Институт математики и механики имени Н.Н. Красовского
Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург)
Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург)
Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский
научно-исследовательский институт технической физики имени
академика Е.И. Забабахина (г. Снежинск)
Сургутский филиал ФГАУ «Федеральный научный центр
Научно-исследовательский институт системных исследований
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт» (г. Сургут)

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ

Тезисы докладов XIV Всероссийской
конференции с элементами школы молодых ученых, посвященной
памяти академика А.Ф. Сидорова
(2–8 сентября 2025 г.)

Джанхот
2025

У Д К 519.6

Тезисы докладов XIV Всероссийской конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и механики» с элементами школы молодых ученых, посвященной памяти академика А.Ф. Сидорова (Джанхот, 2–8 сентября 2025 г.). г. Екатеринбург: УрО РАН, 2025. 67 с.

ISBN 978-5-8295-0945-3

Оргкомитет Конференции выражает признательность
за информационное сопровождение Институту математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, Уральскому федеральному университету им. Б.Н. Ельцина, Уральскому математическомц центру РНОМЦ-УМЦ, РФЯЦ–ВНИИТФ им. Е.И. Забабахина, Сургутскому филиалу ФНЦ НИСИ Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» и АО «ПФ «СКБ Контур» за финансовую поддержку.

Ответственный редактор:
д.ф.-м.н. М.Ю. Филимонов

Ответственные за выпуск:
Н.А. Ваганова
В.В. Махнева
Д.И. Неудачин

ISBN 978-5-8295-0945-3

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПОРТРЕТОВ

Абдаллах Н.[1], Бибердорф Э.А.[2]
[1] *Тартусский университет, г. Тартус, Сирия*
[2] *Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия*

Изучение спектральных свойств операторов и матриц имеет ключевое значение при решении прикладных задач, например, при анализе устойчивости или сходимости в численных методах и т.д. При этом спектральные портреты являются весьма информативными, однако их применение ограничено ввиду трудоемкости соответствующих вычислений. Двумерные спектральные портреты представляют собой график функции $\|(A - \lambda I)^{-1}\|$ над комплексной плоскостью [1]. Одномерные спектральные портреты строятся на основе параметризованного семейства кривых $\gamma(a)$ и отображают поведение соответствующего критерия дихотомии спектра, например, нормы матрицы

$$H(a) = \frac{1}{2\pi} \int\limits_{\gamma(a)} (A^* - \overline{\lambda} I)^{-1} C (A - \lambda I)^{-1} \, d\lambda,$$

в зависимости от параметра a [2].

В данной работе предлагаются новые алгоритмы построения одномерных и двумерных спектральных портретов, основанные на итерационных уточнениях. При сравнении с наиболее быстрыми численными методами построения спектральных портретов новый подход продемонстрировал преимущество в точности и ускорение от 1.5 до 20 раз в зависимости от типа матрицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годунов С.К.* Современные аспекты линейной алгебры. Новосибирск: Научная книга, 1997. 390 с.
2. *Буньков В.Г., Годунов С.К., Курзин В.В., Садкане М.* Применение нового математического аппарата «Одномерные спектральные портреты матрицы» к решению проблемы аэроупругих колебаний решеток лопастей // Ученые записки ЦАГИ. 2009. Т. 40. № 6. С. 3–13.

РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ ГОДУНОВА В ЗАДАЧАХ ИНТЕРПОЛЯЦИИ, ЭКСТРАПОЛЯЦИИ И СГЛАЖИВАНИЯ СЕТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ

Абдишерипов К.К.[1], Бибердорф Э.А.[2]
[1] *Новосибирский Государственный Университет, г. Новосибирск, Россия,*
[2] *Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия,*
abdisheripovkk@mail.ru[1], *elina@biberdorf.ru*[2]

В работе [1] показано, как метод Годунова [2, 3] может применяться для гибридной задачи аппроксимации и интерполяции: значения на мелкой сетке восстанавливаются по данным, заданным на крупной. Аналогичный подход в задачах экстраполяции также демонстрирует высокую точность.

Восстановление значений функции вне исходной области происходит за счёт использования априорной информации о гладкости решения. Линейная система, описывающая равенства функции известным значениям в заданных точках, дополняется уравнениями для разностных производных. Итоговая система решается методом наименьших квадратов.

Метод был протестирован на различных функциях, среди которых $\sin(x)$, $\tan(x)$ и $\log(x)$ и др. Обращает на себя внимание тот факт, что наилучших результатов экстраполяции можно добиться при использовании высоких порядков используемых разностных производных.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН (проект No FWNF-2022-0008), фонд «El-yurt umidi» по подготовке перспективных кадров при Президенте Республики Узбекистан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бибердорф Э.А., Абдишерипов К.К.* «Аппроксимация и сглаживание функции на основе регуляризации по Годунову», Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 64:8 (2024), 1342–1354 mathnet elib; Biberdorf E.A., Abdisheripov K.K., «Approximation and smoothing of a function based on Godunov regularization», Comput. Math. Math. Phys., 64:8 (2024), 1653–1666
2. *Годунов С.К., Антонов А.Г., Кирилюк О.П., Костин В.И.* Гарантированная точность решения систем линейных уравнений в евклидовых пространствах. Новосибирск: Наука. 1988. 456 с.
3. *Кабанихин С.И.* Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сибирское научное издательство. 2009. С.458.

ВЫСОКОТОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИКИ ПРИ ОБТЕКАНИИ КРИВОЛИНЕЙНОГО ТЕЛА ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОТОКОМ

Александров А.В., Дородницын Л.В.
Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН, г. Москва
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г. Москва

Работа имеет целью количественную оценку шума в дальнем поле, возникающего при рассеянии турбулентного пятна или струи на препятствии. Задача характеризуется тем, что ее прямое численное моделирование и даже применение гибридных вихреразрешающих подходов требует огромных вычислительных ресурсов, малодоступных на сегодняшний день.

