеток, полученных с помощью *рандомизированных алгоритмов самообучения Т. Кохонена* [2]. В данной работе представлены особенности реализации и исследования функциональных алгоритмов для случаев равномерных и адаптивных сеток; при этом использованы новые аналитические подходы к описанию адаптивных сеток из работы [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Войтишек А. В.** Функциональные оценки метода Монте-Карло. Новосибирск: НГУ, 2007.
2. **Kohonen T.** Self-organizing maps. Springer, 2001.
3. **Войтишек А. В., Хмель Д. С.** Аналитический подход к изучению граничного эффекта в одномерном рандомизированном численном алгоритме построения адаптивных сеток // Журн. вычислительной математики и математической физики. 2013. Т. 53, № 2. С. 195–208.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ MPI/OPENMP РЕАЛИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ АСИНХРОННОЙ РАБОТЫ С ПОТОКАМИ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ СХЕМЫ РАСЩЕПЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОПЕРЕНОСА

Воронин К. В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
kvoronin@labchem.sscc.ru

В работе представлены результаты численного исследования параллельного алгоритма реализации векторных схем расщепления на основе технологий MPI и OpenMP с асинхронной работой с потоками для решения трехмерных задач теплопереноса. Проводится сравнение параллельного алгоритма, использующего только MPI, и "гибридного" MPI/OpenMP алгоритма с выделением т. н. потоков-"почтальонов". Основная идея MPI/OpenMP алгоритма заключается в выделении на каждом из узлов с общей памятью одного потока, отвечающего за выполнение обменов данными между процессами. Для реализации алгоритма часть изначальных программных циклов были разделены на несколько циклов меньшего "размера"(chunks). Таким образом, на каждом процессе пока потоки-"решатели" обрабатывают один "chunk", "почтальон" пересылает предыдущие посчитанные "chunks" на другие процессы. Тем самым достигается одновременная пересылка и обработка данных в одном большом цикле.

Исследование эффективности такого подхода было проведено для трехмерной схемы расщепления в смешанном методе конечных элементов для задачи теплопереноса [1, 2]. Одной из характерных особенностей данной схемы является то, что благодаря использованию параллелепипедальных сеток и конечных элементов низкого порядка реализация данной схемы на каждом временном шаге сводится к выполнению (в несколько дробных шагов) независимых прогонок вдоль координатных линий сетки. В настоящее время подобные векторные схемы расщепления в смешанном МКЭ применяются, например, для моделирования геотермальных процессов в литосфере. Результаты проведенного исследования позволяют заключить, что использование "гибридного" подхода с выделением потоков-"почтальонов" из-за возникновения дополнительных временных затрат не приводит к существенному повышению эффективности алгоритма по сравнению с "чистой" MPI реализацией для рассматриваемого класса схем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 13-01-00019, № 12-01-31046 и Интеграционного проекта СО РАН № 76.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Воронин К. В., Лаевский Ю. М.** О схемах расщепления в смешанном методе конечных элементов // Сиб. журн. вычисл. математики. 2012. Т. 15, № 2. С. 101–107.
2. **Воронин К. В., Лаевский Ю. М.** Схемы расщепления в смешанном методе конечных элементов решения задач теплопереноса // Матем. моделирование. 2012. Т. 24, № 8. С. 109–120.

ПРИМЕНЕНИЕ r-РЕШЕНИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ ФОРМЫ ВОЛНЫ ЦУНАМИ

Воронина Т. А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
vta@pmzg.sscc.ru

В работе рассматривается обратная задача математической физики для восстановления начальной формы волны цунами по измерениям колебаний уровня свободной поверхности, обусловленных пришедшей волной в серии удаленных приемников. Распространение волн описывается в рамках линейной теории мелкой воды. Аппроксимация задачи осуществляется на основе конечно-разностного подхода. Рассматриваемая задача относится к классу некорректных (условно-корректных) задач. Для решения этой некорректной задачи применяется подход, использующий r-решения [2]. На основе SVD-анализа полученной в результате дискретизации задачи линейной системы строится обобщенное нормальное r-решение, которое и является восстановленной приближенно первоначально формой волны цунами. Зависимость качества этого приближенного решения от количества и способа расположения приемников и уровня шумов изучается путем численного моделирования. Регуляризация оператора осуществляется путем сужения оператора на подпространство, являющееся линейной оболочкой первых r-правых сингулярных векторов. Этот подход в применении к обратной задаче цунами был впервые в мировой практике предложен в 1998 году Т. А.Ворониной и В. А. Чевердой в работе [1] для случая постоянного дна океана. В последующих работах (см. например [3]) был представлен алгоритм решения обратной задачи цунами, работающий с произвольной функцией дна, внутренними и внешними границами. Предлагаемый подход, при котором решение строится на основе анализа свойств оператора, определяемых выбранной системой наблюдения и реальной батиметрией, позволяет получить максимально надёжный результат восстановления для заданных условий.

Работа проводилась при частичной поддержке РФФИ по гранту № 12-07-00406, Интеграционного проекта СОРАН-ДВО № 37, Интеграционного проекта СОРАН № 117.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Voronina T. A., Tcheverda V. A.** Reconstruction of tsunami initial form via level oscillation // Bull. Nov. Comp. Center Math. Model. in Geoph. 1998. V. 4. P. 127–136.
2. **Чеверда В. А., Костин В. И.** r-псевдообратный для компактного оператора // Сибирские электронные математические известия. 2010. Т. 7. С. 258–282.
3. **Воронина Т. А.** Применение r-решений для восстановления первоначальной формы волны цунами // Вычисл. мет. и программ.: Новые вычислительные технологии. М.: Изд. МГУ, 2013. Т. 14, С. 166–174.

СИБИРСКИЙ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЙ ЦЕНТР СО РАН
(вычислительные ресурсы, прикладные задачи, направления развития)

Глинский Б. М., Кучин Н. А., Ломакин С. В., Черных И. Г.

*Институт вычислительной математики
и математической геофизики со ран, Новосибирск;*
gbm@sscc.ru, kuchin@sscc.ru, sojeur@sscc.ru, chernykh@ssd.sscc.ru

Организатором создания Центра Коллективного Пользования Сибирский суперкомпьютерный центр СО РАН (ЦКП ССКЦ СО РАН), его научным руководителем и первым председателем Совета по супервычислениям при Президиуме СО РАН был академик А. С. Алексеев.

Основными задачами ЦКП ССКЦ являются:

1) обеспечение работ институтов СО РАН и университетов по математическому моделированию высокопроизводительными вычислительными ресурсами;

2) организация обучения специалистов СО РАН, студентов и аспирантов методам параллельных вычислений на суперкомпьютерах.

Архитектурные особенности ЦКП ССКЦ. В настоящее время в ССКЦ имеются два кластера, которые работают под управлением общей очереди заданий. Один из кластеров построен на основе вычислительных узлов с Intel Xeon (архитектура MPP), пиковая производительность 30 TFlop/s, программирование с применением MPI и OpenMP, другой с гибридным расширением на GPU NVIDIA Tesla M2090 (архитектура GPGPU), пиковая производительность 84 TFlop/s, параллельное программирование при помощи C/C++ CUDA и OpenCL. Более подробно архитектура кластеров описана на сайте ССКЦ http://www2.sscc.ru.

Направления развития ЦКП ССКЦ. Необходимость наращивания мощности ЦКП ССКЦ обусловлена моральным старением оборудования и возрастающими потребностями институтов Сибирского отделения в использовании современных вычислительных средств. Планируется что следующий кластер будет строиться на серверах HP SL250 Gen8 с двумя восьми ядерными процессорами последнего поколения IntelR XeonR Processor E5-2670, с ускорителями Intel Phi и/или графическими акселераторами NVIDIA Kepler K20. Необходимо наращивать объём и быстродействие внешней дисковой памяти. Для многих задач, включая задачи Биоинформатики, быстродействия существующей кластерной файловой системы IBRIX уже недостаточно и требуется параллельная файловая система и использование твердотельных дисков. Для этого требуется развитие инфраструктуры, увеличение мощностей по энергопотреблению и холоду. Кардинальным решением видится комплексное проектирование инфраструктуры, а не поэтапное её развитие.

Обучение. При поддержке специалистов NVIDIA на вычислительных ресурсах кластера в апреле 2012 года организована трёхдневная школа по технологии NVIDIA CUDA, в которой прошли обучение 118 слушателей из институтов СО РАН, ВУЗов и фирм, Программа и учебные материалы школы размещены на страничке http://www2.sscc.ru/Seminars/Nvidia%20Cuda-1.htm В декабре 2012 года проведена школа по параллельному программированию гибридных кластеров, см. http://www2.sscc.ru/Seminars/Shool-2012.htm Организован регулярный семинар «Архитектура, системное и прикладное программное обеспечение кластерных суперЭВМ» на базе ССКЦ ИВМиМГ СО РАН, кафедры Вычислительных систем НГУ и Центра Компетенции по высокопроизводительным вычислениям СО РАН - Intel, Презентации семинаров размещаются на страничке http://www2.sscc.ru/Seminars/NEW/Seminars.htm

Решение прикладных задач. ЦКП ССКЦ СО РАН предоставляет вычислительные и консалтинговые услуги 19 академическим институтам Сибирского отделения и 3 университетам, более 160 пользователей используют ресурсы центра для решения своих задач. Основными пользователями центра являются научные сотрудники СО РАН. В 2012 году их задачи получили 88% машинного времени, университеты использовали 12.8%. Отметим что задачи Биоинформатики использовали около 33%. На части кластера НКС-30Т развернута, основанная на KVM, виртуализованная вычислительная среда, использующаяся для обработки данных физических экспериментов в физике высоких энергий, осуществляемых в ИЯФ СО РАН. Обмен данными между ИЯФ СО РАН и ССКЦ осуществляется через суперкомпьютерную сеть ННЦ (10 Гбит/с).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 13-07-00589, Междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 130, № 39.

О РАЗРАБОТКЕ И ОПТИМИЗАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ ИЗ НИХ

Голушко С. К.

Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН, Новосибирск;
s.k.golushko@gmail.com

Композиционные материалы (КМ) — это сложные гетерогенные системы, в которых армирующий наполнитель отвечает за уровень упруго-прочностных характеристик, а матрица, обеспечивая их совместную работу, определяет способность композита сопротивляться деформациям. Широкое внедрение композиционных материалов обусловлено комплексом их уникальных свойств.

Однако высокие удельные характеристики волокнистых композитов, выявленные при простейших испытаниях образцов на растяжение-сжатие, изгиб и кручение не гарантируют достаточно надежной работы изготовленных из них конструкций в условиях сложного термосилового нагружения. Физико-механические характеристики армирующих волокон на порядки отличаются от соответствующих характеристик связующего материала, поэтому изменение структуры армирования в конструкции может приводить к существенным изменениям ее несущей способности, а также весовых и экономических характеристик.

В рамках феноменологического подхода армированные материалы моделируются однородной анизотропной средой с эффективными физико-механическими свойствами. Механические параметры материала определяются, при этом, из экспериментов, но поскольку КМ создается, как правило, одновременно с изготовлением конструкции, то его характеристики будут в общем случае функциями координат, что требует проведения серий экспериментов для каждой точки конструкции, что практически невозможно реализовать.

Это выявляет необходимость описания свойств КМ с использованием структурного подхода, когда физико-механические характеристики композита выражаются через характеристики его компонентов и структурные параметры армирования. В результате, по известным средним напряжениям и деформациям КМ, удается восстановить напряжения и деформации в связующем и армирующих элементах. Это открывает широкие перспективы и возможности для улучшения свойств композитных конструкций.

Рассмотрен ряд структурных моделей слоисто-волокнистых композитов, учитывающих особенности их реальной структуры, поставлены и решены новые краевые задачи расчета напряженно-деформированного состояния композитных элементов конструкций различных геометрических форм. Выполнено комплексное исследование влияния структурных и механических параметров композиционных материалов на поведение таких конструкций.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 13-01-12032-офи_м.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ВИБРОПРОСВЕЧИВАНИЮ ЗЕМЛИ

Григорюк А. П., Брагинская Л. П.

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск; and@opg.sscc.ru

Рассмотрены вопросы организации эффективного взаимодействия и доступа к научной информации пользователей, работающих в области вибросейсмических исследований и смежных областях. Представлены архитектура, интерфейс и основные пользовательские сервисы информационной системы (ИС) “Активная сейсмология”, которая охватывает все этапы исследований в области Активной сейсмологии: предоставление доступа к экспериментальным данным, вычислительный анализ экспериментальных данных, публикацию результатов научных исследований и возможность их обсуждения профессиональным сообществом.

ИС включает информационно-вычислительную систему “Вибросейсмическое просвечивание Земли” и сервисы для управления публикациями и организации социальной сети. Также на страницах сайта представлена информация об организациях, занимающихся научными исследованиями в области активной сейсмологии с применением мощных вибрационных источников, конференциях по данной тематике и проектах с участием ИВМиМГ СО РАН.

Предоставленные в открытом доступе экспериментальные данные и предлагаемые пользователям сервис ИС существенно расширили географию и число исследователей, использующих экспериментальные данные для развития методов обработки и интерпретации вибросейсмических данных, математического моделирования и т. п. На сегодняшний день более 50 зарегистрированных участников публикуют свои статьи и участвуют в обсуждении работ коллег. В ИС представлены все Российские научные организации, работающие в данной проблематике. В настоящее время ресурс доступен по адресу http://opg.sscc.ru.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 09-07-00515, 12-05-00786) и проектов СО РАН № 54, № 4.9-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лопатенко А.С.** Современные научные информационные системы. Перспективы использования. http://derpi.tuwien.ac.at/ andrei/papers/dl2001-1.htm
2. **Активная** сейсмология с мощными вибрационными источниками / Отв. ред. Г. М. Цибульчик. Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал “Гео” Издательства СО РАН, 2004.
3. **Брагинская Л. П., Григорюк А. П.** Информационная система для комплексной поддержки научных исследований в области активной сейсмологии // Вестник КемГУ. 2012. Т. 4. С. 43–48.

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ WED В ОБРАТНОМ ВРЕМЕНИ

Данилин А. Н., Ерохин Г. Н., Пестов Л. Н.

Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград;
adanilin@kantiana.ru

Рассматривается задача исключения искажающего влияния ВЧР с помощью процедуры WED (Wave Equation Datuming). Задача заключается в пересчете волнового поля (по источникам и приемникам) со свободной границы $z = 0$ на некоторый уровень приведения $z_0 > 0$ [1, 2] при условии, что в полосе $z \in [0, z_0]$ среда известна, при $z > z_0$ — неизвестна. В работе описывается процедура, основанная на продолжении волнового поля в обратном времени [3]. Для удаления возникающих при этом волн-помех используются годографы отраженных волн от виртуальной границы, расположенной чуть ниже уровня приведения и введение искусственного поглощающего слоя вместо свободной границы. Представлены результаты численного моделирования для двумерной модели среды, характерной для шельфовой зоны. В нижней части модели имеется рефлектор, содержащий дифракторы (рефлектор и дифракторы в процессе пересчета волнового поля считаются неизвестными). В результате численного моделирования получено волновое поле от этих объектов на уровне приведения, свободное от влияния неоднородностей, расположенных выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Berryhill J. R.** Wave-equation datuming // Geophysics. 1979. V. 44. P. 1329–1344.
2. **Кпаербоут Д. Ф.** Сейсмическое изображение земных недр. М.: Недра, 1989.
3. **Петрашень Г. И., Нахамкин С. А.** Продолжение волновых полей в задачах сейсморазведки. Л.: Наука, 1973.

ПРИБЛИЖЕННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЕКТОРНОГО ПОЛЯ И ЕГО СИНГУЛЯРНОСТЕЙ В РЕФРАКЦИОННОЙ ТОМОГРАФИИ

Деревцов Е. Ю., Мальцева С. В.

Институт математики им. С. Л. Соболева, Новосибирск;
Новосибирский государственный университет;
dert@math.nsc.ru, sv_maltseva@mail.ru

Задачи томографии векторных и тензорных полей, поставленные в том числе и для сред с рефракцией [1], в последние годы вызывают повышенный интерес исследователей. Области приложений подобных задач от астрономии, геофизики и промышленности до биофизики и медицины. Таковы задачи ультразвукового зондирования потоков жидкости или газа, доплеровская томография, шлирен-томография. Цель ряда других формулировок состоит в определении анизотропных свойств сред, микро-объектов, пород в Земле. Введение в модель явления рефракции подразумевает, что в томографических моделях учитывается эффект искривления луча, что приводит к существенному усложнению математических инструментов, с одной стороны, а с другой — серьезно ограничивает перечень приближенных методов, пригодных для решения задачи.

Хорошо известный способ решения задачи вычислительной томографии состоит в использование формул обращения [2], которые, в различных сочетаниях и последовательностях, включают в себя такие операторы, как обратная проекция, потенциал Рисса, преобразования Фурье, Гильберта. Возникает вопрос, можно ли для восстановления не только скалярных, но и векторных полей, а также их разрывов, воспользоваться известными формулами обращения, заменив в них используемые операторы другими, построенными с учетом искривления лучей? Мы предлагаем, основываясь на эмпирическом подходе, модификации известных формул обращения и их численное исследование.

Существуют важные естественно-научные и технические области, в которых объекты описываются величинами, терпящими разрыв. Такие объекты возникают и при исследованиях с использованием дистанционных методов и, в частности, в томографии. Часто в объектах такого рода интересны не столько сами они, сколько местоположение точек разрыва. Для их локализации мы предлагаем использовать не только модификации томографических операторов, но и ряд операторов тензорного анализа. Приводятся результаты тестирования.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проекты № 11-07-00447, 120100074-а, 12-01-31178-мол_а), СО РАН (проект совместных фундаментальных исследований СО РАН и УрО РАН № 32).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шарафутдинов В. А.** Интегральная геометрия тензорных полей. Новосибирск: Наука, 1993.
2. **Наттерер Ф.** Математические аспекты компьютерной томографии. М.: Мир, 1990.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО СЕТОЧНЫМ ДАННЫМ

Егоршин А. О.

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск;
egorshin@math.nsc.ru

Математическое моделирование и прогнозирование поведения сложных динамических процессов в некоторых областях (природоведения, науки, техники, обществоведения, биологии, медицины) осуществляется при большом уровне ошибок и на разреженных сеточных данных. Алгебраические методы идентификации в этих условиях не работоспобны [1]. Наиболее адекватным подходом в этих условиях является кусочно–линейная вариационная дифференциальная аппроксимация исследуемых процессов на основе линейных дифференциальных уравнений (ДУ) вида $\sum_0^n y^{(i)}(t)a_i = 0$, $t \in I_T = [0, T]$ **(1)**. Их дискретизация на сетке есть разностные уравнения (РУ) вида $\sum_0^n \hat{y}_{i+k}\alpha_i = 0$ при $k = \overline{0, L-n}$ **(2)**.

Пусть $\mathbf{y} = \{y_i\}_0^L \in E^{L+1} = E$— $(L+1)$-вектор последовательности отсчетов $y_i = y(t_i)$, $t_i = ih$ решения некоторого ДУ на равномерной сетке $I_h = [0, L]$ интервала I_T. Здесь $T = Lh$. Решается следующая задача вариационной идентификации (ВИ) [1]: минимизировать $J = \|\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}\|^2$ **(3)** при условии, что последовательность $\hat{\mathbf{y}} = \{\hat{y}_i\}_0^L$ удовлетворяет РУ (2). Решив задачу (3), (2) и найдя коэффициенты $\alpha = |\bar{\alpha}^T, 1|^T$ РУ (2), придем к задаче его дифференциальной аппроксимации — вычисления коэффициентов $a = |\bar{a}^T, 1|^T$ ДУ (1) из α.