В настоящей работе продолжена разработка методики [1], которая теперь обобщена на случай криволинейных границ обтекаемого профиля. Расчеты проводятся в криволинейных координатах. Вычисления установившегося фонового течения и процесса распространения возмущений ведутся на основе схем, сохраняющих дисперсионные соотношения [2]. Вблизи твердой поверхности используется технология фиктивного узла [2] в оригинальной модификации. Турбулентность задается в виде начального условия как анизотропный след в подобласти впереди тела. Генерация искусственной турбулентности выполняется с помощью тензорного метода фильтрации [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Alexandrov A.V., Dorodnitsyn L.V.* Numerical modeling of the formation of reflected acoustic waves in interaction of a turbulent trace with a rectangular profile // Comput. Math. Model. V. 34. P. 196–207. 06 May 2025.
2. *Tam C.K.W., Dong Zh.* Wall boundary conditions for high-order finite-difference schemes in computational aeroacoustics // Theor. Comput. Fluid Dynamics. 1994. V. 6. P. 303–322.
3. *Александров А.В., Дородницын Л.В.* Прямой тензорный метод фильтрации для генерации синтетических турбулентных полей скорости // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2021. № 95. 15 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗГИБА БАЛКИ ИЗ ВЫСОКОПОРИСТОГО МАТЕРИАЛА

Амосов К.А.[1,2], Киреев И.В.[1], Садовский В.М.[1]
[1] *Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск*
[2] *Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

Высокопористые материалы находят применение в различных областях науки и техники. В судостроении используются сферопласты

— композитные материалы с включениями в виде тонкостенных пустотелых стеклянных сфер и другие хаотически армированные композиты на эпоксидной основе, имеющие аналогичные деформационные характеристики. В автомобилестроении, авиастроении, аэрокосмической и других отраслях промышленности применяются пористые металлы (металлические пены) — новые искусственные материалы, которые обладают рядом важных свойств, таких как низкая плотность и теплопроводность, хорошие демпфирующие и звукопоглощающие свойства. В электронике используются ультралёгкие металлические пены, плотность которых ниже 10 мг/см^3.

В докладе выводится уточнённое уравнение плоского изгиба балки из высокопористого материала, учитывающее локальную потерю устойчивости пористого скелета при сжатии и пороговое повышение жёсткости материала при схлопывании пор. Учитываются также эффект Тимошенко сдвига поперечных сечений балки и эффект Коссера относительного вращения пор. Построено точное решение задачи изгиба балки постоянной жесткости встречными силами на концах, которое имеет самостоятельный интерес и используется для верификации вычислительного алгоритма. Задача с переменной жесткостью для балки из пористого материала приводится к задаче Коши для нелинейного уравнения второго порядка относительно угла поворота, решение которой получено численно с помощью метода Рунге–Кутты 4-го порядка аппроксимации.

Сопоставление с точным решением при постоянной жесткости балки показало хорошее соответствие результатов. Алгоритм численного решения задачи реализован на языке программирования Python.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТОЛСТОСТЕННОЙ СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ПОД ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ С УЧЕТОМ СЖИМАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА

Андрианов И.К.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре

Рассмотрена проблема учета сжимаемости материала в задаче объемного напряженного состояния в рамках деформационной теории пластичности. При нагружении толстостенной сферической оболочки равномерным внутренним давлением процесс нагружения является монотонным, соответственно для исследования упругопластического деформирования оболочки были использованы положения деформационной теории пластичности. В пределах упругих деформаций материал являлся сжимаемым, а в пределах пластических деформаций выполнялось условие несжимаемости, поскольку для большинства материалов при пластическом деформировании объем практически не изменяется.

Была разработана численная методика [1] на основании метода переменных параметров, позволяющая учесть сжимаемость материала при упругопластическом деформировании толстостенной сферической оболочки. Согласно результатам численных расчетов [2] показано существенное влияние неучета сжимаемости материала на значения предельного внутреннего давления, при котором зарождаются пластические деформации на внутренней границе оболочки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Andrianov I.K., Feoktistov S.I.* Bearing capacity of spherical thick-walled shell taking into account compressibility and nonlinear plasticity // Materials Physics and Mechanics. 2022. V. 50. N. 3. P. 410–419. DOI 10.18149/MPM.5032022_5.
2. *Феоктистов С. И., Андрианов И.К., Тхет Л.* Оценка погрешности аналитического метода расчета упругопластического состояния толстостенных осесимметричных оболочек при линейном упрочнении материала // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 1(54). С. 3–10. DOI 10.24866/2227-6858/2023-1/3-10.

ГИДРОДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ КОЛЕБЛЮЩЕГОСЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕЛА В ЖИДКОСТИ

Анисимов В.Д., Нуриев А.Н.
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт математики и механики имени Н.И. Лобачевского, г. Казань

В текущее время возрос интерес к созданию высокоэффективных колебательных движителей [1]. Для проектирования таких движителей обсуждается возможность эффективного самодвижения тела за счет колебаний внутренних масс (ВМ) [2, 3].

В данной работе исследуется движение цилиндрического тела, называемого вибророботом (ВР), совершающего произвольные маятниковые колебания ВМ в вязкой жидкости. При описании течения используется нестационарное уравнение Навье-Стокса в терминах завихренности w и функции тока ψ. Решение задачи определяется в виде асимптотического разложения по степеням γ, где γ – отношение ВМ к массе ВР:

$$\psi = \psi^{(0)} + \gamma\psi^{(1)} + \ldots, \quad w = w^{(0)} + \gamma w^{(1)} + \ldots$$

В рамках решения задачи найден оптимальный закон движения ВМ, изучена эффективность движения системы при оптимальных параметрах. Показано, что наибольшая эффективность движения ВР достигается в области перехода между гармоническим и ступенчатым законами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ 22-79-10033

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Egorov A., Nuriev A., Anisimov V., Zaitseva O.* Propulsive motion of an oscillating cylinder in a viscous fluid // Physics of Fluids. 2024. V. 36. N. 2. P. 021908.
2. *Anisimov V., Egorov A., Nuriev A., Zaitseva O.* Propulsive motion of a cylindrical vibration-driven robot in a viscous fluid // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Fiziko-Matematicheskie Nauki. 2024. V. 166. N. 3. P. 277–296.
3. *Черноусько Ф.Л.* Оптимальные периодические движения двухмассовой системы в сопротивляющейся среде // Прикладная математика и механика. 2008. Т. 72. № 2. С. 202–215.

О РАЗВИТИИ АЛГОРИТМА МОРФИНГА СЕТОК ДЛЯ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ОБЪЕМОВ

Артёмова Н.А.[1], Ушакова О.В.[1,2]
[1] *ИММ УрО РАН,* [2] *УрФУ, г. Екатеринбург*

Описывается алгоритм морфинга, пополнивший технологию построения трехмерных структурированных сеток [1] для моделирования процессов многокомпонентной гидродинамики [2]. Алгоритм морфинга предназначен для построения сеток особой структуры в телах, полученных деформацией объемов вращения телами, образованными поверхностями вращения с параллельными осями. Алгоритм создан в рамках подхода [3] на основе алгоритма для постро-

ения сеток в объемах вращения, деформированных другими объемами вращения [4]. Случаи деформации телами, образованными поверхностями, возникающими при вращении отрезков прямых вокруг параллельных осей, рассматривались в [5]). В настоящем докладе рассматриваются более сложные виды деформирующего тела, образующие которых допускают и отрезки прямых, и дуги окружностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anuchina A.I., Artyomova N.A., Gordeychuck V.A., and Ushakova O.V.* A Technology for Grid Generation in Volumes Bounded by the Surfaces of Revolutions // Lect. Notes in Comput. Science and Eng. 2019. V. 131, P. 281–292.
2. *Anuchina N.N., Volkov V.I., Gordeychuk V.A., Es'kov N.S., Ilyutina O.S., Kozyrev O.M.* Numerical simulation of 3D multi-component vortex flows by MAH-3 code // Advances in Grid Generation. ed by Ushakova O.V. Novascience Publishers. 2007. P. 337–380.
3. *Ушакова О.В.* О развитии вариационного подхода построения оптимальных сеток (обзор) // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. 2023. Т. 29, № 2. С. 217–247.
4. *Ushakova O.V., Artyomova N.A.* Non-stationary grid generation algorithm for deformed volumes of revolution // Math. Comput. Simul., 2023, V. 203, P. 878–909.
5. *Артёмова Н.А., Ушакова О.В.* Построение сеток деформацией объемов вращения телами, образованными поверхностями вращения с параллельными осями // Вопр. атомной науки и техники. Сер. Матем. моделирование физ. процессов. 2024. Вып. 4. С. 73–88.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В НЕФТЕНАСЫЩЕННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

Архипов Д.А., Марков С.И., Штанько Е.И., Эпов М.И.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

При бурении скважин в нефтенасыщенных коллекторах происходит проникновение фильтрата бурового раствора в трещиновато-пористую горную породу, что сопровождается вытеснением несмешивающейся жидкости и смешением самого фильтрата с пластовыми водами. Следовательно, изменение пространственного распределения жидкостей и концентрации электролита вокруг скважины влияет на результаты измерения водонасыщенности при проведении каротажных работ. Таким образом, инжекция буровых глинистых

растворов приводит к существенному изменению транспортных и геоэлектрических свойств околоскважинного пространства.

В работе выполнено математическое моделирование процесса фильтрации глинистых буровых растворов на водной основе при бурении скважин. Реализован алгоритм построения модели удельной электропроводности околоскважинного пространства с учётом процесса фильтрации бурового раствора и выполнено математическое моделирование электромагнитных процессов, протекающих при электрическом каротаже. Исследовано влияние процесса фильтрации бурового раствора на каротажные диаграммы.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта FWZZ-2022-0030.

МУЛЬТИСТАБИЛЬНОСТЬ И СИНХРОНИЗАЦИЯ В СИСТЕМЕ СВЯЗАННЫХ НЕИДЕНТИЧНЫХ НЕЙРОНОВ

Башкирцева И.А.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

В нейронных сетях синхронизация играет важнейшую роль в обработке информации, кодировании и управлении, а ее разрушение может вызывать различные неврологические патологии [1]. Нейронные сети подвержены стохастическим флуктуациям, возникающим из-за внутреннего нейронного шума, синаптической изменчивости и внешних возмущений. Эти флуктуации, особенно в мультистабильных системах, могут существенно влиять на динамику нейронов, приводя к нарушению синхронизации и хаотическим переходам между сосуществующими аттракторами.

В докладе представлены результаты исследования стохастических разрушений паттернов синхронизации в системе из двух неидентичных нейронов Рулькова, связанных электрическим синапсом. Для детерминированной модели выявлены области моно-, би- и тристабильности, соответствующие различным режимам синхронизации. Исследуется, как стохастические флуктуации в параметре связи влияет на синхронизацию, приводя к переходам между различными режимами. Обнаружено, что увеличение интенсивности шума приводит к переключению между синхронным 3-циклическим режимом и асинхронными хаотическими состояниями. Такие переключения тесно связаны со структурой хаотических переходных бассейнов.

Дается параметрическое описание стохастических эффектов с помощью как численного моделирования, так и аналитического метода доверительных областей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-11-00097).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Boccaletti S., Pisarchik A.N., del Genio C.I., Amann A.* Synchronization: From Coupled Systems to Complex Networks. Cambridge: Cambridge University Press, 2018. 264 pp.