Задача дискретизации ДУ (1) — вычисления коэффициентов α РУ (2) из a — решается либо разностными формулами, либо точными формулами на основе теоремы Гамильтона–Кэли: $\bar{\alpha} = -e^T\Phi^k F_k^{-1}$, где $F_k = \{e^T\Phi^{i-n}\Phi^k\}_0^{n-1}$, $\Phi = \exp(\mathcal{A}h)$, а $\mathcal{A} = \mathcal{A}(\bar{a})$— матрица системы $\dot{x} = \mathcal{A}x$, $y = e^T x$ [2]. Задача же дифференциальной аппроксимации («дедискретизации») РУ (2), полученного из ВИ, значительно сложнее. Необходимо обратить формулу дискретизации. Например, $\bar{\alpha} = -e^T F_0^{-1}(\bar{a})$. Эта задача не однозначна и требует регуляризации.

Показано, что ВИ дает метод дискретизации ДУ. Он эквивалентен аналитическому методу, но не требует знания ДУ (1). Предлагается и способ «дедискретизации»: получение ДУ (1) из РУ (2). Это позволяет, в частности, осуществить интерполяцию исходных данных $\mathbf{y}$ на более мелкой сетке.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-01-00329) и Сибирского отделения РАН (междисциплинарный проект № 80).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Егоршин А. О.** Об одной вариационной задаче кусочно-линейной динамической аппроксимации // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2012. Вып. 4. С. 30–45.
2. **Егоршин А. О.** О дискретизации линейных дифференциальных уравнений // Вестник ЮУрГУ. Математическое моделирование и программирование. 2012. Т. 40, вып. 14. С. 59–72.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

Ефимова А. А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск

Работа направлена на исследование нелинейных процессов формирования турбулентного спектра в замагниченной плазме под действием мощного электронного пучка. Для оценки адекватности основных теоретических моделей, используемых для описания плазменной турбулентности в магнитном поле, а так же для выбора оптимальных режимов пучково-плазменного взаимодействия как с точки зрения эффективного нагрева плазмы, так и с точки зрения генерации электромагнитного излучения в пучково-плазменных экспериментах необходимо проводить численное моделирование. В численных расчетах выбирались параметры пучка и плазмы характерные для экспериментов по нагреву плазмы в открытой ловушке ГОЛ-3 (ИЯФ СО РАН). Исследования проводились с помощью двумерной численной модели, основанной на методе частиц в ячейках. Рассматривались различные тестовые задачи: установление температуры в плазме без пучка, задача о пучковой неустойчивости, возникновение модуляции плотности. Выполнен дисперсионный анализ задачи в полной гидродинамической постановке. На основе этих тестовых задач проведены исследования численной сходимости решения в зависимости от счетных параметров, установлено оптимальное количество частиц в ячейках, получено хорошее соответствие с аналитическими решениями. Эти задачи очень ресурсоемки, поэтому для расчеов используется суперЭВМ.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ильин В. П., Свешников В. М., Скопин И. Н.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск; Новосибирский государственный университет

Повышение эффективности деятельности разработчиков математических моделей требует использования организационно-технологической поддержки, обеспечивающей корректность выполнение этапов жизненного цикла моделирования. Она связывается с предоставлением средств отслеживания работ, с указанием вариантов этапных решений и условиями предпочтительности вариантов, с показом связей между этапами, зависимостей по данным и компонентам, подготавливаемым на одном этапе для других. Это способствует упорядочиванию работ, планированию контрольных точек, определению требуемых проверок в контрольных точках. Связи, представленные визуально, регламентируют разработку, определяют допустимые для проекта операционные маршруты деятельности разработчиков.

Технологичность моделирования достигается при условии, что компоненты визуального представления этапных работ показывают автоматизируемую деятельность и ее атрибуты (статус, ссылки на документы и пр.), отражают связи между работами, обеспечивают осуществимость проверок соответствия результатов целям моделирования, определяют необходимость корректировки пройденных этапов или повторения работ.

Корректировки нуждаются в специальной поддержке: в средствах сохранения результатов в сочетании со средствами сопоставления результатов разных итераций. Такая поддержка необходима также, когда моделирование связано с выполнением серий расчетов, отражающих различные варианты условий и факторов, влияющих на результаты, в частности, для обратных оптимизационных задач.

Каждый из шагов моделирования связан с использованием подходящих инструментов. Разработчик модели выбирает их исходя из особенностей решаемой задачи. Проблема выбора — его неоднозначность и необходимость согласования используемых средств по данным. Для ее решения полезно организовать автоматизированную проверку допустимости и предпочтительности вариантов на основе определенных критериев, учитывающих зависимости по данным, историю предыдущих действий и других параметров. Согласование по данным достигается использованием спусковых предикатов, истинность которых указывает на корректность использования средства для обработки конкретных данных.

Приведенные положения представлены в концепции разрабатываемой в настоящее время базовой среды моделирования БСМ. Отличительными особенностями проекта являются эволюционность развития, адаптивность к перспективным вычислительным архитектурам и к решаемым задачам, открытость для расширения, в том числе и сторонними разработчиками.

НЕКОТОРЫЕ ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОРОУПРУГОСТИ

Имомназаров Х. Х.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
imom@omzg.sscc.ru

В данной работе рассмотрены прямые и обратные задачи для системы уравнений пороупругости. Показана, что система динамических уравнений пороупругости в терминах скоростей, напряжений и порового давления имеет t-гиперболический вид. Обсуждается аналог задачи Миндлина для статической системы пороупругости. Рассматриваются одномерные прямые и обратные задачи для системы квазилинейных дифференциальных уравнений частных производных, возникающих в теории пороупругости в случае, когда происходит потеря энергии обусловленная нелинейным коэффициентом трения (проницаемости). Доказана дифференцируемость по Фреше оператора прямой задачи.

Работа проводилась при частичной поддержке РФФИ (грант No. 12-01-00773, 13-01-00689).

ОДНОМЕРНАЯ ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ КВАЗИЛЕНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПОРОУПРУГОСТИ

Имомназаров Х.Х., Коробов П.В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
imom@omzg.sscc.ru

Рассматривается система квазилинейных дифференциальных уравнений в частных производных, возникающих в теории пороупругости в случае, когда происходит потеря энергии, обусловленная нелинейным коэффициентом трения (проницаемости). При этом считаем, что коэффициент сдвига является гладкой функцией от деформации. Для этой системы рассматривается прямая и обратная задача. Доказаны локальные теорема существования и единственности классического решения рассмотренной прямой и обратной задачи. А также получена оценка условной устойчивости решения обратной задачи. Случай, когда в системе отсуствует диссипация энергии рассмотрена в [1].

Работа проводилась при частичной поддержке РФФИ (грант № 12-05-31216).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kaltenbacher B.** Identification of nonlinear coefficients in hyperbolic PDEs, with application to piezoelectricity // Optimal control of coupled systems of PDEs / Ed. by K. Kunisch, G. Leugering, J. Sprekels, F. Troltzsch. Springer, 2006. V. 155. P. 193–216.

ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОФИЗИКИ

Кабанихин С.И.[1,2,3], **Михайленко Б.Г.**[1]

[1] *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;*
[2] *Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск;*
[3] *Новосибирский государственный университет;*
kabanikh@math.nsc.ru, mikh@sscc.ru

В докладе изложены некоторые результаты по теории и численным методам решения прямых и обратных (и некорректных) задач геофизики, в основном, базирующиеся на работах сотрудников отдела математических задач геофизики ИВМиМГ СО РАН, а также его основателей академиков М. М. Лаврентьева и А. С. Алексеева. В современной науке обратные и некорректные задачи стремительно развиваются почти во всех основных разделах математики (алгебра, анализ, геометрия, интегральные и дифференциальные уравнения, функциональный анализ, теория вероятностей, информатика). С другой стороны, почти во всех научных дисциплинах (физика, геофизика, химия, биология, лингвистика, психология, экономика, медицина) именно обратные задачи представляют наибольший интерес. Искомые коэффициенты в основных математических уравнениях естествознания описывают важнейшие свойства окружающего мира, такие как плотность и теплопроводность вещества, электромагнитные, акустические и упругие параметры исследуемых сред и многое другое. Будут рассмотрены прямые и обратные задачи для уравнений, лежащих в основе гравиразведки (уравнения Лапласа и Пуассона), электроразведки (система уравнений Максвелла), сейсморазведки (система уравнений упругости).

DETERMINING THE EFFECTIVE ACOUSTIC IMPEDANCE OF A MULTIPERFORATED PLATE THROUGH SOME VELOCITY MEASUREMENTS. AN INVERSE PROBLEM

Kabanikhin S.[1], **Shishlenin M.**[1], **Popie V.**[2,4], **Tordeux S.**[3,4]

[1]*Russian Academy of Sciences;*
[2]*ONERA, France;*
[3]*Projet Magique-3D, INRIA Bordeaux Sud-Ouest;*
[4]*LMA-UMR CNRS 5142, Université de Pau et des Pays de l'Adour;*
vanessa.mattesi@inria.fr

In the aeronautic industry, multiperforated plates such as liners are common devises to reduce the acoustic noise generated by the aircrafts. A common approach for the numerical simulation of such devices, located at the boundary of the computational domain, is to replace them by an approximate boundary condition (see for example [1, 2] or [3]). This condition relates the acoustic pressure to the acoustic velocity of the fluid. However, all these studies are limited to restrictive hypothesis about the physical phenomenon which occurs close to the multiperforated plates.

In this talk, we will adopt another point of view. We will posed this problem as an inverse problem. We will propose an algorithm which allows to determine the impedance coefficient. Some theoretical result about the convergence of this algorithm will be presented. This presentation will be illustrated by some numerical simulations.

REFERENCES

1. **Bendali A., Fares M. B., Piot E., Tordeux S.** Mathematical justification of the Rayleigh conductivity model for perforated plates in acoustics // SIAM J. Applied Mathematics. 2013. V. 73, N 1. P. 438–459.
2. **Eldredge J. D., Bodony D. J., Shoeybi M.** Numerical investigation of the acoustic behavior of a multiperforated liner // Proc. of the 13th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. AIAA Paper, 2013. V. 3683. P. 21–23.
3. **Fok V. A.** Dokl. AN. 1941.

ПРЯМЫЕ ЗАДАЧИ ЛАЗЕРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ И ОБЛАЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

Каблукова Е. Г.[1]**, Каргин Б. А.**[2]

[1]*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;*
[2]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск*

В реальных условиях микрофизические и оптические характеристики атмосферы испытывают случайно-неоднородные вариации во времени и пространстве. Поэтому прямые и обратные задачи лазерного зондирования атмосферы предпочтительно рассматривать в стохастических формулировках, при которых исходные оптические параметры задаются в виде случайных функций пространства и времени. Наиболее подходящим для решения уравнения переноса излучения со случайными параметрами является метод Монте-Карло.

В данной работе методом Монте-Карло вычислена световая дымка от импульсного лидара наземного базирования в оптически неоднородной по высоте безоблачной атмосфере для различных оптико-геометрических параметров эксперимента. Особенностью расчетов является статистическая неоднородность по вертикали коэффициента аэрозольного рассеяния в оптической модели безоблачной атмосферы. Выполнен расчет корреляций временного распределения интенсивности эхо-сигнала и коэффициентов аэрозольного рассеяния.

Выполнено моделирование лидарного сигнала, отраженного нижней границей жидкокапельного облака для лидара наземного базирования. Эхо-сигналы от облаков вычислены в предположении статистической вариации высоты нижней границы облачности. Численно определены коэффициенты корреляции временного распределения эхо-сигнала и высоты нижней границы облачного слоя. В расчетах использованы локальные оценки [1] и их эффективные модификации [2].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 12-01-00034), интеграционного проекта СО РАН № 52, программы РАН 15.9-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Марчук Г. И., Михайлов Г. А., Назаралиев М. А., Дарбинян Р. А., Каргин Б. А., Елепов Б. С.** Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. М.: Наука, 1976.

2. **Каблукова Е. Г., Каргин Б. А.** Эффективные дискрнтно-стохастические модификации локальных оценок метода Монте-Карло для задач лазерного зондирования рассеивающих сред // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17, № 3. С. 70–82.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РАДОНА С ПОСЛОЙНОЙ СВЕРТКОЙ

Казанцев И. Г.

Институт вычислительной математики
и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
kig@ooi.sscc.ru

Рассматривается трехмерное лучевое преобразование Радона с послойными искажениями в виде свертки (ЛПРПС), являющееся моделью формирования данных в комптоновской позитронной эмиссионной томографии и трансмиссионной электронной микроскопии. Для вектора из $\mathbb{S}^2$ направления проекции, параметризованного сферическими координатами (α, β), $\alpha \in [0, 2\pi)$, $\beta \in [0, \pi)$, обозначим $f^{\alpha,\beta}$ — результат вращения объекта f вокруг начала координат $Oxyz$. Трехмерное ЛПРПС с известным ядром k определяется в виде набора проекций $g_{\alpha,\beta}(x, y)$, отображающихся на плоскости xOy

$$\mathcal{P}^k_{\alpha,\beta}[f](x, y) = \int dz \int\int f^{\alpha,\beta}(x', y', z)k(x - x', y - y', z)dx'dy',$$

и в частотной области имеет вид: $G_{\alpha,\beta}(\eta_1, \eta_2) = \int F^{\alpha,\beta}(\eta_1, \eta_2, z)K(\eta_1, \eta_2, z)dz$, где $G_{\alpha,\beta}$ —- двумерное преобразование Фурье проекции $g_{\alpha,\beta} \equiv \mathcal{P}^k_{\alpha,\beta}[f]$; $F^{\alpha,\beta}$ и K — преобразования Фурье сечений плоскостью $z = \mathrm{const}$ вращательной версии объекта $f^{\alpha,\beta}$ и ядра k соответственно.

Метод обращения конструируется как обратное проецирование с послойной компенсационной фильтрацией. Для каждой проекции $g_{\alpha,\beta}$ формируется обобщенная обратная проекция из набора слоев вдоль оси z, являющихся результатом деконволюции в частотной области (η_1, η_2) фильтром $K^{-1}(\eta_1, \eta_2, z)$ (в предположении, что обратный $\mathcal{K}_z^{-1}$ $(\mathcal{K}_z^{+})$ существует) для всех z:

$$u_{\alpha,\beta}(x, y, z) = \mathcal{F}_2^{-1}[G_{\alpha,\beta}(\eta_1, \eta_2)K^{-1}(\eta_1, \eta_2, z)].$$

Интегрирование по сфере $\mathbb{S}^2$ дает суммарное изображение $\mathcal{B}[u]$

$$\begin{aligned} w(x, y, z) = \mathcal{B}[u] = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} u_{\alpha,\beta}\bigl(&z \sin\beta - \cos\beta(y \sin\alpha + x \cos\alpha), \\ &y \cos\alpha - x \sin\alpha,\ z \cos\beta - \sin\beta(y \sin\alpha + x \cos\alpha)\bigr) \sin\beta\, d\alpha\, d\beta. \end{aligned}$$

Пусть $b(x, y, z) = \mathcal{BP}[f]$ — суммарное изображение классического преобразования Радона $\mathcal{P}$ без послойных искажений. Применяя метод стационарной фазы, доказывается, что при наличии полных данных, суммарные изображения $b(x, y, z)$ и $w(x, y, z)$ асимптотически равны, т. е. $\mathcal{B}\mathcal{K}_z^{-1}\mathcal{P}^k[f] \approx \mathcal{BP}[f]$. Этот результат сводит задачу Радона с послойными искажениями в виде свертки к классическому преобразованию Радона.

Работа проводилась при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-07-00068).

КОНФОРМНЫЕ ОТОБРАЖЕНИЯ, АППРОКСИМАНТЫ ПАДЕ И ПРИМЕР ТЕЧЕНИЯ СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ

Карабут Е. А., Кужугет А. А.

Институт гидродинамики СО РАН, Новосибирск;
eakarabut@gmail.com, agisight@gmail.com

Полуаналитические методы (или методы численного исследования степенных рядов) занимают промежуточное место между аналитическими и численными методами. Помимо высокой точности вычислений полуаналитические методы в некоторых случаях позволяют получить уникальную аналитическую информацию, которая не может быть получена по отдельности ни численными, ни аналитическими методами [1].

Полуаналитическими методами решается плоская нестационарная задача о движении идеальной несжимаемой жидкости со свободной границей в точной нелинейной постановке. В виде степенного ряда по степеням времени ищется конформное отображение единичного круга, расположенного во вспомогательной плоскости μ, на область течения. Найдено 600 членов ряда в рациональных числах и 1100 членов ряда в вещественных числах с длиной мантиссы 1000 десятичных знаков. Найденные степенные ряды обрабатываются и суммируются с использованием аппроксимантов Паде, теста Домба–Сайкса, диаграмм Паде, алгоритмов ускорения сходимости.

Найдена замена переменных в степенных рядах, после применения которой образы точек, равномерно расположенных на единичной окружности в плоскости μ, оказываются также равномерно расположенными на свободной поверхности. Это позволяет строить форму свободной поверхности даже в случае ее сильной деформации. В расчетах кривизна свободной поверхности достигает 10^{40}. Исследованы особые точки решения. Осуществлено сравнение полуаналитических методов с численным решением операторных уравнений Дьяченко [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Karabut E. A.** Semi-analytical investigation of unsteady free-boundary flows // Intern. Ser. Numer. Math. 1991. V. 99. P. 215–224.
2. **Дьяченко А. И.** О динамике идеальной жидкости со свободной поверхностью // Докл. АН. 2001. Т. 376, № 1. С. 27–29.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИННОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ДОННЫХ ОСАДКОВ

Карчевский А. Л.[1], Дучков А. А.[2]

[1]*Интитут математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск;*
[2]*Институт нефтегазовой геологии*
и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН;
karchevs@math.nsc.ru, DuchkovAA@ipgg.nsc.ru

В работе предложена математическая модель для определения теплового потока из недр Земли. Задача была сведена к решению обратной задачи по определению коэффициента теплопроводности на интервале внедрения температурного зонда (удельная теплоемкость считалась известной). После этого тепловой поток находится путем решения прямой задачи.

Был проведен ряд численных экспериментов для определения факторов, влияющих на ошибку определения теплового потока. Основным фактором является присутствие длиннопериодных гармоник, период которых превышает интервал мониторинга. Априорное знание таких гармоник позволяет вычислять поправки к найденной величине теплового потока.

Результаты исследований были применены к данным температурного мониторинга, проводившегося в период с июня 2008 по сентябрь 2010 года в донных осадках Телецкого озера. Для обнаружения длиннопериодных гармоник были привлечены данные мониторинга температуры придонной воды в этом озере за период с 1968 по 2011 год. Было определено значение теплового потока через дно Телецкого озера $Q_0 = 74\,\text{мВт/м}^2$ и среднее значение коэффициента температуропроводности $k = 2 \cdot 10^{-7}\,\text{м}^2/\text{с}$ в верхнем слое осадков ($k = \lambda/\rho C$).

Таким образом, предложена и апробирована на реальных данных методика определения теплового потока из недр Земли по данным температурного мониторинга в приповерхностном слое осадков.

Работа авторов поддержана интеграционным проектом СО РАН № 14, проектом РФФИ 11-01-00105, партнерским проектом СО РАН № 45. Данные температурного мониторинга были получены в рамках работ по проекту РФФИ 04-05-64433 (2004–2006) и партнерскому проекту СО РАН № 125 (2009–2011), компиляция данных по температуре придонной воды Телецкого озера была проведена в рамках партнерского проекта СО РАН № 34 (2012). Авторы благодарны А. Д. Дучкову за предоставленные полевые материалы, постоянный интерес к работе и ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дучков А. А., Карчевский А. Л.** Определение глубинного теплового потока по данным мониторинга температуры донных осадков // Сиб. журн. индустриальной математики. 2013. Т. 16, № 3. С. 61–85.