ЛОКАЛЬНЫЙ РОСТ НА ОСНОВЕ ПСЕВДОСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Бибердорф Э.А.[1], Ван Ли[2]

[1] *ИМ СО РАН, г. Новосибирск*

[2] *Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск*

В данной работе исследуются случаи роста решений линейных начально-краевых задач на начальном временном отрезке при том, что нулевое решение устойчиво по Ляпунову (спектр оператора находится в области устойчивости). Это явление можно связать со свойствами псевдоспектра (или ε-спектра) [1]. Раскрыт механизм формирования растущих решений, получены оценки сверху и снизу для их экстремальных значений. Разработаны два алгоритма для нахождения начальных условий, приводящих к растущим решениям. Один из них основан на методе дихотомии [2]. С их помощью построены локально растущие решения для разных моделей флаттера, линеаризованной системы Навье-Стокса в окрестности плоско-параллельного течения Пуазёйля и т.д.

Наличие локально растущих решений в линеаризованных задачах может служить объяснением докритических ламинарно-турбулентных переходов [3] и так называемой «практической неустойчивости».

Работа выполнена в рамках государственного задания Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН (проект № FWNF-2022-0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годунов С.К.* Современные аспекты линейной алгебры. Новосибирск. Научная книга. 1997.

2. *Буньков В.Г., Годунов С. К., Курзин В.Б., Садкане М.* Применение нового математического аппарата «Одномерные спектральные портреты матрицы» к решению проблемы аэроупругих колебаний решеток лопастей // Ученые записки ЦАГИ, 2009, Т. 40, № 6.
3. *Trefethen L.N., Trefethen A.E., Reddy S.C., Driscoll T.A.* Hydrodynamic Stability Without Eigenvalues // 1993, 261 (5121). 578-584 doi:10.1126/science.261.5121.578

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИУСОВ РАСТЕПЛЕНИЯ ОТ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН В КРИОЛИТОЗОНЕ

Ваганова Н.А.[1], Махнева В.В.[2], Неудачин Д.И.[3], Старостина С.С.[4], Филимонов М.Ю.[5]

ИММ УрО РАН им. Н.Н. Красовского, г. Екатеринбург
[1] *vna@imm.uran.ru,* [2] *mvv@imm.uran.ru,* [3] *ndi@imm.uran.ru,*
[4] *s.s.starostina@urfu.ru,* [5] *fmy@imm.uran.ru*

В криолитозоне России добывается около 93% российского природного газа и 75% нефти. Для обустройства северных нефтегазовых месторождений была разработана модель распространения нестационарных тепловых полей в мерзлых грунтах с учетом особенностей конструкции добывающих скважин [1], и сложной литологии грунта, окружающего скважину на кустовой площадке. Учтены климатические и технологические факторы, в частности ежегодный перерыв в работе скважин, который составляет от нескольких часов до двух недель. Исследованы вычислительные особенности расчета таких тепловых полей и оценено влияние различных параметров, которые могут привести к значительному увеличению площади оттаивания на кустовых площадках.

При моделировании не учитывалась возможного движения воды в грунте, как это учитывалось, например в [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Filimonov M. Yu., Vaganova N.A.* Thawing of Permafrost During the Operation of Wells of North-Mukerkamyl Oil and Gas Field // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2021. – Vol. 14.– No. 6. P. 795–804. – DOI 10.17516/1997-1397-2021-14-6-795-804.
2. *Vaganova N., Filimonov M.Y.* Refinement of model of an open geothermal system // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1789. – P. 020020. – DOI 10.1063/1.4968441.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВНУТРЕННИХ ВОЛН В РАСЧЕТАХ ДВИЖЕНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ROMS

Володько О.С., Мальцев Е.Д.
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Течения и внутренние волны в озерах в основном вызываются ветровыми воздействиями [1]. Понимание пространственной структуры обеспечивает основу для понимания последующих физических, химических и биологических процессов. Но, как правило, натурные измерения гидрофизических характеристик (скорости течения, температуры и солености воды), могут быть проведены только в нескольких конкретных точках. При проведении численных расчетов мы имеем значения гидрофизических характеристик в каждой точке разностной сетки и можем на основании этих данных определить горизонтальную структуру внутренних волн.

В настоящей работе на основе данных численных расчетов, полученных с использованием численной модели ROMS (Regional Oceanic Modeling System) [2], определены время возникновения внутренних волн в зависимости от направления и силы ветра, характер изменения возвышения свободной поверхности и изоповерхностей температуры. Для интерпретации полученных в расчетах результатов был проведен переход от σ-координат к декартовым, что позволило идентифицировать наиболее длинные волны как одноузловые сейши.

С применением линейной модели трехмерного течения двухслойной жидкости [3] проведена оценка длины вращающейся сейши.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2023-912).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ле Блон П., Майсек Л.* Волны в океане. М.: Мир, 1981.
2. ROMS [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://www.myroms.org
3. *Hutter K., Wang Y., Chubarenko I.P.* Physics of Lakes: Volume 1: Foundation of the Mathematical and Physical Background. Springer Science & Business Media, 2010. 434 p.

АППРОКСИМАЦИЯ СИСТЕМ ОДУ ВЫСОКОЙ РАЗМЕРНОСТИ УРАВНЕНИЯМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ В МОДЕЛЯХ ГЕННЫХ СЕТЕЙ

Воропаева О.Ф.

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск

В работе приведены новые результаты численного анализа, подтверждающие справедливость теоретического факта связи дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом и систем ОДУ высокой размерности с линейным представлением гипотетических промежуточных стадий (при достаточно большом числе стадий) [1] применительно к модели (M1) многоэтапного нелинейного процесса передачи сигнала в генной сети с двумя петлями обратной связи [2]:

$$\frac{dy_1}{dt} = a_1 - a_2 f(y_1(t), y_2(t)) - a_3 y_1(t),$$

$$\frac{dy_2}{dt} = b_1 g(y_1(t_{\tau_1}), y_2(t_{\tau_1})) - b_2 y_2(t) - b_3 f(y_2(t_{\tau_3}), y_3(t_{\tau_3})),$$

$$\frac{dy_3}{dt} = c_1 + c_2 f_m(y_1(t_{\tau_2}), y_3(t_{\tau_2})) - c_3 y_3(t), \quad t_{\tau_q} = t - \tau_q, \quad q = 1, 2.3.$$

Найдены системы ОДУ, аппроксимируемые разными вариантами модели M1. Обсуждаются особенности численной реализации предельного перехода, связанные с ограничением по устойчивости, в том числе применительно к условиям лабораторного эксперимента.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лихошвай В.А., Фадеев С.И., Демиденко Г.В., Матушкин Ю.Г.* Моделирование уравнением с запаздывающим аргументом многостадийного синтеза без ветвления // Сиб. журн. индустр. матем. 2004. Т. 7. № 1. С. 731–94.
2. *Сенотрусова С.Д., Воропаева О.Ф., Шокин Ю.И.* Применение минимальных математических моделей динамики сигнального пути p53-микроРНК к анализу лабораторных данных // Вычислительные технологии. 2020. Т. 25. № 6. С. 4–49.

МОДИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА ДАРВИНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

Вшивкова Л.В., Вшивков В.А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

Для численного моделирования процессов в плазме необходимо решать систему уравнений Власова-Максвелла. Решение задач физики плазмы на основе полного кинетического описания требует значительных вычислительных ресурсов. Во-первых, это связано с огромной разницей в массах ионов и электронов. Для устранения этого недостатка часто используется нефизическое отношение массы иона к массе электрона. Во-вторых, решение уравнений Максвелла требует малого временного шага из-за необходимости описывать электромагнитные волны, которые движутся со скоростью света. Эти условия накладывают жесткие ограничения на временной шаг. Для устранения этого недостатка пренебрегают током смещения, что не позволяет распространяться электромагнитным волнам. В частности, были предложены гибридные модели и приближение Дарвина. В гибридных моделях электронная компонента плазмы описывается МГД-уравнениями, а ионная компонента плазмы – кинетическим приближением. В приближении Дарвина в уравнениях Максвелла пренебрегается поперечной компонентой напряженности электрического поля. В этом приближении необходимо решать до 8 эллиптических уравнений на каждом временном шаге. Нами предлагается модификация приближения Дарвина, а именно, в уравнениях Максвелла убираем влияние магнитного поля на поперечную часть напряженности электрического поля. Продольная часть напряженности электрического поля находится из решения уравнения Пуассона, а поперечная часть отделяется от полного приращения электрического поля и используется в уравнении Максвелла для нахождения приращения магнитного поля. Таким образом, на каждом шаге по времени необходимо только два раза решать уравнение Пуассона. Решение второго уравнения Пуассона необходимо для выполнения уравнения неразрывности на сетке. В работе будут проведены тестовые расчёты для демонстрации работоспособности метода.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 24-21-00137.

О РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДАХ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБЪЕКТА ПО ГРАНИЧНЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Гаврилова Т.П.
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск

Работа посвящена численным методам решения обратных задач теплопроводности по восстановлению тепловых функций в контрольных точках объекта по измеренным температурным значениям на границе и вблизи нее. Подобные задачи возникают в процессах термической обработки материалов, диагностики температурных режимов электротехнического оборудования для обеспечения безопасности эксплуатации технических систем.

Математическая модель задачи включает уравнение теплопроводности и нестационарные тепловые функции, заданные в граничной области. Требуется определить неизвестную температурную функцию в контрольной точке внутри объекта.

В статье изложены два подхода к решению обратной граничной задачи теплопроводности. Первый метод предполагает преобразование исходной задачи с помощью прямого и обратного преобразования Лапласа к интегральному уравнению Вольтерра и его численную реализацию на основе регуляризующего алгоритма. Второй подход заключается в применении конечно-разностных схем.

В статье проводится сравнительный анализ предложенных методов численного решения рассматриваемой задачи на основе имитационного моделирования. Изучаются преимущества и ограничения каждого подхода, оценивается точность и эффективность полученных решений. Результаты выполненного анализа подтверждают возможность использования представленных методов для прогнозирования температуры объектов с учетом особенностей протекающего теплового процесса.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПРИМЕСИ В ТЕЧЕНИИ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В ЦИИЛНДРЕ

Галкин В.А.[2], Дубовик А.О.[1]
[1] *Сургутский государственный университет, г. Сургут*
[2] *Сургутский филиал НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ, г. Сургут*

Исследуется движение безынерционной не диффундирующей примеси в течении вязкой несжимаемой жидкости в трехмерной области $D \subset \mathbb{R}^3 = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)\}$ с условием скольжения на границе

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla)\,\mathbf{u} = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \mu \triangle \mathbf{u}, \qquad \text{div} \quad \mathbf{u} = 0, \tag{1}$$

$$(\mathbf{u},\ \mathbf{n})|_{\partial D} = 0, \tag{2}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla)\,N = 0. \tag{3}$$

В качестве области течения D рассматривается цилиндр

$$C = \{\mathbf{x} \in \mathbb{R}^3 : 0 < r(\mathbf{x}) < \rho, 0 < x_3 < 2\pi\sqrt{2}\},$$

где $r(\mathbf{x}) = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$, $J_0'\left(\frac{\rho_k}{\sqrt{2}}\right) = 0$, $k \in \mathbb{N}$, J_0 — функция Бесселя,

В [1] доказано, что пара

$$\mathbf{V}(\mathbf{x}, t) = \mathbf{U}(\mathbf{x})e^{-\mu t}, \qquad P(\mathbf{x}, t) = \frac{\rho}{2}\mathbf{V}^2(\mathbf{x}, t) + \alpha(t)$$

при произвольной функции $\alpha(t)$ удовлетворяют системе (1)-(3), где

$$\mathbf{U}(x) = \frac{J_0'\left(\frac{r}{\sqrt{2}}\right)}{r\sqrt{2}} \begin{bmatrix} x_2 \sin\left(\frac{x_3}{\sqrt{2}}\right) + \frac{x_1}{\sqrt{2}} \cos\left(\frac{x_3}{\sqrt{2}}\right) \\ -x_1 \sin\left(\frac{x_3}{\sqrt{2}}\right) + \frac{x_2}{\sqrt{2}} \cos\left(\frac{x_3}{\sqrt{2}}\right) \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{2} J_0\left(\frac{r}{2}\right) \begin{bmatrix} 0 \\ \sin\left(\frac{x_3}{\sqrt{2}}\right) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Работа выполнена в рамках государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» — НИИСИ (Выполнение фундаментальных научных исследований ГП 47) по теме № 0580-2021-0007 «Развитие методов математического моделирования распределенных систем и соответствующих методов вычисления».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галкин В.А., А.О. Дубовик* Об одном классе точных решений системы уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости // Жур. Матем. модел. 2023. Т. 35. № 8. с. 3-13.