ON THE EXISTENCE OF A STATIONARY MEASURE FOR THE STOCHASTIC SYSTEM FOR THE QAUSI-SOLENOIDAL LORENZ MODEL FOR A BAROCLINIC ATMOSPHERE

Klevtsova Yu. Yu.

Federal State Budgetary Institution
“Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute”, Novosibirsk;
yy_klevtsova@ngs.ru

We consider the system of equations for the Lorenz model for a baroclinic atmosphere

$$\frac{\partial}{\partial t}A_1u+\nu A_2u+A_3u+B(u)=g, \qquad t>0, \tag{1}$$

on the two-dimensional unit sphere S centered at the origin of the spherical polar coordinates (λ,φ), $\lambda\in[0,2\pi)$, $\varphi\in\left[-\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}\right]$, $\mu=\sin\varphi$. Here $\nu>0$ is the kinematic viscosity, $u(t,x,\omega)=(u_1(t,x,\omega),u_2(t,x,\omega))^{\mathrm{T}}$ is an unknown vector function and $g(t,x,\omega)=(g_1(t,x,\omega),g_2(t,x,\omega))^{\mathrm{T}}$ is a given vector function, $x=(\lambda,\mu)$, $\omega\in\Omega$, (Ω,P,F) is a complete probability space,

$$A_1=\begin{pmatrix}-\Delta & 0\\ 0 & -\Delta+\gamma I\end{pmatrix}, A_2=\begin{pmatrix}\Delta^2 & 0\\ 0 & \Delta^2\end{pmatrix}, A_3=\begin{pmatrix}-k\Delta & 2k\Delta\\ k\Delta & -(2k+k_1+\nu\gamma)\Delta+\rho I\end{pmatrix},$$

$$B(u)=\left(J(\Delta u_1+2\mu,u_1)+J(\Delta u_2,u_2),J(\Delta u_2-\gamma u_2,u_1)+J(\Delta u_1+2\mu,u_2)\right)^{\mathrm{T}}.$$

Also, $\gamma,\rho,k,k_1\geqslant 0$ are numerical parameters, I is the identity operator, $J(\psi,\theta)=\psi_\lambda\theta_\mu-\psi_\mu\theta_\lambda$ is the Jacobi operator and $\Delta\psi=((1-\mu^2)\psi_\mu)_\mu+(1-\mu^2)^{-1}\psi_{\lambda\lambda}$ is the Laplace-Beltrami operator on the sphere S. A random vector function $g=f+\eta$ is taken as the right-hand side of (1); here the random external force $f(x,\omega)=(f_1(x,\omega),f_2(x,\omega))^{\mathrm{T}}$ is independent of t and square summable in ω and the random vector function $\eta(t,x,\omega)=(\eta_1(t,x,\omega),\eta_2(t,x,\omega))^{\mathrm{T}}$ is a white noise in t. In [1] it was obtained for existence of a stationary measure of Markov semigroup which is defined by the solutions of the Cauchy problem for (1) the sufficient conditions on the right-hand side of (1) and the parameters ν, γ, ρ, k, k_1:

$$k<\inf_{i=1,2,\ldots,i_*}\varsigma(i), \qquad \varsigma(i)=\frac{2}{(j(i)-\gamma)^2}\Bigg(6\nu j^3(i)+4\nu\gamma j^2(i)+\chi(j(i))$$

$$+\sqrt{\left(6\nu j^3(i)+4\nu\gamma j^2(i)+\chi(j(i))\right)^2+(j(i)-\gamma)^2\left(4\nu^2j^4(i)+2\nu j(i)\chi(j(i))\right)}\Bigg),$$

$\chi(y)=(k_1+\nu\gamma)(y^2+\gamma y)+\rho(\gamma+y)$, $j(y)=y(y+1)$, $y\geqslant 0$; $i_*=\left[\frac{c_*}{2\nu}\left(\sqrt{1+\frac{c_*}{\nu}}+1\right)^{-1}\right]\geqslant 1$, $c_*=\begin{cases}\varsigma(1), & \text{if} \quad \gamma\neq 2,\\ \varsigma(2), & \text{if} \quad \gamma=2,\end{cases}$ $[r]$ – the integer part of r.

REFERENCES

1. **Klevtsova Yu. Yu.** On the existence of a stationary measure for the stochastic system for the Lorenz model for a baroclinic atmosphere // Sb. Math. 2013. V. 204, N 9. (to appear).

КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ СИЛЬНО-НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ СОБОЛЕВСКОГО ТИПА ВЫСОКОГО ПОРЯДКА

Кожанов А. И.

Институт математики им. С. Л. Соболева, Новосибирск;
kozhanov@math.nsk.ru

При математическом моделировании многих процессов гидро- и газовой динамики, теории упругости, электродинамики возникают уравнения вида

$$u_{tt} = \frac{\partial}{\partial t}(L_0 u) + L_1 u + f(x,t),$$

$$u_{tt} = L_0 u_t + L_1 u + f(x,t)$$

с нелинейным эллиптическим оператором L_0, действующим по пространственным переменным (подобные уравнения называются псевдогиперболическими уравнениями, или уравнениями соболевского типа). В докладе основное внимание уделяется второму классу уравнений с оператором L_0 высокого порядка.

Для натурального числа m и целого числа l такого, что $-m < l \leq m$, обозначим через ξ и η $(m-l+1)$-мерные векторы $\xi_0, \xi_1, \ldots, \xi_{m-l}$ и $\eta_0, \eta_1, \ldots, \eta_{m-l}$ соответственно. Далее, положим $D^k v = \frac{\partial^k v}{\partial x^k}$, $D_k v = (v, \ldots, D^k v | (v = v(x,t))$. Пусть $\varphi_{m-l}(\xi,\eta)$ и $\psi_{m-l}(\xi,\eta)$ суть заданные функции.

В прямоугольнике Q рассмотрим уравнение

$$u_{tt} + (-1)^m D^{m+l} \varphi_{m-l}(D_{m-l}u, D_{m-l}u_t) + \psi_{m-l}(D_{m-l}u, D_{m-l}u_t) = f(x,t),$$

являющееся обобщением некоторых уравнений вязкоупругости. Для этих уравнений при выполнении условия

$$\frac{\partial \varphi_{m-l}(\xi,\eta)}{\partial \eta_{m-l}} \geq k_0 > 0, \ \ \forall \xi \in \mathbb{R}^{m-l+1}, \ \ \forall \eta \in \mathbb{R}^{m-l+1}$$

установлена единственность регулярных решений естественных начально-краевых задач, при выполнении же этого условия и дополнительных условий подчинения для производных функции $\varphi_{m-l}(\xi,\eta)$ по переменным $\xi_0, \xi_1, \ldots, \xi_{m-l}$, η_0, $\eta_1, \ldots, \eta_{m-l-1}$, функции $\psi_{m-l}(\xi,\eta)$ по переменным $\xi_0, \xi_1, \ldots, \xi_{m-l}$, $\eta_0, \eta_1, \ldots, \eta_{m-l}$ установлено существование регулярных решений начально-краевых задач.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕПЛОВОГО СТОКА РЕКИ ЛЕНА НА ТЕРМОХАЛИННУЮ СТРУКТУРУ ВОД МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

Крайнева М. В., Малахова В. В., Голубева Е. Н.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН;

krayneva-m@yandex.ru, malax@sscc.ru, elen@ommfao.sscc.ru

Анализ данных наблюдений [1] показывает положительные аномалии температуры в поверхностном слое моря Лаптевых в последние годы. В этой связи, особенно важным представляется учет теплового стока реки Лена при моделировании термохалинного состояния морей Сибирского шельфа.

На основе региональной модели СЛО — Северная Атлантика [2], разработанной в ИВМиМГ СО РАН, проведены расчеты по моделированию состояния водных масс СЛО и шельфовой зоны с учетом тепла поступающего с речными водами из дельты Лены. Для расчета температуры реки на выходе в шельфовую зону используются формулы, определяющие зависимость между температурой воздуха и речной воды, аналогичные [3]. С целью проверки допустимости использования такого подхода восстановлены значения температуры воды на станции Лена-Кюсюр и проанализированы на основе сравнения с данными наблюдений гидропостов.

Проведенный численный эксперимент демонстрирует ярко выраженную тепловую аномалию не только в поверхностных, но и в придонных слоях шельфовой зоны моря Лаптевых.

Работа выполнена при поддержке ИП № 109 ИВМиМГ СО РАН

ЛИТЕРАТУРА

1. **Review** of hydrometeorological processes in the Arctic Ocean 2007. St. Petersburg: AARI, 2008 [in Russian].
2. **Golubeva E. N., Platov G. A.** On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // J. Geoph. Res. 2007. V. 112. C04S05.
3. **Liu B., Yang D., Ye B., Berezovskaya S.** Long-term open-water season stream temperature variations and changes over Lena River Basin in Siberia // Global and Planetary Change. 2005.

О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ОДНОЙ АБСТРАКТНОЙ ЗАДАЧИ С СЕДЛОВОЙ ТОЧКОЙ

Кремер И. А.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск;
kremer@aoritm.com

В работе исследуются вопросы численного решения абстрактной задачи с седловой точкой в Гильбертовых пространствах $\mathbf{V}$ и Q. Пусть $\mathbf{A} \in \mathbf{L}(\mathbf{V}, \mathbf{V}')$, $\mathbf{B} \in \mathbf{L}(\mathbf{V}, Q')$, $\mathbf{F} \in \mathbf{V}'$, требуется найти $\mathbf{u} \in \mathbf{V},\ p \in Q$ такие, что

$$\mathbf{A}\mathbf{u} + \mathbf{B}^T p = \mathbf{F}, \qquad \mathbf{B}\mathbf{u} = 0. \tag{1}$$

Достаточные условия разрешимости данной задачи приведены в работе [1]. Мы исследовали вариант, когда $\mathbf{V} = \ Ker\ \mathbf{A} \bigoplus Ker\ \mathbf{B}$. В этом случае определяются $\mathbf{C} \in \mathbf{L}(Q, Q')$, $\mathbf{C} > 0$ и $G_{\mathbf{F}} \in Q'$ такие, что $\mathbf{u},\ p$ из (1) удовлетворяют

$$\mathbf{C}p = G_{\mathbf{F}}, \qquad \mathbf{A}_\beta \mathbf{u} = \mathbf{F} - \mathbf{B}^T p, \qquad \mathbf{A}_\beta = \left(\mathbf{A} + \frac{1}{\beta}\mathbf{B}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{B}\right), \qquad \beta > 0. \tag{2}$$

Устанавливается эквивалентность формулировок задач (1) и (2).

Переходя к численному решению (1), мы предполагаем, что имеются конечномерные подпространства $\mathbf{V}_h \subset \mathbf{V}$ предельно плотные в $\mathbf{V}\ \ (h \to 0)$. В этом случае, конструктивно строятся конечномерные подпространства $Q_h \subset Q$, определяются операторы $\mathbf{A}_h \in \mathbf{L}(\mathbf{V}_h, \mathbf{V}_h')$, $\mathbf{B}_h \in \mathbf{L}(\mathbf{V}_h, Q_h')$, $\mathbf{C}_h \in \mathbf{L}(Q_h, Q_h')$, являющиеся сужениями операторов $\mathbf{A}, \mathbf{B}$ и $\mathbf{C}$, формулируются конечномерные аналоги задачи (2). Найти $p_h \in Q_h$ и $\mathbf{u}_h \in \mathbf{V}_h$ такие, что

$$\mathbf{C}_h p_h = G_{\mathbf{F},h}, \qquad \mathbf{A}_{\beta,h} \mathbf{u}_h = \mathbf{F}_h - {\mathbf{B}_h}^T p_h, \qquad \mathbf{A}_{\beta,h} = \left(\mathbf{A}_h + \frac{1}{\beta}{\mathbf{B}_h}^T {\mathbf{C}_h}^{-1} \mathbf{B}_h\right). \tag{3}$$

Здесь $G_{\mathbf{F},h} \in Q_h'$ и $\mathbf{F}_h \in \mathbf{V}_h'$ являются сужениями $G_{\mathbf{F}}$ и $\mathbf{F}$ на Q_h и $\mathbf{V}_h$. Устанавливается разрешимость (3) и сходимость их решений к решениям задачи (2).

Представленная теория иллюстрируется двумя примерами. В первом из них рассматривается численное решение вырожденной скалярной задачи Неймана для уравнения диффузии. Во втором примере решается стационарная векторная система уравнений Максвелла в неоднородных по электромагнитным свойствам трехмерных средах [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Brezzi F., Fortin M.** Mixed and hybrid finite element methods. N. Y.: Springer–Verlag, 1991.
2. **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.

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ЗАДАЧ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ КОЛЕБАНИЙ

Криворотько О. И.

Новосибирский государственный университет;
krivorotko.olya@mail.ru

В докладе рассматриваются задачи определения источников колебаний. Данные обратной задачи могут быть как непрерывного, так и дискретного типа, и могут быть заданы на части границы области, внутри области или на времениподобной поверхности. В общем случае задача определения источников колебаний может быть сведена к виду $Aq = f$, где A — оператор (или матрица) обратной задачи, q — функция (или вектор) источников, f — функция (или вектор) данных. Особенности оператора A определяют методы решения задачи. Так, в случае компактного оператора A задача является некорректной [1]. Исследовать степень некорректности задачи $Aq = f$ позволяют сингулярные числа оператора A, поиск которых, в общем случае, является сложной задачей. В докладе будет изложен метод сингулярного разложения оператора A и его применение к регуляризации некорректной задачи $Aq = f$. Также в качестве регуляризации будут рассмотрены методы С. К. Годунова и оптимизации.

Приведенные методы будут применены для решения обратной задачи термоакустики, задач определения источника цунами по спутниковым данным [2] и по данным наводных станций DART [3, 4]. Будут представлены результаты численных расчетов.

Работа частично поддержана РФФИ (грант 12-01-00773) и проектом 12-2013 сотрудничества СО РАН и НАН Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kabanikhin S. I.** Inverse and ill-posed problems: Theory and applications. Berlin: De Gruyter, 2011.
2. **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 // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2012. V. 20, N 2. P. 193–211.
3. **Voronina T. A.** Reconstruction of initial tsunami waveforms by a truncated SVD method // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2011. V. 19. P. 615–629.
4. **Kabanikhin S. I., Hasanov A., Marinin I. V., Krivorotko O. I., Khidasheli D.** A variational approach to reconstruction of an initial tsunami source perturbation // Applied Numerical Mathematics. 2013 (to appear).

SOME FEATURES OF GENERAL CIRCULATION ATMOSPHERE IN NORTHERN HEMISPHERE UNDER CLIMATE CHANGES

Krupchatnikov V. N., Martynova Yu. V.

Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute, Novosibirsk;
Institute Computational Mathematics
and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk;
Novosibirsk State University;
vkrupchatnikov@yandex.ru

An evidence of our understanding of the general circulation is whether we can predict changes in the general circulation that might be associated with past or future climate changes. It would be especially useful to predict changes associated with global warming. Changes in the location, intensity or seasonality of major climatological features of the general circulation could be more important than average temperature changes, particularly where these changes might affect local hydrology, energy balances and etc. This problem has been considered in [1]. The report contains the following topics:

- Extratropical eddies and jets.
- The Role of SST Forcing.
- Experiments. Model.
- Experimental design.
- Storm tracks.
- Sea ice extent.
- Summary.

In this report demonstrates that there exists considerable evidence that key-elements of the atmospheric circulation have been moving poleward during the last few decades. Current theories as well as model experiments indicate that greenhouse gas increases and stratospheric ozone depletion is the most likely cause for the trends. However, there are many other aspects of these shifts that are not well understood. Experiments revealed little effect of hysteresis in the dynamics of the storm track. We find also that sea ice loss is reversible in climate system model over a range of CO_2 concentrations in RCP-8.5 scenario. We find no evidence of possibility sea ice hysteresis between difference states in climate regimes with ice cover.

The work has been supported by RFBR grants 08-05-00457, 11-05-01190a, 13-05-00480 and Ministry of education and science of the Russian Federation (contract 8345).

REFERENCES

1. **Krupchatnikov V., Martynova Yu.** Dynamics of general circulation atmosphere in Northern Hemisphere under climate changes // International Conference “CITES – 2013”. Petrozavodsk, 2013.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ГАЛАКТИК НА ГИБРИДНЫХ СУПЕРЭВМ

Куликов И. М.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
kulikov@ssd.sscc.ru

Модель центрального столкновения галактик, описанная в работах [1, 2] имеет достаточно большие ограничения на использему бесстолкновительную компоненту. В докладе будет представлена новая масштабируемая модель бесстолкновительной компоненты, реализованная в составе нового сверхмасштабируемого программного комплекса для моделирования столкновения галактик на суперЭВМ. Численный метод решения газодинамических уравнений основан на специально адаптированной [3] для реализации на множестве графических ускорителей комбинации метода крупных частиц и метода Годунова. Численный метод был расширен для решения уравнений гравитационной магнитной газовой динамики. Использование модели гравитационной газовой динамики в задачах столкновения галактик позволяет адекватно воспроизводить области звездообразования в таких галактиках.

Работа проводилась при частичной поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России 2009–2013» Министерства образования и науки Российской Федерации, грантом РФФИ 12-01-31352 для молодых исследователей, грантом Президента Российской Федерации МК-4183.2013.9, а также муниципальным грантом г. Новосибирска.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Vshivkov V., Lazareva G., Snytnikov A., Kulikov I., Tutukov A.** Hydrodynamical code for numerical simulation of the gas components of colliding galaxies // The Astrophysical J. Supplement Series. 2011. V. 194. P. 47.
2. **Vshivkov V., Lazareva G., Snytnikov A., Kulikov I., Tutukov A.** Computational methods for ill-posed problems of gravitational gasodynamics // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2011. V. 19, N 1. P. 151–166.
3. **Kulikov I.** PEGAS: Hydrodynamical code for numerical simulation of the gas components of interacting galaxies // Second Workshop on Numerical and Observational Astrophysics From the First Structures to the Universe Today, 2013 / Ed. by. M. E. De Rossi, S. E. Pedrosa, L. J. Pellizza. AAABS N 4. P. 91–95.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЧНОГО СТОКА ДЛЯ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

Кузин В. И., Лаптева Н. А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
kuzin@sscc.ru

В работе представлена климатическая модель речного стока с разрешением 1/3 градуса. Модель является линейной резервуарной моделью, т. е. каждая ячейка модели является резервуаром или каскадом резервуаров [1, 2]. В качестве исходных данных для численного моделирования речного стока для рек Обь — Иртыш, Енисей, Лена использовались данные реанализов ERA40 и MERRA. Для сравнения с данными наблюдений были использованы данные измерений на гидрологических станциях Обь — Салехард, Енисей — Игарка и Лена — Кюсюр [3].