О ПРИЕМАХ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИБЛИЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ ОДНОМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Голубев Р.А.

ИВМ СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

В работе рассматриваются два приема повышения порядка сходимости приближенных решений одномерного уравнения теплопроводности. Идея первого приема заключается в комбинировании двух решений, полученных с разными временными шагами разностной схемой первого порядка аппроксимации по времени - схемой с опережением [1], для достижения второго порядка на одном шаге по времени. В результате применения такого подхода достигается второй порядок точности по времени. Второй же прием представляет собой повышение точности по временному шагу исходной разностной схемы Кранка-Николсон [2] за счет коррекции правой части без изменения оператора сеточной задачи и его первого дифференциального приближения. Коррекция здесь проводится добавлением разностной производной третьего порядка по времени от исходного решения второго порядка точности, что дает четвертый порядок по времени.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Самарский А.А.* Теория разностных схем. М.: Наука, 1977.
2. *Шокин Ю.И.* Метод дифференциального приближения. Новосибирск: Наука, 1979.
3. *Яненко Н.Н., Шокин Ю.И.* О первом дифференциальном приближении разностных схем для гиперболических систем уравнений. Сиб. матем. журн. 1969. Т. 10. № 5. С. 1173—1187.
4. *Crank J., Nicolson P.* A practical method for numerical evaluation of solutions of partial differential equations of the heat-conduction type. Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. 1947. Vol. 43. No. 1. P. 50-–67.

ПОИСК РАЗЛАДОК В ИЗМЕРЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ВОЗДУХА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА

Голубев Р.А.
ИВМ СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

Проблема загрязненности воздуха города Красноярска с каждым годом становится все более актуальной. Для мониторинга ситуации в городе развернута система мониторинга приземленного слоя атмосферы. На каждом посту расположены датчики, которые раз в 20 минут фиксируют определенные характеристики атмосферы. Таким образом, измерения представляют собой временные ряды, которые

содержат существенные изменения в структуре. Эти изменения являются физически значимыми, так как могут соответствовать сменам температурных режимов или резкому повышению концентрации загрязнителя в атмосфере. Моменты времени, в которые произошли существенные изменения в структуре временного ряда, называют разладками. Проблема поиска разладок в имеющихся данных также усугубляется наличием суточных колебаний, которые при неправильном подборе метода могут быть ошибочно классифицированы как разладки. Одним из перспективных методов поиска разладок в имеющихся данных является метод CUSUM [1, 2]. Этот метод основан на предположении, что временной ряд подчиняется известному закону распределения, и в точке разладки происходит смена характеристик этого распределения. Такой подход позволяет не учитывать мелкие колебания в данных и небольшое число выбросов. В рамках исследования проведен анализ применимости метода CUSUM для поиска разладок в измерениях температуры воздуха, полученных системами экологического мониторинга, исследована чувствительность метода к структурным особенностям ряда.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта 24-71-10022.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Basseville M., Nikiforov I.* Detection of abrupt changes: Theory and application // Technometrics. 1993. Vol. 36. P. 35-43.
2. *Granjon P.* The CUSUM algorithm a small review, 2012.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СЕЛЕКТИВНО ИЗЛУЧАЮШИХ РАЗРЯДОВ В СОСТАВЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Градов В.М.
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Представлена математическая модель и результаты исследования разрядной плазмы, функционирующей в условиях возврата собственного излучения в процессе многократных проходов последнего в системе отражающих поверхностей и поглощающе- излучающих сред. Речь идет о плазменных источниках интенсивного дискретно-непрерывного излучения, входящих в состав оптических систем осветительной техники, квантовой электроники, медицинского оборудования, плазмотронов и др. [1]. В качестве плазмообразующих сред

рассматриваются инертные газы и пары щелочных металлов. Принципиально, что предлагаемая модель учитывает пространственную неизотермичность плазмы, что имеет решающее значение при формировании спектров излучения в области реабсорбированных линий, роль которых особенно велика для щелочной плазмы [2].

Система сложной геометрии представляется в виде совокупности излучающих и поглощающих сред, характеризуемых спектральными коэффициентами поглощения, преломления и усиления, а в случае плазмы — еще и термодинамическими, транспортными, оптическими и энергетическими параметрами. Все указанные материальные функции определяются расчетным путем. Данные среды занимают области, ограниченные поверхностями второго порядка или плоскостями. Поверхности могут быть отражающими (зеркально, диффузно) или преломляющими.

Моделирование переноса излучения осуществляется посредством слежения за прохождением по системе выделенной порции лучистой энергии до ее полного поглощения в системе или ухода из нее. В результате встречи с поверхностью фотон может отразиться, поглотиться, преломиться. При этом судьба фотона, попавшего на поверхность, определяется с помощью операции со случайными числами. Процедура повторяется для разных длин волн, число которых может быть значительным, учитывая сложный состав спектра.

Распределение выпущенных фотонов в плазме используется для расчета дивергенции лучистого потока в ходе итерационной настройки температурного поля в разряде.