Работа проводилась при поддержке ИП СО РАН № 69, 109, проекта РФФИ № 11-05-01075-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бураков Д. А.** К оценке параметров линейных моделей стока // Метеорология и гидрология. 1989. № 10. С. 89–95.
2. **Кучмент Л. С.** Математическое моделирование речного стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1972.
3. **Кузин В. И., Лаптева Н. А.** Математическое моделирование климатического речного стока из Обь-Иртышского бассейна // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 539–543.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕЖАЕМОСТИ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И ВИХРЕВОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В УСТОЙЧИВОМ ПЛАНЕТАРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ

Курбацкая Л. И.[1], **Курбацкий А. Ф.**[2]

[1] *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;*
[2] *Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, Новосибирск;*
L.Kurbatskaya@ommgp.sscc.ru, kurbat@itam.nsc.ru

Термически устойчивый пограничный слой формируется при охлаждении поверхности. Наблюдения показывают, что в этих условиях фиксируются локализованные явления взрывного характера с короткими периодами турбулентного состояния и промежуточными периодами относительно слабых флуктуаций. Разработана улучшенная математическая модель устойчиво стратифицированного пограничного слоя, корректно учитывающая не только воздействие плавучести в вихревых коэффициентах диффузии импульса и тепла, но и эффект внутренних гравитационных волн на перенос импульса в условиях сильной термической стратификации. Три параметра полностью анизотропной алгебраической модели потоков импульса и тепла — кинетическая энергия турбулентности, ее диссипация и дисперсия температурных флуктуаций — находятся из решения дифференциальных уравнений переноса [1]. Представленное исследование ставило своей целью выяснение с помощью вычислительного эксперимента чувствительности трехпараметрической RANS-схемы турбулентности к воспроизведению перемежающейся турбулентности как вблизи твердой поверхности, так и «поднятой» турбулентности, генерируемой струйным течением низкого уровня в термически устойчивом планетарном пограничном слое. Проведенные тесты чувствительности RANS-схемы при описании перемежающейся турбулентности показали существенную роль турбулентной диффузии (статистических моментов третьего порядка) в уравнениях баланса КЭТ и скорости ее спектрального расходования (диссипации). Сравнение с результатами LES-моделирования и данными наблюдений показывает, что обнаруживаемое присутствие перемежающейся турбулентности выше и ниже струйного течения в верхней части пограничного слоя может быть воспроизведено и RANS-схемой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, в рамках проекта № 13-05-00006а, а также интеграционного проекта по фундаментальным исследованиям № 132 СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Курбацкий А. Ф., Курбацкая Л. И.** Эффективность вихревого перемешивания в устойчиво стратифицированном атмосферном пограничном слое // ПМТФ. 2011. Т. 52, N 6. С. 43–49.

ОБ ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ВОЛН ЦУНАМИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Лаврентьев М. М. (мл.), Романенко А. А.

Новосибирский государственный университет;
mmlavrentiev@gmail.com, arom@ccfit.nsu.ru

Цунами — природное явление, которое представляет потенциальную опасность для жителей побережья, о чем свидетельствуют печальные события 2004, 2011 годов. Данная работа посвящена разработке комплекса, который бы в режиме реального времени давал оценки об уровне опасности от волны цунами для защищаемого побережья.

Работа комплекса состоит из нескольких этапов: мониторинг сейсмической активности, оценка формы очага цунами (первоначальное смещение водной поверхности), расчет распространения волны, расчет наката на берег и расчет зон затопления и ущерба. На базе информации по сейсмической активности строится предположение о возможном очаге цунами и предположения о времени, когда ожидается событие [1]. Когда происходит цунамогенное землетрясение, фронт волны фиксируется на глубоководных гидрофизических станциях, например DART, и по этим данным за доли секунды происходит восстановление смещение водной поверхности в зоне источника цунамим [2]. Стоит отметить, что начать восстановление формы смещения возможно только после того как фронт волны будет зарегистрирован. Поэтому оптимальное расположение регистраторов является важной задачей. Расчет распространения волны цунами от восстановленного источника происходит на оптимизированном для графического процессора пакете MOST [3]. Полученное ускорение на данном этапе составило 45–50 раз.

Работа элементов комплекса была протестирована как на синтетических, так и реальных данных. Было показано, что информацию о влиянии волны цунами на побережье можно получить существенно до того момента, как волна достигнет берега. Так для события в Японии 2011 года время расчетов составляет 11 минуты, в то время как волна достигла берега за 22 минуты.

Работа поддержана грантом Министерства образования и науки РФ № 14.B37.21.0643 от 20 августа 2012 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сибгатулин В. Г., Симонов К. В., Перетокин С. А.** Анализ энергетических характеристик сейсмического процесса и прогноз землетрясений // Вычислительные технологии. 2004. Т. 9. Совместный выпуск. Ч. 4. С. 24–28.
2. **Lavrentyev M., Romanenko A., Tatarintsev P.** New method to determine initial surface water displacement at tsunami source // Geophysical Research Abstracts. 2013. V. 15. EGU2013-5595.
3. **Romanenko A., Lavrentiev M. (jr), Titov V.** Modern architecture for tsunami hazard mitigation // Asia Oceania Geosciences Society (AOGS-2012).

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОПИСАНИИ ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ГОРОДСКОЙ АТМОСФЕРЕ

Леженин А. А.[1], Шлычков В. А.[2], Мальбахов В. М.[1]

[1] *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;*
[2] *Институт водных и экологических проблем СО РАН (Новосибирский филиал), Новосибирск;*
lezhenin@ommfao.sscc.ru, slav@ad-sbras.nsc.ru

Представлен алгоритм и результаты калибровки параметров численной модели переноса и диффузии формальдегида по данным наблюдений. Для диагноза поля концентрации по территории города использовалась 3D-модель переноса и диффузии субстанции, адаптированная к условиям г. Томска. В модели имеется ряд свободных (неопределенных) параметров, которые подбирались из критерия максимальной близости модельных концентраций к фактическим. Для получения оптимальных значений параметров при минимизации функционала ошибок проводилось до нескольких десятков пробных расчетов. Путем вариации числовых значений системы параметров, определяется оптимальное их сочетание, при котором расчетные концентрации становятся близки к наблюдаемым значениям. Найденная совокупность параметров используется для решения практических задач прогноза концентрации загрязнений в городе [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. **Селегей Т. С., Шлычков В. А., Леженин А. А., Мальбахов В. М.** Модель локального прогноза загрязнения атмосферы формальдегидом в г. Томск на основе статистических и гидродинамических методов // Метеорология и гидрология. 2012. № 4. С. 35–44.

ТОЧНОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧЕ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Логинов Г. Н., Яскевич С. В.

Новосибирский государственный университет;
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск;
yaskevichsv@gmail.com

В настоящее время для интенсификации добычи углеводородов активно применяется гидроразрыв пласта (ГРП). Для интенсификации притока флюида в скважину в слабопроницаемом массиве горных пород генерируется система трещин. Для успешного проектирования следующих ГПР необходимо иметь представление о геометрии трещин, сформированных на начальных этапах. Для получения этой информации успешно применяется микросейсмический мониторинг (для наземных и скважинных систем наблюдения) [1].

Целью работы является разработка методов решения обратной задачи локализации микросейсмических событий по данным о временах прихода упругих волн и их поляризации. Будет проведен анализ точности поляризационного анализа реальных данных и его влияние на точность решения обратной задачи для случая анизотропных сред.

Граф и программы обработки. Данные микросейсмического мониторинга характеризуются большим объемом информации, т. к. наблюдения проводятся непрерывно в течение всего времени ГПР. таким образом, для обеспечения оперативной обработки требуется максимальная автоматизация процедур обработки и создание удобных интерактивных программ для тех этапов обработки, которые нельзя полностью автоматизировать.

Основными этапами обработки являются: выделение триггер файлов, полосовая фильтрация, пикирование времен прихода, поляризационный анализ. В случае одной наблюдающей скважины последний определяет азимутальную область неоднозначности локаций событий. В случае его неинформативности локация микросейсмических событий является вырожденной в случае одной наблюдающей скважины.

Была проведена обработка данных микросейсмического мониторинга. Программно реализована процедура обработки (выделение триггер-файлов, фильтрация, поляризационный анализ) в виде удобной программы с графическим интерфейсом в среде Matlab. Показано влияние ошибок в поляризациях на результаты локации.

Работа была частично поддержана Минобрнауки РФ (ГК 14.515.11.0071) и СО РАН (интеграционный проект № 127).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Rutledge J., Phillips W.** Hydraulic stimulation of natural fractures as revealed by induced microearthquakes, Carthage Cotton Valley gas field, East Texas // Geophysics. 2003. V. 68, N 2. P. 441–452.

ОРТОРЕГРЕССИОННЫЕ ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ

Ломов А. А.

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН;
Новосибирский государственный университет, Новосибирск;
lomov@math.nsc.ru

В докладе представлен краткий обзор класса орторегрессионных обратных задач идентификации параметров систем линейных разностных уравнений. Примером является задача аппроксимации процесса $x = (x_1, \dots, x_N)^T \in \mathbb{R}^N$ решениями $z \in \mathbb{R}^N$ разностного уравнения

$$z_{k+p} + \alpha_{p-1} z_{k+p-1} + \ldots + \alpha_0 z_k = 0$$

с подбираемыми коэффициентами $(\alpha_{p-1}, \dots, \alpha_0) \in \mathbb{R}^p$. В рассматриваемый класс входят задачи идентификации неоднородных уравнений с правой частью и систем уравнений.

Обсуждается связь с постановками задач типа Прони́ и методами их решения: расширенным методом Прони (А. Хаусхолдер, 1950), модифицированным методом Прони (М. Осборн, 1970), вариационным методом идентификации (А. О. Егоршин, 1971), а также с нелинейными вариантами метода наименьших квадратов: ортогональной регрессии (К. Пирсон, 1901), Total Least Squares (TLS, Г. Голуб, 1980), Structured Total Least Squares (STLS, Б. Де Мур, 1993) Global Total Least Squares (GTLS, К. Хейдж, Б. Роорда, 1996) [1].

Рассматриваются общие для всего класса условия единственности, устойчивости, состоятельности оценок, а также алгоритмы вычислений орторегрессионных оценок параметров систем уравнений.

Приводятся новые результаты по условиям локальной единственности и состоятельности [2]. Обсуждается проблема глобальной неединственности оценок.

Работа проводилась при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-01-00329) и Сибирского отделения Российской академии наук (междисциплинарный проект № 80).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Markovsky I., Sima D. M., Van Huffel S.** Total least squares methods // WIREs Comp. Stat. 2010. V. 2. P. 212–217.

2. **Ломов А. А.** Вариационные методы идентификации линейных динамических систем и проблема локальных экстремумов // Управление большими системами. 2012. Вып. 39. С. 53–94. http://ubs.mtas.ru/upload/library/UBS3903.pdf

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАВИН В ГАЗЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО НА СУПЕРЭВМ

Лотова Г. З., Марченко М. А., Рогазинский С. В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
lot@osmf.sscc.ru

Разработан трехмерный параллельный алгоритм метода Монте-Карло для моделирования развития электронных лавин в газе. При моделировании влияние собственного электрического поля электронов и ионов лавины на внешнее электрическое поле не учитывалось, т. е. исследовалась только начальная стадия развития лавины (до формирования критической лавины). Отличительной особенностью метода Монте-Карло [1, 2] является возможность учета влияния «маловероятных процессов», что практически невозможно для других моделей (например, при использовании диффузионного приближения). Нужно обратить особое внимание на то, что приходится держать в памяти ЭВМ координаты в шестимерном фазовом пространстве (x, y, z, V_x, V_y, V_z) всех электронов лавины, количество которых растет экспоненциально со временем [3]. Частично эту проблему решает используемая нами лексикографическая схема «ветвления» траекторий. Практически достаточный выигрыш во времени расчетов позволяет здесь получить использование технологии распараллеливания, что и было реализовано в представляемой программе ELSHOW (ELectron SHOWer). Параллельная реализация осуществляется с помощью библиотеки PARMONC, что ускоряет получение таких интегральных характеристик, как число частиц в лавине, коэффициент ударной ионизации, скорость дрейфа и других, а также способов выбора подходящей величины временного шага с использованием техники зависимых статистических испытаний. Составными частями алгоритма являются специальные методы моделирования распределений, лексикографическая схема реализации «ветвления» траекторий, «русская рулетка», обоснованное построение гистограммы и вычисление вероятностной погрешности оценок функционалов. Приводится сравнение полученных результатов для азота с опубликованными ранее теоретическими и экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 39, 47, 126, 130; грантов РФФИ №№ 13-01-00746, 12-01-00727, 12-01-00034, 13-01-00441.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ермаков С. М., Михайлов Г. А.** Курс статистического моделирования. М.: Наука, 1976.
2. **Аккерман А. Ф.** Моделирование траекторий заряженных частиц в веществе. М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. **Королев Ю. Д., Месяц Г. А.** Физика импульсного пробоя газов. М.: Наука, 1991.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИФФУЗИОННОГО РАДИУСА ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАВИНЫ ПРИ ВЫСОКИХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯХ

Лотова Г. З., Шкляев В. А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск; Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск;

lot@osmf.sscc.ru

Вычисление диффузионного радиуса электронной лавины позволяет оценить долю электронов с высокими энергиями, которые появляются при сильных перенапряжениях промежутков в задачах импульсного пробоя в газах [1]. С помощью трехмерного параллельного алгоритма метода Монте-Карло «ELSHOW» исследованы границы применимости диффузионного уравнения, получены коэффициенты продольной и поперечной диффузии, построены гистограммы плотности электронов и определены диффузионные радиусы лавины для разных параметров. Показано, что при увеличении коэффициента перенапряжения до восьми и более электроны, вылетевшие за пределы лавины начинают эффективно ионизовать газ. Перед уже существующей основной лавиной формируются вторичные лавины, затравочными центрами которых являются электроны, вылетевшие за диффузионный радиус основной лавины. Развитие этих лавин приводит к значительному искажению симметрии электронного облака. Электронное облако приобретает вытянутую вдоль направления внешнего электрического поля форму. В таких условиях диффузионное уравнение не дает точного результата. Следовательно, необходимо численное решение уравнения Больцмана, которое наиболее эффективно реализуется с помощью алгоритмов метода Монте-Карло [2, 3].

Работа выполнена при поддержке междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 47, 126; грантов РФФИ №№ 13-01-00746, 12-01-00727, 12-01-00034, 13-01-00441.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Королев Ю. Д., Месяц Г. А.** Физика импульсного пробоя газов. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991.
2. **Аккерман А. Ф.** Моделирование траекторий заряженных частиц в веществе. М.: Энергоатомиздат, 1991.
3. **Ермаков С. М., Михайлов Г. А.** Курс статистического моделирования. М.: Наука, 1976.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОДВОДНОЙ МЕРЗЛОТЫ И ВОЗМОЖНОЙ ЭМИССИИ МЕТАНА НА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ ШЕЛЬФЕ АРКТИКИ

Малахова В. В., Голубева Е. Н.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
malax@sscc.ru

Данные экспедиционных исследований 2003–2007 гг. демонстрируют масштабную эмиссию метана из мелководной части шельфа в Восточно-Сибирском море и море Лаптевых [1]. Предполагается, что усиление эмиссии метана может быть следствием деградация подводных мерзлых пород, образования сквозных таликов и нарушения условий существования газогидратов на шельфе морей восточного сектора Арктики. Основным в работе является вопрос о том, какими могут быть масштабы современной эмиссии метана в атмосферу на шельфе морей восточной Арктики в предположении наличия транспорта газа из донных отложений.

Для проведения численного эксперимента использовалась совместная региональная модель гидротермодинамики океана ИВМиМГ СО РАН и морского льда CICE-3.14, дополненная трассерным блоком. Для определения нижней границы субмаринной криолитозоны на шельфе и выполнения условий существования гидратов метана использовалась модель тепло и влагопереноса в грунте ИФА РАН [2]. Была рассмотрена разгрузка метана из донных отложений как следствие деградации подводных мерзлых пород и нарушения условий существования мелководных газогидратов на шельфе Арктики. Результаты моделирования показали возможность существования сквозного талика в юго-восточной части моря Лаптевых и, как следствия, дополнительных источников метана на дне. Именно в этой области по фактическим данным [1] были зарегистрированы устойчивые аномалии растворенного метана в 2007 году.

Полученные оценки эмиссии метана в атмосферу от рассмотренных нами источников составили до 100 килотонн в год за период открытой воды, что на порядок меньше максимальной оценки для диффузионного потока, приведенной в [1].

Работа проводилась при поддержке ИП СО РАН № 109, проекта РФФИ № 11-05-01075-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Shakhova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupov V., Kosmach D., Gustafsson O.** Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf // Science. 2010. V. 327, iss. 5970. P. 1246–1250.
2. **Денисов С. Н., Аржанов М. М., Елисеев А. В., Мохов И. И.** Оценка отклика субаквальных залежей метангидратов на возможные изменения климата в XXI веке // Докл. АН. 2011. Т. 441, № 5. С. 685–688.

ЭФФЕКТИВНОЕ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАВИН

Марченко М. А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
marchenko@sscc.ru

Для моделирования развития электронных лавин в газе по методу Монте-Карло предлагаются различные технологии параллельной реализации на супер-ЭВМ, а именно технологии крупно- и мелкозернистого параллелизма, а также их комбинация. Эффективность распараллеливания продемонстрирована при вычислениях с использованием программы ELSHOW, разработанной с участием автора. Представлено сравнение технологий распараллеливания на нескольких видах высокопроизводительных вычислительных систем: системе с MPP процессорами, гибридной системе с ускорителями Intel Xeon Phi.

Работа выполнена при поддержке междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 39, 47, 126, 130; грантов РФФИ №№ 13-01-00746, 12-01-00727, 12-01-00034, 13-01-00441.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Марченко М. А., Михайлов Г. А.** Распределенные вычисления по методу Монте-Карло // Автоматика и телемеханика. 2007. Вып. 5. С. 157–170.
2. **Марченко М. А.** Библиотека PARMONC для решения «больших задач» по методу Монте-Карло // Вестник ННГУ. 2012. № 5. С. 392–397.

РАСЧЕТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ НА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СГУЩАЮЩИХСЯ СЕТОК

Марчук Ан. Г.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
mag@omzg.sscc.ru

При численных расчётах распространения волн цунами требуется выполнение условия устойчивости Куранта. А именно, шаг разностной схемы по времени должен быть таким, чтобы в любой точке расчётной области волна за один шаг по времени продвигалась бы менее чем на один шаг по пространству. Таким образом, если в расчётной области имеются участки с большими глубинами, то вблизи берега, где глубина незначительна, численный расчёт будет вестись с неоправданно малым шагом по времени, что сильно влияет на время моделирование всего процесса распространения от очага до выхода волны к побережью. Для того, чтобы получить детальную картину распределения высоты волны вдоль береговой линии, требуется расчётная сетка с достаточно малым пространственным шагом (порядка десятков метров). В то же время, ввиду большой длины волны в глубоком океане, расчёт там можно вести на относительно грубых сетках (порядка нескольких сотен метров). Поэтому целесообразно начинать расчёт на сетке с большим пространственным шагом, а затем переходить на более мелкие расчётные сетки. В работе предложен и реализован алгоритм перехода с грубой расчётной сетки на сетку с кратно меньшим пространственным шагом посредством передачи параметров волны через граничные значения. При этом производится одномерная линейная интерполяция значений этих параметров вдоль границы подобласти, в которой предполагается продолжить расчёт, но на более густой сетке. Впоследствии, при приближении цунами к побережью таким же способом можно осуществить переход на ещё более детальную сетку. Работа этого алгоритма иллюстрируется численным расчётом распространения волны цунами от модельного очага у северо- восточного побережья Японии. В этой последовательности расчётов длина пространственного шага сетки менялась от 270-ти метров (на начальном этапе распространения волны от очага до шельфа) до примерно 17-ти метров вблизи берега. Выяснилось, что на параметры волны цунами у берега существенно влияет длина шага расчётной сетки.

STOCHASTIC AND RANDOMIZED SVD BASED ALGORITHMS FOR SOLVING BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS

Mozartova N. S., Sabelfeld K. K.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SBRAS, NSU, Novosibirsk;
`nmozartova@gmail.com, sabelfeld.karl@yahoo.de`

In this talk we report on a stochastic boundary method which can be considered as a randomized version of the method of fundamental solutions [1]. We analyze the performance of the algorithm, and consider a practically interesting case, the calculation of the capacitance for complicated molecules consisting of a family of overlapped spheres. We focus on the problem of evaluation of derivatives on the boundary, and use a boundary integral equation which involves both the solution and its derivatives. It implies, we deal with integral equations of the first kind, which may be, generally, ill-conditioned. To construct the solution, we use a randomized SVD based method for solving the discrete system of linear equations which in turn is constructed by using a randomized Nystroem method. We give estimations of the error and the cost of the suggested algorithm.

The work has been supported by RFBR under Grants 12-01-00635-a.

REFERENCES

1. **Sabelfeld K. K., Mozartova N. S.** Stochastic boundary collocation and spectral methods for solving PDEs // Monte Carlo Methods and Applications. 2012. V. 18, N 3. P. 217–263.

РАЗРЕШИМОСТЬ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ПСЕВДОПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Намсараева Г. В.

Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ;
gerel@inbox.ru

Работа представляет собой исследование разрешимости обратных задач для для псевдопараболических уравнений (называемых также уравнениями соболевского типа). Обратными задачами для дифференциальных уравнений принято называть такие задачи, в которых вместе с решением неизвестными являются те или иные коэффициенты самого уравнения или (и) его правая часть (внешнее воздействие). В случае если неизвестными будут коэффициенты, обратная задача будет нелинейной, если же неизвестна правая часть, то обратная задача будет линейной (именно такая задача будет рассматриваться в настоящей работе).

Пусть Ω есть интервал $(0,1)$ оси Ox, Q есть прямоугольник $\Omega \times (0,T)$, $(0 < T < +\infty)$, $a(x,t), c(x,t), f(x,t), h(x,t), h_1(x,t), h_2(x,t)$ — известные функции, определенные при $x \in \bar{\Omega}$, $t \in [0,T]$.

Обратная задача I: найти функции $u(x,t)$ и $q(t)$, связанные в прямоугольнике Q, уравнением

$$u_t - u_{xxt} + a(x,t)u_{xx} + c(x,t)u = f(x,t) + q(t)h(x,t), \tag{1}$$

при выполнении для функции $u(x,t)$ условий

$$u(0,t) = u(1,t) = 0, \qquad 0 < t < T, \tag{2}$$

$$u(x,0) = 0, \qquad x \in \Omega, \tag{3}$$

$$u_x(0,t) = 0, \qquad 0 < t < T. \tag{4}$$

Обратная задача II: найти функции $u(x,t)$, $q_1(t)$ и $q_2(t)$, связанные в прямоугольнике Q, уравнением

$$u_t - u_{xxt} + a(x,t)u_{xx} + c(x,t)u = f(x,t) + q_1(t)h_1(x,t) + q_2(t)h_2(x,t), \tag{5}$$

при выполнении для функции $u(x,t)$ условий

$$u_x(0,t) = u_x(1,t) = 0, \qquad 0 < t < T, \tag{6}$$

а также условий (2) и (3).

В качестве условий переопределения в рассматриваемых задачах используются условия граничного переопределения.

Исходные обратные задачи эквивалентным образом редуцируются к новым пространственно-нелокальным краевым задачам для уравнений соболевского типа. Эти задачи имеют и самостоятельное значение. Разрешимость нелокальных задач устанавливается с помощью метода продолжения по параметру и априорных оценок. Решение обратных задач строится по решениям соответствующих нелокальных задач.

Заметим, что обратные задачи указанного выше вида для псевдопараболических уравнений ранее изучались лишь в случае интегрального переопределения (А. И. Кожанов, В. Е. Федоров).

Работа выполнена в рамках проекта «Государственное задание высшим учебным заведениям (2012-2014 гг.) для проведения НИР» (проект № 1.926.2011).

ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В АПРИОРНО ИЗВЕСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ

Ненарокомов А. В.[1], Эмери Э. Ф.[2]

[1] *Московский авиационный институт;*
[2] *University of Washington;*
aleksey.nenarokomov@mai.ru

В большинстве работ, связанных с идентификацией систем с распределенными параметрами, рассматриваются задача идентификации математических моделей в детерминированной постановке. Итерационный метод решения подобных задач заключается в сравнении экспериментальных значений характеристик состояния системы с расчетными (оценкой отклика системы) на каждой итерации с последующим уточнением этой оценки. При реализации подобного алгоритма для компенсации математической некорректности исходной задачи методом итерационной регуляризации учитываются только ошибки в экспериментальных измерениях, а значения характеристик системы предполагаются детерминированными. На практике, наряду с погрешностями измерений, существуют погрешности априорно заданных характеристик математической модели, что в свою очередь приводит к погрешностям в расчетных оценках состояния системы при использовании математических моделей с неопределенностями. При решении задач идентификации обычно представляется возможным определить лишь несколько характеристик математической модели, в то время как все остальные предполагаются известными по результатам экспериментальных исследований или расчетным путем. Поэтому ошибки априорно заданных характеристик математической модели являются неизбежными. Следовательно, естественным образом возникает задача уменьшения влияния погрешностей измерения и погрешностей в коэффициентах математической модели на результаты решения задачи идентификации. Обычно используемые при решении этих задач в стохастических постановках итерационными методами в качестве критериев оптимальности (минимизируемых функционалов) функции максимального правдоподобия также включают в себя лишь оценки погрешностей измерений. В данной работе развивается предложенный авторами подход к учету влияния неопределенностей. При этом обратная задача рассматривается в детерминированной постановке, однако минимизируемый функционал включает в себя наряду с ошибками измерений также и ошибки вычисления характеристик состояния системы из-за неопределенностей в математических моделях. В 1-ой части работы приводится постановка обратной задачи с учетом неопределенностей известных коэффициентов математической модели. Во 2-ой рассматривается построение соответствующего алгоритма идентификации, приводится ряд методических примеров. В 3-ей части рассматривается задача оптимального планирования экспериментов с учетом неопределенностей математической модели. В 4-ой приводятся результаты применения данного подхода при идентификации различных моделей теплопереноса.

РАЗРЕШИМОСТЬ ЛИНЕЙНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА

Николаев О. Ю.

Бурятский государственный университет, Улан-Удэ;
nikolaev.oleg1@yandex.ru

Была рассмотрена задача нахождения вместе с решением $u(x,t)$ линейного параболического уравнения высокого порядка

$$u_t + u_{xxxx} + a(x,t)u = f(x,t) + \sum_{k=1}^{m} q_k(x) h_k(x,t)$$

также коэффициентов $q_k(x)$. При выполнении естественных граничных условий, некоторых условий переопределения, условий принадлежности входных данных определенным функциональным пространствам доказываются теоремы существования и единственности регулярного решения. Ранее подобные задачи изучались при специальных (менее общих, чем в настоящей работе) условиях в работах [1–3].

Работа проводилась при частичной поддержке гранта БГУ-2012.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Кириллова Г. А.** Обратные задачи для параболических уравнений высокого порядка: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. Рубцовск, 2004.
2. **Кожанов А. И., Кириллова Г. А.** О некоторых обратных задачах для параболического уравнения четвертого порядка // Мат. заметки ЯГУ. 2000. Т. 7, вып. 1. С. 35–48.
3. **Кожанов А. И.** Нелинейные нагруженные уравнения и обратные задачи // Журн. вычислит. математики и мат. физики. 2004. Т. 44, № 4. С. 694–716.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕЙ ОСАДКОВ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Огородников В. А., Сересева О. В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
seresseva@mail.ru

В докладе рассматриваются некоторые вопросы, связанные с исследованием вероятностных свойств экстремальных осадков на основе численных стохастических моделей пространственных и пространственно-временных полей суточных сумм жидких осадков на регулярной сетке, а также условных полей осадков при заданных значениях на метеорологических станциях. Для построения моделей полей осадков были использованы данные 15-летних наблюдений за осадками на 47 станциях Новосибирской области для теплого полугодия. Поле осадков строится в виде произведения двух полей — поля индикаторов выпадения осадков и поля сумм осадков. Первое поле строится на основе порогового преобразовании гауссовских полей, а поле сумм осадков на основе метода обратных функций распределения. Для пространственной модели используется однородное приближение по пространственным переменным, а для пространственно-временного поля — однородное приближение по пространственным переменным и стационарное по времени.

На основе этих моделей исследованы некоторые пространственные характеристики выбросов полей осадков. Так, например, на основе безусловной модели пространственных полей осадков рассчитаны вероятности превышения полем осадков заданного уровня в фиксированной подобласти рассматриваемого региона, а также различные моменты этих распределений. Предложена методика проверки качества модели с использованием реальных данных. Показано, что для сравнительно невысоких уровней порядка 1–2 мм, когда данных еще достаточно для оценки этих характеристик, модель с приемлемой точностью описывает реальное поле. Для более высоких уровней по реальным данным эти оценки крайне ненадежны, поэтому оценки по модели могут служить в качестве дополнительной информации.

Были также рассчитаны характеристики суммарного количества осадков, выпавших на заданной территории по условной и безусловной моделям. Безусловная модель позволяет рассчитывать климатические характеристики суммарного количества выпавших на рассматриваемой области, а условная модель позволяет оценивать эту величину для конкретной метеорологической ситуации, а также точность ее оценки в зависимости от плотности сети станций и их расположения в рассматриваемой области.

Пространственно-временная модель позволяет исследовать динамику этих характеристик.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-01-00641).

О ПРИМЕНЕНИИ ВЫСОКОТОЧНЫХ КОМПАКТНЫХ СХЕМ В СОЧЕТАНИИ С МЕТОДОМ ДЕКОМПОЗИЦИИ ОБЛАСТЕЙ

Паасонен В. И.

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск;
Новосибирский государственный университет;
paas@ict.nsc.ru

Ранее была предложена технология [1] расчета краевых задач в кусочно-однородных областях, основаная на аппроксимации условий равенства потоков на границах подобластей односторонними разностями с порядком, совпадающим с порядком аппроксимации схемы. Метод универсален по порядку аппроксимации, по независимости разностных граничных условий от уравнения, по типу уравнений и по классу решаемых задач [2]. Например, технология применялась для различных типов уравнений в декартовых и криволинейных координатах, а также для решения интерполяционных задач.

Ввиду полной аналогии между условиями равенства потоков на границах раздела различных сред и условиями гладкости в виде равенства левых и правых односторонних производных в однородной среде возникла идея применить метод также и к задачам, решаемым с помощью декомпозиции сложной области. Область с участками границ, ориентированными вдоль координатных направлений, делится на непересекающиеся прямоугольники (или на “криволинейные прямоугольники”). На разрезах ставятся “мягкие” граничные условия в виде равенства левых и правых производных. В сеточной области условия гладкости на разрезах аппроксимируются с порядком точности не ниже, чем порядок основной схемы. Привлекательность такого подхода к методу декомпозиции заключается в том, что с его помощью можно решать как стационарные, так и нестационарные задачи, не прибегая к внутренним итерациям. Метод может применяться для высокоточных схем в любых криволинейных ортогональных координатах для любых типов уравнений, если только условия гладкости на разрезах не вступают в противоречие с видом ожидаемого решения. Положительной чертой метода является возможность эквивалентной параллельной реализации алгоритма.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ № 11-01-00294-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Паасонен В. И.** Сходимость параллельного алгоритма для компактных схем в неоднородных областях // Вычислительные технологии. 2005. Т. 10, № 5. С. 81–89.
2. **Ичетовкин Д. А., Паасонен В. И.** Численное исследование высокоточных схем в областях клетчатой структуры // Вычислительные технологии. 2010. Т. 15, № 6. С. 81–86.

ВАРИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пененко В. В.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
penenko@sscc.ru

Представлены новые методы моделирования для исследования многолетней динамики климато-экологической системы, формирования атмосферной циркуляции и изменений качества окружающей среды под влиянием природных и антропогенных факторов.

Для построения системы моделирования мы используем вариационные принципы, для реализации которых применяются методы разделения масштабов процессов и способы понижения размерностей задач с использованием методов декомпозиции и расщепления. Для разделения масштабов в глобальном аспекте используется SVD-аппарат построения ортогональных базисных пространств.

Для реализации вариационных принципов применяется техника интегрирующих множителей с использованием решений сопряженных задач. Такой подход позволяет строить методы прямого и обратного моделирования и на их основе - методы теории чувствительности моделей и функционалов к вариациям входных данных, параметров моделей и источников внешних воздействий, а также методы оценок влияний неопределенностей в системе моделирования и входных данных.

На базе методов чувствительности строятся уравнения обратной связи для решения обратных задач в соответствии с целевыми функционалами качества окружающей среды и критериями безопасности.

Изложение основных положений доклада иллюстрируется примерами типичных задач природоохранного направления. Это задачи по выявлению центров действия климато-экологической системе Земли, а также задачи оценок климато-экологических перспектив и анализа рисков в условиях природных и техногенных воздействий.

Работа частично поддержана Программами фундаментальных исследований № 4 Президиума РАН и № 3 ОМН РАН, проектом РФФИ № 11-01-00187-а, а также интеграционными проектами СО РАН 8 и 35.

ЧИСЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ АТМОСФЕРНЫХ ПРИМЕСЕЙ

Пененко А. В.[1], **Рахметуллина С. Ж.**[2]

[1] *Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;*
[2] *Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан;*
aleks@ommgp.sscc.ru, Rakhmetullinas@mail.ru

В работе рассматриваются численные алгоритмы поиска источников в модели конвекции-диффузии атмосферной примеси. Данными обратной задачи являются известные значения поля концентрации в заданных точках пространственно-временной области.

Представлены результаты применения методики прямого и обратного моделирования, основанной на использовании сопряженных задач. При этом обратная задача сводится к решению недоопределённой системы линейных алгебраических уравнений. Для её решения рассмотрены два подхода: в первом искомой является функция источников на всей пространственно-временной области, представленная в виде линейной комбинации функций из некоторого базиса [1, 2]. Во втором подходе предполагается, что источники являются точечными [3] и искомыми величинами являются их мощности и координаты. Для поиска неизвестных используется оптимизационный алгоритм.

Для численного решения возникающих многомерных прямых и сопряженных задач используются методы расщепления.

Работа частично поддержана Программой № 4 Президума РАН и № 3 ОММ РАН, грантом РФФИ 11-01-00187, интеграционными проектами СО РАН № 8 и 35. Работа проводилась в рамках государственного заказа по бюджетной программе 120 «Грантовое финансирование», Комитет науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Penenko V., Baklanov A., Tsvetova E.** Methods of sensitivity theory and inverse modeling for estimation of source term // Future Generation Computer Systems. 2002. P. 661–671.

2. **Issartel J. P.** Rebuilding source of linear tracers after atmospheric concentration measurements // Atmos. Chem. Phys. Discuss. 2003. P. 3173–3203.

3. **Sharan M., Issartel J. P., Singh S. K.** A point-source reconstruction from concentration measurements in low-wind stable conditions // Quart. J. Royal Meteorological Society. 2012. P. 1884–1894.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНВЕКЦИИ ГРАНУЛИРОВАННОЙ СРЕДЫ В АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Перепечко Ю. В.[1], Сорокин К. Э.[1,2], Имомназаров Х. Х.[2]

[1]*ИГМ СО РАН*, [2]*ИВММГ СО РАН, Новосибирск;*

perep@igm.nsc.ru

В работе [1] были получены нелинейные уравнения движения гранулированной среды в двухжидкостном приближении. Математическая модель построена в однотемпературном приближении в предположении больших времен релаксации давления между фазами. Элементарный объем такой среды характеризуется наличием двух полей скорости и двух давлений. Численный метод решения уравнений двухскоростной гидродинамики с двумя давлениями в системе основан на адаптированном методе контрольного объема. Были исследованы конвективный и напорный течения двухжидкостной и гранулированной сред для различных параметров среды и типов граничных условий.

В данной работе рассматривается двумерная конвекция в заполненной вязкой жидкостью гранулированной среде и влияние на нее низкочастотных акустических волн. Численные расчеты показали заметное влияние акустического воздействия на интенсивность конвекции двухжидкостной среды, особенно при низких числах Ra. Вариация расположения акустического источника приводит к изменению интенсивности конвективного теплопереноса на 10–20 %. Расчеты показали эффективность численной схемы как для моделирования медленных течений гранулированной среды, так и моделирования распространения в ней акустических колебаний.

Работа проводилась при частичной поддержке грантов РФФИ 13-01-00689, 12-05-00625, гранта Минобрнауки России (ГК-07.514.11.4156).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Perepechko Yu., Sorokin K.** Two-velocity dynamics of compositional heterophase media // J. Engineering Thermophys. 2013. V. 22, N 3.

БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО МАЛОМУ ЧИСЛУ ВЕЕРНЫХ ПРОЕКЦИЙ

Пикалов В. В.

Институт теоретической и прикладной механики им. С.А.Христиановича СО РАН, Новосибирск;
pickalov@itam.nsc.ru

Одна из задач восстановления изображения по набору его проекций основательно изучена в работах по применению томографии в физических и медицинских исследованиях [1]. Интегральное преобразование Радона тесно связано с преобразованием Фурье в полярной системе координат, что позволяет применять и его и соответствующий обратный оператор для задач фильтрации любых изображений, не обязательно томографических [2]. Особенностью такой фильтрации является работа не с двумерным фурье-преобразованием, а с последовательностью одномерных фурье-фильтраций каждой проекции.

В докладе дан обзор методов инверсии проекционных данных как для параллельных, так и для веерных схем вычисления проекционных данных, с упором на алгоритмы для малого числа проекций. Уменьшение количества проекций конечно несколько снижает точность фильтрации и восстановления исходного изображения, однако для ряда приложений получаемое приближение вполне достаточно. Для параллельной геометрии вычисления проекций хорошим качеством реконструкции обладает итерационный алгоритм Гершберга — Папулиса (Г-П) [3], в котором в итерациях уточняется фурье-образ изображения. В работе [4] развита теория метода Г-П для веерной схемы вычисления проекций. К сожалению, в этом варианте алгоритма Г-П резко возрастает объем вычислений.

В работе проведено численное моделирование для нового быстрого веерного алгоритма, в котором часть этапов по нелинейной деформации изображения переносится в одномерное фурье-пространство, что ускоряет алгоритм Г-П.

Работа выполнена при частичной поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 14.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Herman G. T.** Image reconstruction from projections: The fundamentals of computerized tomography. N. Y.: Academic Press, 1980.
2. **Пикалов В. В., Казанцев Д. И.** Итерационное восстановление возмущения синограммы в пространстве Радона для задачи стеганографии // Вычислительные методы и программирование. 2008. Т. 9, № 1. С. 1–9.
3. **Пикалов В. В., Непомнящий А. В.** Итерационный алгоритм с вэйвлет-фильтрацией в задаче двумерной томографии // Вычислительные методы и программирование. 2003. Т. 4, № 2. С. 244–253.
4. **Пикалов В. В., Казанцев Д. И., Голубятников В. П.** Обобщение теоремы о центральном сечении на задачу веерной томографии // Вычислительные методы и программирование. 2006. Т. 7, № 2. С. 180–184.

О КРАЕВЫХ ЗАДАЧАХ ДЛЯ НОВЫХ КЛАССОВ УРАВНЕНИЙ СОБОЛЕВСКОГО ТИПА

Пинигина Н. Р.