Модель реализована в комплексе компьютерных программ. В работе приводятся многочисленные результаты исследования плазменных бактерицидных установок, систем накачки лазеров и ламп с интерференционными отражателями на оболочках, стабилизирующих разряд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маршак И.С., Дойников А.С., Жильцов В.П. и др.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978.– 472 с.
2. *Градов В.М., Щербаков А.А.* Расчет излучательных характеристик дуговых криптоновых и ксеноновых разрядов // Оптика и спектроскопия. 1979. Т. 47. № 4. С. 635- 642.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОКЕРНОВ: ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗОНЫ КОЛЬМАТАЦИИ

Добролюбова Д.В.[1,2], Кутищева А.Ю.[1,2], Штанько Е.И.[2]
[1] *Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск*
[2] *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск*

Исследование посвящено изучению влияния динамически формирующейся зоны кольматации на тепловые эффективные свойства микрокернов горных пород на примере различных песчаников, поровое пространство которых заполнено смесью пластовой воды и нефти. Актуальность работы обусловлена необходимостью точного прогнозирования температурных режимов в пластах при разработке месторождений и реализации различных геолого-технических мероприятий. Целью работы является установление взаимосвязи между шириной заглинизированной зоны и изменениями в теплопроводности микрокернов.

Будут представлены результаты численных исследований, включающих моделирование распределения теплового поля с последующим опередением эффективной тепловой характеристики в микрокерне песчанника, внутренняя структура которого представлена в виде стека послойных томографических изображений. В силу сложной структуры порового пространства и включения в модель нескольких различных по физическим свойствам флюидов, численное моделирование выполняется гетерогенным методом конечных элементов. Полученные данные демонстрируют, что образование зоны кольматации приводит к изменению теплопроводности, причем характер этих изменений зависит от ширины заглинизированной зоны. Представлены результаты численного моделирования, демонстрирующие влияние изменения тепловых свойств при кольматации на распределение температуры в прискважинной зоне. Сделан вывод о необходимости учета эффекта кольматации при разработке моделей теплопереноса для прогнозирования температурных режимов пластов и оптимизации технологий повышения нефтеотдачи и утилизации отходов.

Работа выполнена при финансовой поддержке FWZZ-2022-0030.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ НАХОЖДЕНИИ УПРАВЛЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА

Долгий Ю.Ф., Сесекин А.Н.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
Институт математики и механики УрО РАН, г. Екатеринбург

Манипуляционный робот состоит из звеньев (абсолютно твердых тел), соединенных цилиндрическими шарнирами. В качестве обобщенных координат выбираются относительные углы поворотов звеньев. Обобщенные силы состоят из управляющих моментов и из слагаемых, включающих все остальные внешние и внутренние силы. Каждый управляющий момент создается отдельным электродвигателем постоянного тока. Кинетическая энергия робота складывается из кинетической энергии движения звеньев и кинетической энергии движения роторов электродвигателей. Роль управляющих воздействий играют электрические напряжения, подаваемые на обмотки роторов электродвигателей. Требуется найти управления, переводящие манипуляционный робот из заданного начального положения равновесия в заданное конечное положение равновесия. Пятницкий Е.С., Черноусько Ф.Л., Решмин С.А. [1] при решении поставленной задачи для манипуляционных роботов с большим числом степеней свободы использовали различные методы декомпозиции. В настоящей работе в основе метода декомпозиции лежит принцип замораживания связей. Он позволяет общую задачу управления заменить серией простых задач управления для отдельных обобщенных координат. При решении простой задачи требуется найти управления, которые реализуют процедуру замораживания связей, а также для отдельной координаты найти, соответствующее ей управление, которое обеспечивает перевод робота по этой координате из начального положения равновесия в конечное положение равновесия. При решении последней задачи используются импульсные и релейные управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Черноусько Ф.Л., Ананьевский И.М., Решмин С.А.* Методы управления нелинейными механическими системами. М.: Физматлит, 2006. 328 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНЕОСЕВОЙ ИНЖЕКЦИИ ОДНОГО И ДВУХ ПУЧКОВ В ПЛАЗМУ ДЛЯ ЗАДАЧИ ДИАМАГНИТНОГО УДЕРЖАНИЯ ПЛАЗМЫ

Ефимова А.А.
Российский университет дружбы народов, г. Москва

Открытые магнитные ловушки являются одним из направлений в решении проблемы удержания и нагрева плазмы в лабораторных экспериментах. В математической модели использовались параметры экспериментов на установке КОТ [1, 2] (ИЯФ СО РАН) с диамагнитным режимом работы системы. Разработана новая численная модель, основанная на кинетическом приближении для ионных компонент плазмы и инжектируемого пучка и гидродинамическом приближении для электронов (PIC-MHD). Для решения уравнений Власова используется метод частиц в ячейках. Для решения уравнений движения применяется алгоритм VD1 [3], основанный на аналитическом решении и превосходящий по точности метод Бориса. Для реализации данной модели разработан соответствующий программный код MTRAP. На основе созданной модели и программного кода выполнена проверка основных принципов диамагнитного удержания плазмы.

Для данной модели был рассмотрен случай осевой инжекции пучка, но это не соответствует физике задачи. Получены результаты численного моделирования внеосевой инжекции одного и двух пучков в плазму.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bagryansky P.A. et al.* Status of the experiment on magnetic field reversal at BINP // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1771, P. 030015.
2. *Гамов В.В., Жимулев К.Ф., Колесниченко К.С., Коробейникова О.А., Мурахтин С.В. и др.,* Статус эксперимента на установке КОТ, Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и УТС, 17–21 марта 2025, ICPAF-2025, DOI: 10.34854/ICPAF.52.2025.1.1.085.
3. *Воропаева Е.С., Вшивков К.В., Вшивкова Л.В., Дудникова Г.И., Ефимова А.А.* Алгоритмы движения в методе частиц в ячейках // Выч. методы и программирование. 2021. Т. 22. № 4. С. 281–293.