Северо-Восточный федеральный университет
им. М. К. Аммосова, Якутск;
n-pinig@mail.ru

Уравнения соболевского типа возникают во многих прикладных задачах. Например, уравнениями соболевского типа описываются процессы малых колебаний вращающейся идеальной жидкости, динамика продольных волн в стержнях или в плазме, процессы фильтрации жидкости в трещиноватых породах и многие другие.

В настоящем докладе излагаются некоторые новые результаты о разрешимости краевых задач для некоторых классов уравнений соболевского типа.

В частности, изучается разрешимость

1. Начально-краевой задачи для “ультрапараболического” уравнения соболевского типа

$$u_\tau + Au_t + Bu = f(x,t,\tau),$$

с эллиптико-параболическим оператором A и эллиптическим оператором B, действующими по пространственным переменным.

2. Начально-краевой задачи для уравнения четвертого порядка вида

$$u_t + Au_{yy} + Bu = f(x,y,t),$$

где A эллиптико-параболический оператор и B — эллиптический оператор, действующие по пространственным переменным $x = (x_1, \dots, x_n)$.

3. Нелокальной по времени краевой задачи для уравнения

$$Au_t + Bu = f(x,t)$$

с эллиптико-параболическим оператором A и эллиптическим оператором B, действующими по пространственным переменным.

4. Краевой задачи в нецилиндрической области для уравнения

$$u_t - u_{xxt} - Au_t - Bu = f(x,y,t)$$

где A — эллиптико-параболический оператор действующий по переменным $y = (y_1, \dots, y_n)$, B — эллиптический оператор также действующий по переменным $y = (y_1, \dots, y_n)$.

Основной целью является доказательство существования регулярных решений (т. е. решений, имеющих все производные, входящие в уравнение).

ПОИСК НАИЛУЧШИХ КУБАТУРНЫХ ФОРМУЛ ДЛЯ СФЕРЫ, ИНВАРИАНТНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНО ГРУПП СИММЕТРИИ ПРАВИЛЬНЫХ МНОГОГРАННИКОВ

Попов А. С.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
popov@labchem.sscc.ru

Основы теории кубатурных формул на сфере, инвариантных относительно конечных групп вращений, были заложены С. Л. Соболевым [1]. К настоящему времени наибольшее распространение получили кубатурные формулы, инвариантные относительно групп симметрии правильных многогранников (работы В. И. Лебедева, И. П. Мысовских, С. И. Коняева, А. Д. Макларена и др.).

В работе [2] был предложен новый критерий оптимальности кубатурной формулы на сфере, инвариантной относительно любой заданной группы симметрии. В дальнейшем этот критерий был использован для поиска всех наилучших (в некотором смысле) кубатурных формул разных порядков точности n, инвариантных относительно групп вращений октаэдра и икосаэдра, а также группы вращений тетраэдра с инверсией.

В данной работе будет описан алгоритм поиска инвариантных кубатурных формул для сферы, наилучших среди всех групп симметрии правильных многогранников. Будут проведены расчёты по этому алгоритму с целью определить параметры всех наилучших кубатур данного вида симметрии для $n \leqslant 29$. При этом для $n \leqslant 11$ будут найдены точные значения параметров соответствующих кубатур, а для остальных n — приближённые, полученные путём численного решения систем нелинейных алгебраических уравнений методом ньютоновского типа.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-01-00427-а).

ЛИТЕРАТУРА

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. матем. 2002. Т. 5, № 4. С. 367–372.

ОЦЕНИВАНИЕ ЭМИССИИ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ПО ДАННЫМ ВНЕШНЕГО МОНИТОРИНГА

Рапута В. Ф.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
raputa@sscc.ru

Рассмотрена задача оценивания мощности приподнятого атмосферного источника газоаэрозольной примеси по данным наземных измерений поля концентрации. В качестве основного дополнительного ограничения использовано полуэмпирическое уравнение турбулентной диффузии. Применительно к типичным описаниям полей скорости ветра и турбулентного обмена в приземном слое атмосферы на основе решений этого уравнения получены асимптотические представления приземных полей концентраций для лёгкой и оседающей полидисперсной примеси.

Апробация предложенной модели оценивания эмиссии источника проведена на данных натурных исследований пылевого загрязнения снежного покрова атмосферными выбросами Искитимского цементного завода. Выявленные устойчивые количественные закономерности выпадения пыли по радиальным относительно основного источника направлениям позволили восстановить по весьма ограниченному числу точек пробоотбора суммарное поле выпадений в окрестностях промышленного предприятия и, в конечном итоге, провести оценку атмосферных выбросов заводом цементной пыли в зимнем сезоне 2012/13 гг.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ К ЗАДАЧАМ О НАКОПЛЕНИИ ВОЗМУЩЕНИЙ

Рогалев А. Н.

Институт вычислителдьного моделирования СО РАН, Красноярск;
rogalyov@icm.krasn.ru

Рассматривается система обыкновенных дифференциальных уравнений, правая часть которой зависит от воздействий, определяемых нашим выбором, а также факторов, на выбор которых повлиять не возможно—возмущений системы. Требуется вычислить границы множеств решений этой системы, в случае когда для нее поставлена задача с начальными данными или с краевыми условиями, известны лишь границы, которые включают все возможные значения

$$\frac{dy}{dt} = f(y(t)), \quad y_i(t^0) \in \mathbf{Y_i^0}, \quad i = 1, \ldots, n, \quad Y|_{\partial\Gamma} \in G.$$

Требуется проанализировать поведение объекта (системы) при всем диапазоне возмущений коэффициентов, образованном экстремальными (самыми неблагоприятными) значениями этих параметров. В докладе излагаются новые методы оценивания границ множеств решений дифференциальных уравнений, основанные на символьном представление решений и вычислении гарантированных границ всех решений с учетом глобальной ошибки [1–5]. Приводятся результаты оценивания решений многих систем дифференциальных уравнений, появляющихся в задачах накопления возмущений, и в задачах практической устойчивости при постоянно действующих возмущениях на конечном интервале времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Новиков В. А., Рогалев А. Н.** Построение сходящихся верхних и нижних оценок решений систем обыкновенных дифференциальных уравнений// Журн. вычислительной математики и математической физики. 1993. Т. 33, № 2. С. 219–231.
2. **Рогалев А. Н.** Вычисление гарантированных границ множеств достижимости управляемых систем // Автометрия. 2011. Т. 47, № 3. С. 100–112.
3. **Рогалев А. Н., Рогалев А. А.** Численный расчет включений фазовых состояний в задачах наблюдения за движением самолета // Вестник СибГАУ. 2012. Т. 41, № 1. С. 53–57.
4. **Rogalev A. N.** Calculation of guaranteed boundaries of reachable sets of controlled systems // Optoelectron., Instrum. Data Process. 2011. V. 47, N 3. P. 287–296.
5. **Рогалев А. Н.** Гарантированный метод определения устойчивости на конечном интервале времени // Труды Всероссийской конференции “Актуальные проблемы вычислительной математики и математического моделирования”. Новосибирск, ИВМиМГ, 2012.

STOCHASTIC SIMULATION OF INHOMOGENEOUS DIFFUSION-REACTION COAGULATION-FRAGMENTATION PROCESSES WITH ANNIHILATION GOVERNED BY MANY SPECIES SMOLUCHOWSKI EQUATIONS

Sabelfeld K. K.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SBRAS, NSU, Novosibirsk;
sabelfeld.karl@yahoo.de

The coagulation of particles under diffusion controlled conditions has been well studied in many theoretical and experimental research works and a huge literature exists in this field (e.g., see the references in [1]). In the simple case of one specie homogeneous Smoluchowski equation without diffusion, there are both deterministic and stochastic models and algorithm which are able to solve practically interesting problems. If we however turn to inhomogeneous case, the situation is drastically changed: you can find little theoretical studies and simulation algorithms to handle the spatial variability, in particular, the diffusion of coagulating particles (e.g., [2]).

In this lecture we present a series of extensions of the nonlinear integro-differential equations (we call them Smouchowski type equations) governing the kinetics of processes which include: spatially inhomogeneity, diffusion, many species, fragmentation-coagulation, annihilation of different species, and sink to randomly distributed capture centers. The main difficulty in these problems is its multiscale character: the diffusion and coagulations rates, for instance, differ in many orders of magnitudes. Also, the inhomogeneity leads to segregations, so the spatial correlations are varying with time, which implies, the standard approaches fail. We suggest new stochastic algorithm which is able to efficiently simulate this kind of processes by introducing a macroscopic random time step of the diffusion and combining it with the Random Walk on Spheres method. Practically interesting examples are also given to show the performance of the suggested method. It should be mentioned that the method is generally enough, in particular, to be able to simulate kinetics of diffusion-reaction processes, annihilation of electrons and holes in semiconductors, recombination processes on defects and many others. Important issue is the time asymptotics of the solutions to the Smoluchowski type equations which we study both theoretically and through simulations.

The work has been supported by RFBR under Grant 12-01-00635-a.

REFERENCES

1. **Sabelfeld K. K.** Random fields and stochastic Lagrangian models. Berlin/Boston: De Gruyter, 2012.
2. **Kolodko A. A., Sabelfeld K. K.** Stochastic Lagrangian model for spatially inhomogeneous Smoluchowski equation governing coagulating and diffusing particles // Monte Carlo Methods and Applications. 2001. V. 7, N 3/4. P. 223–228.

A SPECTRAL INVERSION OF THE SPHERICAL POISSON INTEGRAL EQUATION FOR SOLVING PDES: PERFORMANCE ANALYSIS

Sabelfeld K. K., Levykin A. I.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SBRAS, NSU, Novosibirsk;
sabelfeld.karl@yahoo.de, lai@osmf.sscc.ru

Many practically interesting problems can be well described by PDEs for domains consisting of a set of overlapped discs, planes (2D), balls and half-spaces (3D) (e.g., see the references in [1]). Conventional approach based on a refinement grid near the singular points may lead to accuracy decreasing and computer memory problems, especially for large-scale 3D problems. We report on the performance of the spectral method suggested in [1] which is based on the inversion of the plane and spherical Poisson type integral relations. We present the results of numerical simulations and give estimations of the accuracy as functions of the number of harmonics used, the cut-off around the singularities, and estimate the cost as well.

The work has been supported by RFBR under Grant 12-01-00635-a.

REFERENCES

1. **Sabelfeld K. K.** A stochastic spectral projection method for solving PDEs in domains composed by overlapping discs, spheres, and half-spaces // Applied Mathematics and Computation. 2013. V. 219, N 10. P. 5123–5139.

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИНЫ

Савельев Л. Я.

Новосибирский государственный университет;
savelev@math.nsc.ru

Рассматривается рекуррентная последовательность случайных переменных $x = (x[n])$, определяемая равенствами $x[n] = x[n-1] + y[n]$, $x[0] = 0$,

$$\alpha[n-1](a\xi[n] + b(1-\xi[n])) + \beta[n-1](c\xi[n] + d(1-\xi[n])) + \gamma[n-1](e\xi[n] + f(1-\xi[n])) + g$$

где $\xi = (\xi[n])$ — последовательность Бернулли независимых случайных переменных, принимающих значения 0 и 1 с вероятностью $1/2$ и a, b, c, d, e, f, g — различные вещественные числа. Сигнатурное управление задается последовательностями случайных переменных $\alpha = (\alpha[n])$, $\beta = (\beta[n])$, $\gamma = (\gamma[n])$, определяемыми равенствами $\alpha[n] = 1$, если $x[n] > 0$, и $\alpha[n] = 0$, если $x[n] <= 0$; $\beta[n] = 1$, если $x[n] = 0$, и $\beta[n] = 0$, если $x[n]! = 0$; $\gamma[n] = 1$, если $x[n] < 0$, и $\gamma[n] = 0$, если $x[n] >= 0$.

Такие последовательности естественно называть линейными авторегрессионными с внутренним сигнатурным управлением. Они могут описывать широкий класс различных процессов. В частности, при соответствующем подборе параметров, их можно использовать для моделирования развития пространственной трещины в различных средах. Реализации (траектории) последовательности x определяемая реализациями последовательности Бернулли $\xi = (\xi[n])$.

В докладе излагаются некоторые общие соображения о линейных авторегрессионных последовательностях с внутренним сигнатурным управлением и результаты статистического анализа конкретной последовательности, моделирующей процесс развития трещины в плоской проекции.

Работа проводилась при частичной поддержке РФФИ (проект 13-01-00275).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Савельев Л. Я., Балакин С. В.** Некоторые применения стохастической теории серий // Сиб. журн. инд. математики. 2012. Т. 15, № 3. С. 111–123.
2. **Лаврентьев М. М., Савельев Л. Я., Балакин С. В.** Специальные операторные уравнения // Сиб. журн. инд. математики. 2007. Т. 10, № 3. С. 84–97.
3. **Черепанов Г. П.** Механика разрушения. М.; Ижевск: ИКИ, 2012.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С НЕКОТОРЫМ НЕИЗВЕСТНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ, ЗАВИСЯЩИМ ОТ ВРЕМЕНИ

Сафиуллова Р. Р.

Башкирский государственный университет (Стерлитамакский филиал), Стерлитамак;
regina-saf@yandex.ru

Пусть D есть интервал $(0,1)$, Q есть прямоугольник $D\times(0,T)$ конечной высоты T, x есть точка области D, t есть точка интервала $(0,T)$. Далее, пусть $f(x,t)$, $\varphi_0(t)$, $\psi_1(t)$, $u_0(x)$, $u_1(x)$, $\varphi_1(t)$ есть заданные функции, определенные при $x\in\overline{D}$, $t\in[0,T]$.

Краевая задача: найти функции $u(x,t)$, $q(t)$, связанные в Q уравнением

$$u_{tt}-u_{xx}+q(t)u=f(x,t), \tag{1}$$

при выполнении для функции $u(x,t)$ условий

$$u(x,0)=u_0(x),\quad u_t(x,0)=u_1(x),\quad x\in D, \tag{2}$$

$$u_x(0,t)=\varphi_1(t),\quad u_x(1,t)=\psi_1(t),\quad t\in(0,T), \tag{3}$$

$$u(0,t)=\varphi_0(t),\quad t\in(0,T). \tag{4}$$

Введем обозначения

$$A(t)=\frac{f(0,t)-\varphi_0''(t)}{\varphi_0(t)},\quad a(x,t)=\frac{x^2}{2}\Big[\frac{\psi_1(t)-\varphi_1(t)}{\varphi_0(t)}\Big]+x\,\frac{\varphi_1(t)}{\varphi_0(t)},$$

$$s_1=\frac{1}{8}-2\max_{\overline{Q}}a_x^2(x,t),\quad s_2=\frac{1}{2}-\frac{1}{8}\max_{[0,T]}\Big|\frac{1}{\varphi_0(t)}\Big|.$$

Определим необходимое ниже пространство V:

$$V=\{v(x,t): v\in W_2^2(Q),\ v_{xx}\in W_2^1(Q),\ v_{xxxt}\in L_2(Q)\}.$$

Определим класс W:

$$W=\{\{u(x,t),q(t)\}: u,u_x,u_{xx}\in V,\ q\in L_\infty([0,T]),\ q\ge 0\}.$$

Теорема. Пусть для функций $f(x,t)$, $\varphi_0(t)$, $\varphi_1(t)$, $\psi_1(t)$, $u_0(x)$ и $u_1(x)$ выполняются включения $f(x,t)\in W_2^3(Q)$, $\varphi_1(t)\in W_2^4([0,T])$, $\psi_1(t)\in W_2^4([0,T])$, $u_0(x)\in W_2^5(D)$, $u_1(x)\in W_2^4(D)$, $\varphi_0(t)\in W_2^3([0,T])$. Кроме того, пусть выполняются условия

$$u_0'(0)=\varphi_1(0),\quad u_0'(1)=\psi_1(0),\quad \varphi_0'(0)=u_1(0),\quad \varphi_0(t)\ne 0,\quad 0<t<T,$$

$$\psi_1''(t)+A(t)\psi_1(t)-f_x(1,t)\equiv 0,\quad \varphi_1''(t)+A(t)\varphi_1(t)-f_x(0,t)\equiv 0,$$

$$s_1>0,\quad s_2>0,\quad T<T^*,\quad A(t)\ge 0,\quad A_t(t)\le 0,\quad 0\le t\le T,$$

Тогда обратная задача (1)–(4) имеет решение $\{u(x,t),q(t)\}$ такое, что $u(x,t)\in V$, $q(t)\in L_\infty([0,T])$, и притом в множестве W это решение единственно.

О РЕШЕНИИ УРАВНЕНИЯ ВОЛЬТЕРРА ПЕРВОГО РОДА

Сгибнев М. С.

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск;
sgibnev@math.nsc.ru

Рассмотрим уравнение Вольтерра первого рода

$$\int_0^x k(x-y)z(y)\,dy = f(x), \qquad x \ge 0, \tag{1}$$

где $z(x)$ — неизвестная функция, известные функции $f(x)$ и $k(x)$ имеют непрерывные производные, $f(0) = 0$, $k(0) = 1$, $k'(x) \le 0$ всюду, $\int_0^\infty |k'(x)|\,dx = 1$. Дифференцируя (1), приходим к уравнению Вольтерра второго рода

$$z(x) + \int_0^x k'(x-y)z(y)\,dy = f'(x), \qquad x \ge 0, \tag{2}$$

которое в теории вероятностей известно как *уравнение восстановления*. При сделанных предположениях функция $p(x) := -k'(x)$, $x \ge 0$, — плотность распределения вероятностей. С одной стороны, по теореме Ле Ру (Le Roux) [1, § 554] уравнение (1) допускает в $(0,\infty)$ непрерывное решение и притом единственное. С другой стороны, функция $z(x) := f'(x) + \int_0^x f'(x-y)h(y)\,dy$ является решением уравнения (2) и, следовательно, $z(x)$ — решение исходного уравнения (1); здесь $h(x) := \sum_{n=1}^\infty p^{n*}(x)$ — *плотность восстановления*, $p^{n*}(x)$ — n-кратная свертка плотности $p(x)$: $p^{1*}(x) := p(x)$, $p^{(n+1)*}(x) := \int_0^x p^{n*}(x-y)p(y)\,dy$, $n \ge 1$.

Определение (см. [2, гл. XI, § 1]). Пусть на множестве $[0,\infty)$ задана функция $g(x)$. При фиксированном $h > 0$ обозначим через m_n и M_n, соответственно, минимум и максимум $g(x)$ на $[(n-1)h, nh]$. Предположим, что ряды $\underline{\sigma} = h\sum m_n$ и $\overline{\sigma} = h\sum M_n$ сходятся абсолютно. Условимся говорить, что функция $g(x)$ является *непосредственно интегрируемой по Риману*, если для любого $\varepsilon > 0$ при достаточно малом h $\overline{\sigma} - \underline{\sigma} < \varepsilon$. Общий предел сумм $\underline{\sigma}$ и $\overline{\sigma}$ при $h \to 0$ называется интегралом функции $g(x)$ от 0 до ∞: $\int_0^\infty g(x)\,dx := \lim_{h\to 0}\underline{\sigma} = \lim_{h\to 0}\overline{\sigma}$.

Теорема. *Предположим дополнительно, что функция $f'(x)$, $x \ge 0$, непосредственно интегрируема по Риману. Тогда решение $z(x)$ уравнения* (1) *обладает следующим асимптотическим свойством*:

$$z(x) \to \frac{1}{\mu}\int_0^\infty f'(x)\,dx = \frac{f(\infty)}{\mu}, \qquad x \to \infty,$$

где $\mu := \int_0^\infty xp(x)\,dx = \int_0^\infty k(x)\,dx \in (0,\infty]$ и $f(\infty) := \lim_{x\to\infty} f(x)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гурса Э.** Курс математического анализа. М., Л.: Гостехтеоретиздат, 1934. Т. 3. Ч. II.
2. **Феллер В.** Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М.: Мир, 1967. Т. 2.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ФРОНТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Сердюков А. С.[1], Дучков А. А.[2]

[1]*Новосибирский государственный университет, Новосибирск;*
[2]*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск;*
`AleksanderSerdyukov@yandex.ru`

В работе предлагается алгоритм моделирования волнового поля в окрестности фронтов сейсмических волн на основе комбинирования методов расчета времен пробега сейсмических волн с методами численного решения уравнений упругости во временной области.

Алгоритм состоит из двух этапов. На первом этапе происходит расчет времен пробега волны во всей целевой области на основе конечно-разностного решения уравнения эйконала [1]. На втором этапе происходит численное решение уравнений упругости в окрестности фронта рассматриваемой волны, положение которого уже вычислено на первом этапе алгоритма [2].

При решении обратных задач зачастую оказывается, что большая часть времени и ресурсов тратится впустую: волновое поле рассчитывается сразу во всей области, в то время как для решения задач сейсморазведки часто необходимы отдельные волны, например, только амплитуда первых вступлений прямой волны. Так же часть волн может «потеряться» на фоне более сильных по амплитуде и их не удастся найти с достаточной точностью.

Предлагаемый метод позволяет моделировать распространение отдельных волн, значительно быстрее, чем это можно сделать решая уравнения теории упругости во всей целевой области, при этом не используя высокочастотную аппроксимацию.

Применение алгоритма позволит значительно ускорить восстановление границ в среде методом миграции в обратном времени. Так же на основе выборочного моделирование отдельных волн возможно улучшить качество миграции под высокоскоростными включениями типа соляных тел. Алгоритм целесообразно применять в сейсмической томографии на основе различных типов волн: прямой волны в случае межскважинного просвечивания, рефрагированных волн в поверхностной сейсмике и сейсмологии, отраженных и головных волн при восстановлении верхней части разреза.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Sethian J. A.** Fast marching methods // SIAM Review. 1999. V. 41, N 2. P. 199–235.
2. **Virieux J.** P-SV wave propagation in heterogeneous media: Velocity-stress finite-difference method // Society of Exploration Geophysicists. Geophysics. 1986. V. 51, N 4. P. 889–901.

ОТКЛИК ШЕРОХОВАТЫХ ГРАНИЦ НА СТАЦИОНАРНУЮ НАГРУЗКУ

Сибиряков Е. Б.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука, Новосибирск;
sibiryakoveb@ipgg.sbras.ru

Общепринятой является точка зрения, что отражательные свойства шероховатых границ такие же, как и у гладких, если длина волны много больше характерного размера шероховатости. В то же время, площадь поверхности шероховатых границ много больше, чем у гладких, что может изменить отражательные свойства в некотором диапазоне частот и углов. Известно, например, что при закритических отражениях шероховатая граница ведёт себя подобно гладкой, но при нормальном падении регулярное отражение отсутствует. Целью работы является выявление особых отражательных свойств подобных границ, а также возможностей их обнаружения.

Для того, чтобы определить отражательные свойства таких границ, необходимо решать упругую задачу стационарных колебаний с выставлением граничных условий жёсткого контакта на границе раздела упругих сред. Верхняя поверхность - гладкая, а нижняя - либо шероховатая, либо также гладкая. Соответственно, на верхней поверхности задаётся достаточно локализованная нагрузка (источник), на этой же поверхности вычисляется вектор перемещений. При этом перемещения есть отклик на монохромную нагрузку двухслойной среды либо с гладкой, либо с шероховатой границей.

Задачи решались методом граничных интегральных уравнений. Модификация метода заключалась в том, что в качестве ядра использовался не отклик на дельта-нагрузку, приложенную к полупространству, а отклик на конечно-разностный аналог дельта-функции, то есть нагрузку, сосредоточенную не в точке, а «размазанную» на несколько элементарных ячеек.

В итоге было сделан вывод, что представляется целесообразным для нахождения решений краевых задач стационарных колебаний теории упругости использовать ядра интегральных уравнений, которые представляют собой отклик на δ-функцию с ограниченным пространственным спектром, либо отклик на производную от такой функции. Это позволяет получать регулярные аналоги фундаментальных решений для полупространства. Для смешанных задач это позволит существенно улучшить обусловленности системы уравнений. Если расстояние между поверхностями составляет от одной десятой до одной эффективной длины поперечной волны, то наличие шероховатости на границе раздела может достаточно существенно, а иногда даже качественно, менять отражательные свойства таких границ. Также можно сказать, что зондирование монохроматическими колебаниями слоистых сред может оказаться перспективным для обнаружения таких качественных свойств сейсмических границ, как их возможная шероховатость.

ПАРАМЕТРЫ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДВУМЕРНОГО ПОЛЯ SAR ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ТЕКСТУР

Сидорова В. С.

Институт вычислительной математики и математической геофизики, Новосибирск;
svs@ooi.sscc.ru

Параметры авторегрессионой модели стохастического двумерного поля SAR (Simultaneous Autoregressive) приближенно вычисляются в каждой точке изображения и в качестве статистических текстурных признаков применяются при его сегментации. Для их вычисления используется метод максимального правдоподобия (ML).

Сегментация изображения осуществляется глобально, что предполагает предварительную кластеризацию пространства признаков, и затем установление соответствия между пикселями изображения и кластерами.

Для кластеризации признаков предложен новый дивизимный гистограммный иерархический алгоритм с поиском кластеров заданной отделимости. Алгоритм позволяет получить небольшое число хорошо разделенных кластеров. В его основе метод Нарендры. Алгоритм применялся для автоматической неконтролируемой классификации лесных ландшафтов на аэроснимках. Оценка качества полученных кластерных распределений показала, что текстурные признаки, основанные на модели SAR, обладают большей различительной мощностью по сравнению с признаками широко известной статистики Харалика.

Работа проводилась при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 10- 07-00131, № 13-07-00068).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Sidorova V. S.** Unsupervised classification of forest’s image by texture model features // Pattern Recognition and Image Analysis. 2009. V. 19, N 4. P. 698–703.
2. **Сидорова В. С.** Алгоритм кластеризации текстурных данных дистанционного зондирования // Автометрия. 2010. Т. 46, № 5. С. 43–52.
3. **Sidorova V. S.** Hierarchical algorithm to search assigned separability clusters of remote sensing data // German-Russian Workshop OGRW-8-2011. Nizhny Novgorod, 2011. P. 269–272.

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ОДНОГО КЛАССА ЭВОЛЮЦИОННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Сказка В. В.

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск;
skazka@math.nsc.ru

Рассмотрим в гильбертовом пространстве H следующее дифференциальное уравнение

$$u'' = -A^2 u + \varepsilon B(t) u \tag{1}$$

Для уравнения (1) задаются начальные данные

$$u|_{t=0} = u_0, \quad u_t|_{t=0} = u_1 \tag{2}$$

Будем предполагать, что A — самосопряжённый, ограниченный оператор, а $B(t)$ — почти периодическая по t операторнозначная функция. Если $H = R^1$, то (1) — это аналог уравнения Хилла и у задачи (1), (2) может возникнуть эффект параметрического резонанса, см., например [1]. Однако, если спектр у оператора A абсолютно непрерывный, то можно привести достаточные условия на операторы A и B для того, что бы нулевое решение задачи (1), (2) устойчиво при малых ε. К сожалению, эти условия достаточно громоздки, поэтому в тезисе мы приведем просто пример уравнения, для которых они выполняются.

Рассмотрим следующую задачу:

$$\frac{d^2u(s,t)}{dt^2} = -s^2 u + \varepsilon \int_1^2 K(\xi,s,t) u(\xi,t)\, d\xi$$

$$u|_{t=0} = u_0(s), \ u'_t|_{t=0} = u_1(s) \tag{3}$$

в пространстве $H = L_2(1,2)$. Здесь $K(\xi,s,t) = \sum_{n>0} c_n K_n(\xi,s) e^{i\lambda_n t}$ – почти периодическая по t функция. Предполагается, что $K_n(\xi,s) \in C^3([1,2]\times[1,2])$, причём $K_n = 0$ на границе $[1,2]\times[1,2]$ и

$$\sum_{n=1}^{\infty} |c_n| < C, \ \ \|K_n\|_{C^3} \leqslant C\ ,$$

где C — некоторая константа.

Утверждение. *При выполнении вышеперечисленных условий существуют константы $\varepsilon_0 > 0$ и $L > 0$ такие, что при $|\varepsilon| < \varepsilon_0$ для решений задачи* (3) *справедлива оценка: $\|u(t)\|_H \leqslant L\,(\|u_0\|_H + \|u_1\|_H)$.*

Работа проводилась при частичной поддержке программы Президиума РАН (программа фундаментальных исследований № 15) и Сибирского отделения РАН (междисциплинарные интеграционные проект №№ 30, 130).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Якубович В. А., Старжинский В. М.** Параметрический резонанс в линейных системах. М. Наука, 1962.

О ДИЛАТАНСНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ, УЧАСТВУЮЩИХ В ФОРМИРОВАНИИ КОРНЕВЫХ СТРУКТУР И ВЫВОДЯЩИХ КАНАЛОВ ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ

Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е.

Институт физики Земли им.О. Ю. Шмидта РАН, Москва;
alex@ifz.ru, sobis@ifz.ru

Грязевой вулканизм — сложное, во многом загадочное геологическое явление. Оживление во второй половине XX столетия грязевулканической деятельности на суше и в море, необычный характер наблюдаемых в процессе извержения геолого-геофизических и сейсмических явлений, привлекли внимание научной общественности к этим впечатляющим природным образованиям, поставили перед геофизиками и вулканологами весьма трудную задачу — установить природу грязевого вулканизма, его мнимые и реальные геоэкологические опасности.

Открытие академиком А. С. Алексеевым и его учениками пограничного слоя дилатансии и выполненный теоретический анализ этого явления применительно к построению модели обобщённого предвестника землетрясений [1] позволили поновому взглянуть на многие проблемы современной геофизики и вулканологии.

В настоящей работе развиваются новые подходы к анализу некоторых геолого-геофизических структур дилатансного типа, которые обнаружены в теле вулканической постройки грязевых вулканов [2]. Получены новые экспериментальные данные, подтверждающие важную роль дилатансных структур, определяющую в конечном итоге характер и масштаб грязевулканической деятельности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 14.518.11.7051 от 19 июля 2012 года) и Российской академии наук (программа фундаментальных исследований № 4 Президиума РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Alekseev A. S.** Multidisciplinary mathematical model of combined forechock for earthquake prediction research // J. Earthquake Prediction Research. 1993. V. 2, N 2. P. 137–150.

2. **Собисевич А. Л.** Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. М.: ИФЗ РАН, 2012.

3. **Собисевич Л. Е., Собисевич А. Л.** Волновые процессы и резонансы в геофизике. М.: ОИФЗ РАН, 2001.

К ВОПРОСУ ОБ АНОМАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ В ОЧАГОВЫХ ЗОНАХ КРУПНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е., Ковалевский В. В., Глинский Б. М.

ИФЗ РАН, Москва
ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск;
sobis@ifz.ru, kovalevsky@sscc.ru

Рассмотрены результаты многолетних инструментальных наблюдений геодинамических, геомагнитных и других сопутствующих геолого-геофизических процессов в литосфере, отражающих генерацию аномальных магнитных возмущений на этапах подготовки и развития крупных сейсмических событий. Начало работ по проблеме связано с проведением по инициативе академика Анатолия Семеновича Алексеева специализированных экспериментов на Быстровском полигоне СО РАН в 1992 году. В этот период Анатолий Семенович начал развивать свою теорию интегрального предвестника землетрясений [1].

В процессе выполнения работ на полигоне нами впервые были зарегистрированы магнитные сигналы, наведенные мощными сейсмическими вибраторами [2]. Впоследствии, обнаруженное геофизическое явление, было проанализировано и сопоставлено со структурой дилатансных образований в районе штампа вибратора [3].

Дальнейшее изучение проблемы проводилось на базе Северокавказской геофизической обсерватории, созданной сотрудниками лаборатории прикладной геофизики и вулканологии ИФЗ РАН в районе Эльбрусского вулканического центра [4]. Здесь в течение 10 лет проводится изучение аномальных магнитных возмущений, наведенных как на этапах подготовки, так и в процессе развития сейсмических событий во всех регионах Земли [5].

Полученные к настоящему времени экспериментальные данные дают основания полагать, что причина появления аномальных магнитных возмущений связана в первую очередь с нелинейными взаимодействиями разномасштабных дилатансных структур, случайным образом распределенных в той области геологической среды, которая «задействована» в процессе подготовки крупного сейсмического события. При этом пока не идет речь о краткосрочном прогнозе землетрясений, так как регистрация на фоне существующих вариаций магнитного поля Земли характерных аномальных магнитных возмущений, предшествующих началу сильного сейсмического события, не позволяет пока определить его масштаб и точные координаты [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 14.518.11.7051 от

19 июля 2012 года) и Российской академии наук (программа фундаментальных исследований № 4 Президиума РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Alekseev A. S.** Multidisciplinary mathematical model of combined forechock for earthquake prediction research // J. Earthquake Prediction Research. 1993. V. 2, N 2. P. 137–150.
2. **Глинский Б. М., Ивакин А. Н., Ковалевский В. В., Левшенко В. Т., Руденко О. В., Собисевич А. Л., Собисевич Л. Е.** Изучение сейсмомагнитных эффектов, возникающих при вибровоздействии на среду // ИФЗ РАН. Развитие методов и средств экспериментальной геофизики. 1996. Вып. 2. С. 226–234.
3. **Собисевич Л. Е., Собисевич А. Л.** Волновые процессы и резонансы в геофизике. М.: ОИФЗ РАН, 2001.
4. **Собисевич А. Л.** Мониторинг слоистых неоднородных сред. М.: ОИФЗ РАН, 2001.
5. **Собисевич А. Л.** Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. М.: ИФЗ РАН, 2012.
6. **Собисевич Л. Е., Канониди К. Х., Собисевич А. Л.** Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений // Докл. АН. Геофизика. 2010. Т. 435, № 4. С. 548–553.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА НЕКОГЕРЕНТНОГО РАССЕЯНИЯ

Ташлыков В. П., Васильев Р. В, Алсаткин С. С., Щербаков А. А.

Институт Солнечно-Земной физики СО РАН;
tashlycov.victor@gmail.com

Метод некогерентного рассеяния (НР) — это техника исследования характеристик ионосферной плазмы посредством радиозондирования ионосферы. Сигнал некогерентного рассеяния образуется в результате отклика ионосферной плазмы на зондирующий импульс. По его спектру можно оценивать температуры ионов и электронов и скорость дрейфа плазмы. Изучение эволюции этих характеристик во времени играет определяющую роль в прогнозировании космической погоды. Особенности конструкции антенн Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР) позволяют излучать и принимать радиоволны строго линейной поляризации, что требует учитывать вращение плоскости поляризации электромагнитной волны при распространении в замагниченной плазме ионосферы (эффект Фарадея). С одной стороны это значительно упрощает процесс восстановления высотного профиля электронной концентрации, с другой — вносит некоторую погрешность в метод определения ионных температур. Данную погрешность можно определить с помощью численного моделирования среды, в которой распространяется сигнал НР. Задача создания адекватной модели взаимодействия ионосферы с зондирующим сигналом ставилась и перед авторами статей [1, 2]. Предложенная в данной работе модель представляет собой одномерное дискретное пространство, разделенное по высотам от 130 до 1300 км. с шагом 0,6 км. На каждой высоте этого пространства содержится заданное количество рассеивателей — макрочастиц, представляющих плазменные волны, на которых рассеивается сигнал. В ансамбле таких рассеивателей задается равномерный закон распределения случайных начальных фаз, с которыми радиоимпульс отражается от них, а также массив случайных частотных сдвигов, обусловленных эффектом Доплера. Закон распределения данного массива соответствует теоретическому спектру частотных сдвигов для монохроматического сигнала, рассеянного стационарной низкотемпературной плазмой с максвелловским распределением скоростей частиц [3]. Интенсивность рассеянного сигнала для каждой высоты соответствует профилю фарадеевских вариаций. Радиоимпульсы, отраженные от рассеивателей с соответствующей каждой высоте задержкой, накладываются друг на друга, формируя сигнал НР. В работе были исследованы искажения спектра НР, вносимые спектром зондирующего импульса и моделируемой средой.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алсаткин С. С., Медведев А. В., Кушнарев Д. С.** Исследование возможности применения сложных сигналов в методе НР путем математического моделирования // Современные проблемы в астрофизике и физике космической плазмы. БШФФ. 2007. С. 72–76.

2. **Diaz M. A., Semeter J. L., Oppenheim M., Zettergren M.** Particle-in-cell simulation for the incoherent scatter radar spectrum // Radio Science. V. 43.

3. **Шпынев Б. Г.** Методы обработки сигналов методом некогерентного рассеяния: Автореферат дис. … к.ф.-м.н. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2000.

THE WAVE METHOD FOR MULTIPLE AND PRIMARY WAVES SUPPRESSION FOR ANY COMPLEX SUBSURFACE GEOMETRIES

Fatyanov A. G.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk;
fat@nmsf.sscc.ru

This paper considers methods of seismic data processing that essentially extend the possibility of processing and interpretation of seismic information. The methods of suppressing multiple and primary waves for the ground and marine data as well as of suppressing the subsurface (Rayleigh) waves in the case of only one wave field component Uz have been developed. Based on the method of suppressing multiple and primary waves, the methods for identification of productive oil and gas collectors have been developed. Examples of the real data processing are given. The most outstanding distinction of the proposed methods of seismic data processing is their independence of the depth-velocity model and of the geological structure of a medium.

ВИБРОСЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ПРОБЛЕМЕ ЭКОЛОГООХРАННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Хайретдинов М. С.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
marat@opg.sscc.ru

Доклад связан с проблемой оценки экологических рисков, связанных с воздействием мощных техногенных и природных катастроф на окружающую социальную и природную среду. Интегральный эффект воздействия оценивается как результат взаимодействия сейсмических, акустических и метеорологических полей. Оригинальность подхода к проведению исследований состоит в использовании в качестве источника сейсмических и акустических волн от наземного мощного сейсмического вибратора. Такие источники способны имитировать взрывы, но обладают в сравнении с ними намного меньшей мощностью и высокой управляемостью, что важно для соблюдения условий повторяемости экспериментов. С помощью данного типа источника показана возможность оценивания количественных характеристик эффекта пространственной фокусировки акустических колебаний на инфранизких частотах, проанализировано влияние ландшафта и геологической неоднородности дневной поверхности земли на затухание акустических волн. Приведены результаты численных расчетов эффекта фокусировки акустических волн от точечного источника на фоне ветра с начальными условиями, соответствующими экспериментальным. На основе анализа результатов экспериментов и численных расчетов показано, что перераспределение потока акустической энергии по азимутальным направлениям из-за влияния ветра ведет к тому, что даже маломощные взрывы могут становится источниками мощной разрушительной воздушной волны. Это обусловлено эффектом многократного возрастания акустической энергии взрыва в определенном направлении. В качестве важного результата доказано, что ветровое усиление акустических волн влечет за собой возрастание уровней поверхностных сейсмических волн, поскольку последние являются результатом сейсмичности, наведенной акустическими волнами. По такой схеме взаимодействия волн может развиваться многократно усиленный геоэкологический эффект сейсмоакустического воздействия на окружающую среду. Результаты экспериментов отражают эффекты фокусировки акустических колебаний от источников разной природы: сейсмических вибраторов ЦВ-100 и ЦВ-40, карьерных и полигонных взрывов, Кузбасского землетрясения.

На примере вибрационного зондирования грязевого вулкана Шуго (Таманская грязевулканическая провинция) и тектонической разломной зоны в Новосибирской области приводятся результаты анализа динамических характеристик сейсмических волновых полей, связанных с отмеченными процессами.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 10-07-00387-а, № 11-07-10000-к, № 12-01-00773, гранта НГТУ-СО РАН № С1-20.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЛЕЙ ТЕЧЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЙОНЕ КОЛЬЦЕВОЙ СТРУКТУРЫ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ С ПОМОЩЬЮ НЕГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Цветова Е. А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск;
e.tsvetova@ommgp.sscc.ru

Излагается алгоритм восстановления полей течений и температуры с помощью методов математического моделирования на примере одной из кольцевых структур, обнаруженной по космическим снимкам ледовой поверхности озера в начале апреля 2009. Эта кольцевая структура располагалась в Южном Байкале. Экспедиционные исследования явления провели со льда сотрудники Лимнологического института СО РАН [1].

Математическое моделирование явления было выполнено на нескольких разномасштабных моделях. «Крупномасштабные» процессы были воспроизведены с помощью трехмерной нестационарной негидростатической модели в области, включающей район кольцевой структуры и имеющей реальные очертания и рельеф дна Южной оконечности Байкала. Решалась задача «усвоения» данных наблюдений, целью которой было получение согласованного представления полей температуры, трех компонент вектора скорости, плотности и давления во всей области моделирования при условии, что рассчитываемые поля температуры близки к измеренным в районе наблюдений.

Для моделирования использовалась математическая модель гидродинамики озера в негидростатическом приближении, которая в данном случае выступала как пространственно-временной интерполянт. Данные наблюдений о температуре включались в систему моделирования по методике усвоения, известной в литературе как «nudjung». Она представляет собой разновидность Ньютоновской релаксации и реализует процедуру приближения функций состояния модели к заданным значениям в некотором окне усвоения.

Обсуждаются результаты расчетов и анализируются особенности явления.

Работа частично поддержана Программами фундаментальных исследований № 4 и 23 Президиума РАН и № 3 ОМН РАН, а также проектом РФФИ № 11-01-00187-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гранин Н. Г.** Гигантские кольца на льду Байкала. Объяснение ученых // Наука из первых рук. 2009. № 3. С. 22–23.

АППРОКСИМАЦИЯ РАЦИОНАЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ

Чередниченко В. Г.

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск;
prof.cherednichenko@yandex.ru

1. Постановка задачи.
2. Картина разрешимости.
3. Явный вид решений:
   - Алгебраический подход;
   - Обобщение формулы Ньютона.
4. Вычислительные алгоритмы.
5. Чебышевские аппроксимации.
6. Обратные задачи и аппроксимация.
7. Аналитическое продолжение с конечного числа точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Чередниченко В. Г.** Рациональная интерполяция, аналитическое решение // Сибирский математический журнал. 2002. Т. 43, № 1. С. 188–193.
2. **Cherednichenko V. G.** Rational interpolation: analytical solution // Sib. Math. J. 2002. V. 43, N 1. P. 151–155.
3. **Cherednichenko V. G.** Rational approximation and analytical continuation from a finite member of points // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2006. V. 14, N 7. P. 643–649.
4. **Cherednichenko V. G.** Approximation by rational functions // Applicable Analysis. 2008. V. 87, N 10. P. 1289–1295.
5. **Чередниченко В. Г.** Рациональная интерполяция, аналитическое решение // Сибирский математический журнал. 2002. Т. 43, № 1. С. 188–193.
6. **Чередниченко В. Г.** Аппроксимация рациональными функциями, решение уравнений // Сибирские электронные математические известия. 2001. С. 283–289. http://semr.math.nsc.ru.
7. **Cherednichenko V. G.** On solvability of interpolation problem for rational functions // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2013. V. 16. P. 1–5.

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАНТИИ ЗЕМЛИ

Червов В. В.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск;
elixirexpo@yandex.ru

В рамках задачи моделирования конвекции на основе уравнений Навье — Стокса в приближении Обербека — Буссинеска и геодинамическом приближении в сферических переменных была построена модель тепловой конвекции под континентальной литосферой переменной мощности. Кроме того, выполнено трехмерное численное моделирование спрединга (размежевания литосферных плит) и субдукции (погружение океанической плиты под континентальную).

Для описания течения в мантии Земли привлекалась разработанная автором численная модель, основанная на применении неявного метода искусственной сжимаемости и учете сферической геометрии течения.

Построена численная модель трехмерной конвекции верхней мантии региона Евразии от нулевого меридиана до 145-го и от 20-й параллели на юге до 80-й на севере. Тепловое моделирование подтвердило возникновение естественного локального перегрева под блоками с увеличенной мощностью литосферы, приводящего к возникновению восходящего потока в мантии.

В случае численного моделирования под океанической литосферой, показано, что в результате расхождения плит возникает мощной восходящий поток мантийного вещества в область размежевания. Нисходящие потоки образуются вдоль кромки континентов, естественным образом порождая зоны субдукции, т. е. области поглощения литосферных плит.

Работа выполнена при частичной поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 20.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНО ИЗОТРОПНОЙ И ИЗОТРОПНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Черных Г. Г., Баев М. К.

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск;
chernykh@ict.nsc.ru

Построена основанная на замкнутой системе уравнений Колмогорова и Яглома численная модель локально изотропной турбулентности. Результаты расчетов структурных функций D_{LL}, $D_{LL,L}$, $D_{\theta\theta}$, $D_{L\theta,\theta}$ и одномерных спектров полей скорости и концентрации пассивного скаляра удовлетворительно согласуются с известными экспериментальными данными. В предположении постоянства инвариантов Лойцянского и Корсина построено автомодельное решение уравнения Корсина. Разработана основанная на замкнутой системе уравнений Кармана — Ховарта и Корсина численная модель динамики однородной изотропной турбулентности. Результаты расчетов хорошо согласуются с известными экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН (интеграционный проект № 132) и РФФИ (грант № 13-01-00246).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Chernykh G. G., Baev M. K.** Numerical modeling of turbulent flow behind a heated grid // J. Appl. Mech. Techn. Phys. 2009. V. 50, N 3. P. 459–465.
2. **Chernykh G. G., Baev M. K.** Numerical simulation of the structure of fully developed turbulent flow in a small-scale zone // Russian J. Numerical Analysis Mathematical Modelling. 2010. V. 25, N 4. P. 289–302.
3. **Баев М. К., Черных Г. Г.** Численная модель турбулентного течения за нагретой решеткой в аэродинамической трубе // Математическое моделирование. 2011. Т. 23, № 10. С. 44–64.

О РЕШЕНИИ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ В КУСОЧНО-ОДНОРОДНОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ТРЕЩИНУ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНУЮ ГРАНИЦЕ

Шадрина Н. Р.

Бурятский государственный университет, Улан-Удэ;
shadrinann8@bsu.ru

В полупространстве $D = (x \in R) \times (y < 0) \times (\xi \in R^{m-2})$ с завесой $x = 0$, разделяющей D на две зоны $D^-(x < 0)$ и $D^+(x > 0)$ проницаемости $k^\pm$ в $D^\pm$, для потенциалов $\varphi^\pm(x, y, \xi)$ в $D^\pm$ рассматривается класс краевых задач

$$\Delta\varphi^\pm = 0, \quad G[\varphi^-]_{|y=0} = 0, \quad G[\varphi^+]_{|y=0} = f(x, \xi), \tag{1}$$

$$x = 0: \quad \varphi^+ - \varphi^- = Bk^-\partial_x\varphi^-, \quad k^+\partial_x\varphi^+ = k^-\partial_x\varphi^-, \tag{2}$$

где B — параметр завесы, $G[\varphi]$ — оператор граничных условий 1-го, 2-го или 3-го рода. Пусть известно решение $F(x, y, \xi)$ соответствующей задачи (1) в однородном полупространстве D без завесы $(B = 0, k^+ = k^-)$. Применяя метод свертывания разложений Фурье [1, 2], решение задачи (1), (2) выражено через функцию F:

$$\varphi^- = \frac{2}{Bk^-}\int\limits_0^\infty e^{-\beta t}F(x - t, y, \xi)dt, \qquad x \le 0,$$

$$\varphi^+ = F(x, y, \xi) + F(-x, y, \xi) - \frac{2}{Bk^+}\int\limits_0^\infty e^{-\beta t}F(-x - t, y, \xi)dt, \qquad x \ge 0,$$

где $\beta = (k^- + k^+)/(Bk^-k^+)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Холодовский С. Е.** Метод свертывания разложений Фурье. Случай обобщенных условий сопряжения типа трещины (завесы) в кусочно-неоднородных средах // Дифференциальные уравнения. 2009. Т. 45, № 6. С. 855–859.
2. Холодовский С. Е. Метод свертывания разложений Фурье // Дифференциальные уравнения. 2009. Т. 45, № 8. С. 1204–1208.

STOCHASTIC COLLOCATION AND POLYNOMIAL CHAOS EXPANSION FOR SOLVING PDES WITH RANDOM COEFFICIENTS

Shalimova I. A., Sabelfeld K. K.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SBRAS, NSU, Novosibirsk;
ias@osmf.sscc.ru, sabelfeld.karl@yahoo.de

Solution of PDEs with random inputs like random coefficients, fluctuating functions prescribed on the boundary, stochastic sources, etc., is of high interest both from theoretical and practical viewpoints. Direct attacking of this problem via calculating the ensemble of solutions is not efficient, especially for large fluctuations which is the most interesting case, since slow fluctuations are often well treated by the small perturbation technique (e.g., see [1, 2]). The statistical moment methods are used when there is some prior information at hand, and one can derive a closed system of equations of such moments. In the Monte Carlo approach, the double randomization technique is used in some cases when the Monte Carlo estimators can be found which is possible for some simple examples only (e.g., see [1]). Stochastic finite element based method which uses a polynomial chaos expansion of the random processes is developed for solving a wide class of random equations (e.g., see [3]). A closely related approach is the stochastic collocation method which is based on the Karhunen-Loève expansion of the random inputs (e.g., see [4]). We develop this technique for solving the Darcy equation governing the flows in stochastically porous media, and extend it to some other PDEs with random coefficients.

The work has been supported by RFBR under Grants 12-01-00635-a and 12-01-00727-a.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Sabelfeld K. K.** Random fields and stochastic Lagrangian models. Berlin; Boston: De Gruyter, 2012.
2. **Sabelfeld K., Kolyukhin D.** Stochastic Eulerian model for the flow simulation in porous media // Monte Carlo Methods and Applications. 2003. V. 9, N 3. P. 271–290.
3. **Ghanem R. G., Spanos P. D.** Stochastic finite elements. A spectral approach. Courier Dover Publications, 2003.
4. **Heng Li, Dongxiao Zhang.** Probabilistic collocation method for flow in porous media: comparison with other stochastic methods // Water Resources Research. 2007. V. 43. W09409.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Шишленин М. А.

Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН, Новосибирск;
mshishlenin@mail.ru

Рассматриваются задачи определения электромагнитных характеристик двумерной среды [1–3]

$$\varepsilon u_{tt} + \sigma u_t = \frac{1}{\mu}(u_{xx} + u_{yy}), \quad x \in (0,h), \quad y \in (0,L), \quad t \in (0,T),$$
$$u(x,y,0) = u_t(x,y,0) = 0, \quad x \in (0,h), \quad y \in (0,L),$$
$$u_x(0,y,t) = g(y,t), \quad y \in (0,L), \quad t \in (0,T),$$
$$u(h,y,t) = q(y,t), \quad y \in (0,L), \quad t \in (0,T),$$
$$u(x,0,t) = u(x,L,t) = 0, \quad x \in (0,h), \quad t \in (0,T).$$

Задача 1 (продолжение поля): найти функцию $q(y,t)$ по дополнительной информации

$$u(0,y,t) = f(y,t), \qquad y \in (0,L), \quad t \in (0,T).$$

Задача 2 (коэффициентная обратная задача): найти функции $\varepsilon(x,y)$, $\sigma(x,y)$ и $\mu(x,y)$ (либо их комбинацию) по дополнительной информации

$$u(0,y,t) = f(y,t), \qquad y \in (0,L), \quad t \in (0,T).$$

Для решения обратных задач 1 и 2 применяются прямые и итерационные методы. Проведен сравнительный анализ методов. Представлены результаты численных расчетов.

Работа поддержана РФФИ 11-01-00105 и междисциплинарным проектом СО РАН 14 “Обратные задачи и их приложения: теория, алгоритмы, программы”.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kabanikhin S. I.** Inverse and ill-posed problems. De Gruyter, 2012.
2. **Kabanikhin S. I., Gasimov Y. S., Nurseitov D. B., Shishlenin M. A., Sholpanbaev B. B., Kasenov S.** Regularization of the continuation problem for elliptic equations // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2013. V. 21, N 6 (to appear).
3. **Kabanikhin S. I., Nurseitov D. B., Shishlenin M. A., Sholpanbaev B. B.** The inverse problems for ground-penetrating radar // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2013. V. 21, N 6 (to appear).

О РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФОРМЫ ТОНКОГО ЖЕСТКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ В ПЛАСТИНЕ КИРХГОФА — ЛЯВА

Щербаков В. В.

Институт гидродинамики
им. М. А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск;
sherbakov87@gmail.com

Обсуждаются результаты теоретического исследования задачи идентификации формы отслоившегося тонкого жесткого включения, расположенного в однородной изотропной пластине Киргхофа — Лява, по дополнительной информации о решении задачи равновесия на внешней границе. Указанная обратная задача формулируется в виде проблемы оптимального управления, роль функции управления в которой играет форма включения. Отслоение моделируется путем задания нелинейных краевых условий на границе между жестким включением и упругой частью. Эти краевые условия представляют собой систему равенств и неравенств и обеспечивают взаимное непроникание берегов трещины [1]. Функционал качества характеризует среднеквадратичное интегральное отклонение изгибающего момента от заданной на внешней границе функции. Существование решения сформулированной задачи устанавливается при помощи метода гладких возмущений формы области.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-01-00017) и Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 8222).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Khludnev A. M.** Thin rigid inclusions with delaminations in elastic plates // Europ. J. Mech. A. Solids. 2012. V. 32. P. 69–75.
2. **Щербаков В. В.** Существование оптимальной формы тонких жестких включений в пластине Кирхгофа — Лява // Сиб. журн. индустр. матем. 2013 (в печати).

OROGRAPHIC EFFECTS ON NUMERICAL STABILITY IN ATMOSPHERIC FRONT SIMULATION

Yudin M. S.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, SB RAS, Novosibirsk;
yudin@ommfao.sscc.ru

A 2D nonhydrostasic meteorological model with a leap-frog type scheme for time discretization and special operators of space discretization to provide conservation of momentum and scalars is considered. These schemes,being unconditionally stable for plane orography, are shown to be conditionally stable for steep orography. The mountain steepness limitations necessary for numerical stability are obtained by solving numerically an amplification matrix eigenvalue problem [1]. A finite-element version of the model which is free of these limitations [2] is used to simulate the effects of atmospheric front propagation over a valley. The results of 2D model simulations are presented.

This work was supported by RFBR under grant 11-01-00187, RAS Department of Mathematical Sciences under Program 3, and SB RAS Presidium under Program 4.

REFERENCES

1. **Yudin M. S.** Comparison of FDM and FEM models for a 2D gravity current in the atmosphere over a valley // NCC Bulletin. Series Num. Model. in Atmosph. Novosibirsk: NCC Publisher, 2012. Iss. 13. P. 95–101.
2. **Yudin M. S., Wilderotter K.** Simulating atmospheric flows in the vicinity of a water basin // Computational Technologies. 2006. V. 11, N 3. P. 128–134.

A METHOD FOR SOLVING ONE DIMENSIONAL FREDHOLM INTEGRAL EQUATION OF THE FIRST KIND ON THE SET OF BOUNDED PIECEWISE-CONVEX FUNCTIONS

Yagola A. G., Zhang Y., Lukyanenko D. V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow;
yagola@physics.msu.ru, zhangye@physics.msu.ru,
lukyanenko@physics.msu.ru

Many physical problems can be written as an one dimensional Fredholm integral equation of the first kind:

$$\int_a^b K(x,y)z(x)\,ds = u(y),$$

$$z(x) \in C[a,b], \quad u(y) \in L_2[c,d], \quad K(x,y) \in C([a,b] \times [c,d]).$$

It is well know that this problem is ill-posed and regularization is a necessary way to tackle this problem. In this work we suppose that the exact solution is a bounded piecewise-convex function on some bounded segment $[a,b]$. And using this *a priori* information, we study the inflection point regularization method and develop a conjugate gradient projection method for solving the corresponding optimization problem. In our work, regularization parameter can be considered as the number of inflection points and their position. If the number of inflection points is limited, the set of these bounded piecewise-convex functions is a compact set in $L_2[a,b]$ and the approximate solution tends to the exact one uniformly on some subset of $[a,b]$ [1. The algorithm for constructing the approximate solution is described at the article [2, 3]. Moreover, for this case it is also possible to find an *a posteriori* error estimation of an approximate solution.

In order to show the efficiency and feasibility of the proposed method we consider two model problems (in two cases: underdetermined and overdetermined) and a real practical problem of the determination of the aerosol particle size distribution function using the particle spectrum extinction equation [2, 3].

The work was partially supported by RFBR grant 11-01-00040-a and 12-01-91153-NSFC-a.

REFERENCES

1. **Titarenko V. N., Yagola A. G.** Error estimation for ill-posed problems on piecewise convex functions and sourcewise represented sets // J. Inv. Ill-Posed Problems. 2008. V. 14. P. 1–14.
2. **Wang Y. F., Zhang Y., Lukyanenko D. V., Yagola A. G.** Recovering aerosol particle size distribution function on the set of bounded piecewise-convex functions // Inverse Problems in Science and Engineering. 2013. V. 21. P. 339–354.
3. **Wang Y. F., Zhang Y., Lukyanenko D. V., Yagola A. G.** A method of restoring the restoring aerosol particle size distribution function on the set of piecewise-convex functions // Numerical Methods and Programming. 2012. V. 13. P. 49–66 [in Russian].

ТРЕХМЕРНАЯ ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕТРОВЫХ ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ ШИРА НА ОСНОВЕ ПАКЕТА GETM

Якубайлик Т. В., Компаниец Л. А.

ИВМ СО РАН, Красноярск;
ytv@icm.krasn.ru

Пакет программ GETM [1] широко применяется для расчета течений в морях, заливах и водохранилищах [2]. В основе пакета заложена трехмерная модель в приближении Буссинеска и предположении гидростатики. В данной работе описывается возможность применения пакета к расчету ветрового течения в неглубоком соленом стратифицированном озере. Приведены результаты численного моделирования ветрового течения для бассейна со схематизированной батиметрией озера Шира. В качестве начальных данных взяты реальные распределения температуры и солености в оз. Шира в летний период. Приводятся примеры расчетов квазистационарных течений при длительном действии постоянного ветра и нестационарных течений при переменном ветре.

Работа проводилась при частичной поддержке РФФИ, проект № 13-05-00853, междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 56.

ЛИТЕРАТУРА

1. **http://getm.eu/**
2. **Саминский Г. А.** Термогидродинамический режим Мошковического залива Иваньковского водохранилища // Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы водохранилищ и их водосборов». Пермь, 2013. Т. 1. С. 297–302.