О ПРЕДСКАЗАНИИ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ПЕРЕКРЁСТКЕ

Иванова О.Н.[1], Марков Б.А.[1], Шепелёв В.Д.[2]
[1]*Южно-уральский государственный университет, кафедра «Системное программирование», г. Челябинск*
[2]*Южно-Уральский государственный университет, Передовая инженерная школа двигателестроения и спецтехники «Сердце Урала», ЮУрГУ, г. Челябинск*

Нами установлено, что поток транспорта через перекрёсток можно разделить на два основных потока: целевой поток, имеющий длительную задержку при совершении манёвра переезда через перекресток, и транзитный, имеющий минимальную задержку. Между задержками целевого потока и задержкой транзитного потока в большинстве случаев установлена статистически значимая линейная корреляция. Это позволяет предсказывать дальнейшее развитие ситуации на перекрёстке искусственному интеллекту.

Предложенная нейросетевая модель на основе LSTM-сетей способна:

1) выявлять сложные временные зависимости в данных;

2) учитывать суточные и недельные циклы транспортной нагрузки;

3) давать стабильные прогнозы по всем трем показателям одновременно. Полученные результаты обеспечивают прогнозирование транспортной ситуации на несколько дней вперед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия - Телеком, 2002 г. 382 с.
2. *Каллан Р.* Основные концепции нейронных сетей / Пер. с англ. М.: Вильямс, 2001 г. 287 с.
3. *Sutton R.S., Barto A.G.* Reinforcement Learning: An Introduction. Cambridge: The MIT Press, 2014. 338 p.
4. *Архипов Д.А.* Умный светофор или использование искусственного интеллекта для управления транспортными потоками // Вестник науки, 2024 г. Т. 1, № 6 (75). С. 1389–1392. [Электронный ресурс] URL: https://www.vestnik-nauki.ru/article/15347 (дата обращения: 04.04.2025 г.). Т. 1. № 1. С. 1–10.
5. *Иванов Д.С.* Интеллектуальная видеоаналитика дорожных происшествий // Молодой ученый, 2022 г. № 21 (416). С. 209–211.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ALT В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Капкаев В.М.[1], Филимонов М.Ю., Ваганова Н.А.
ИММ УрО РАН им. Н.Н. Красовского, г. Екатеринбург
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
[1] *kapkaevictor@gmail.com*

В северных регионах верхний слой почвы циклически оттаивает и замерзает в течение года при сезонных изменениях климата. Толщина этого слоя, известная как толщина активного слоя (ALT), является важнейшим показателем стабильности вечной мерзлоты и зависит от таких факторов, как температура воздуха, количество солнечных дней, осадки и свойства почвы. ALT значительно варьируется в зависимости от региона: от нескольких сантиметров до нескольких метров. Многочисленные исследования и систематический анализ изменений ALT показывают, что тенденция увеличения ALT может иметь серьезные последствия для стабильности инфраструктуры в криолитозоне [1, 2, 3].

В работе предложена методика определения динамики максимальной толщины ALT в проветриваемом подполье здания, размещенного на свайном фундаменте, обороудованном сезоннодействующими охлаждающими устройствами (СОУ). Используется математическая модель [4] и представлен оригинальный алгоритм для расчета тепловых полей [5]. Новизна алгоритма заключается в том, что он включает данные мониторинга температуры, предысторию теплового режима, специфическую для участка литологию и теплофизические свойства грунтов, окружающих фундамент здания.

Численное моделирование позволяет оценить воздействие потепления климата для умеренного и ускоренного потепления на динамику ALT, которая является критическим показателем несущей способности грунта. В отличие от предыдущих исследований, в этой работе рассматривается реальное жилое здание с проветриваевым подпольем, фактическая литология свайного фундамента и влияние охлаждающих устройств на тепловой режим грунта.

Полученные результаты показывают, что функционирование СОУ поддерживает базовую толщину ALT при умеренном потеплении климата, что имеет решающее значение для термостабилизации

грунта в основании зданий, расположенных в зоне многолетнемерзлых пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shiklomanov N.I. et al.* Climate change and stability of urban infrastructure in Russian permafrost regions: prognostic assessment based on GCM climate projections // Geographical review. – 2017. – Vol. 107. – No. 1. – P. 125–142. DOI: 10.1111/gere.12214.
2. *Qiu K., Yu W., Kong X., Han F., Zhao Y.* Investigation on the bearing capacity evolution of building pile foundation during permafrost degradation // Cold Regions Science and Technology. – 2024. – Vol. 221. – P. 104152. DOI: 10.1016/j.coldregions.2024.
3. *Filimonov M. Yu., Vaganova N.A., Kapkaev, V. M.* Modeling Active Layer Thickness Dynamics in Pile Foundations with Cooling Devices under Climate Warming // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2025. – Vol. 18. – No. 5. – P. 605–616. – EDN EDLCOL.
4. *Filimonov M.Y., Kamnev Y.K., Shein A.N., Vaganova N.A.* Modeling the temperature field in frozen soil under buildings in the city of Salekhard taking into account temperature monitoring // Land. – 2022. – Vol. 11. – No. 7. – P. 1102. DOI: 10.3390/land11071102.
5. *Filimonov M. Y., Vaganova N.A., Shamugia D.Zh., Filimonova I.M.* Computer Modeling of Temperature Fields in the Soil and the Bearing Capacity of Pile Foundations of Buildings on Permafrost // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2024. – Vol. 17. – No. 5. – P. 622631. – EDN OJGPTH.

О ПРИМЕНЕНИИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ДВИЖИТЕЛЯ ПЛАВНИКОВОГО ТИПА В СОСТАВЕ БИОМОРФНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Коваль К.А.[1], Сухоруков А.Л.[2]

[1]*АО «ЦКБ МТ «Рубин», г. Санкт-Петербург, Россия*

[2]*АО «ЦКБ МТ «Рубин», г. Санкт-Петербург, Россия*

[1]*koval.kir2014@yandex.ru,* [2]*su_ andr@yahoo.com*

В рамках работы предложены подходы, позволяющие вычислять параметры движения биоморфных аппаратов, оснащенных составным плавниковым движителем [1, 2] — перспективным движительным комплексом с повышенными пропульсивными качествами и низким акустическим излучением. Актуальность исследования обусловлена потребностью в увеличении эффективности подводных роботизированных аппаратов.

На основе математического моделирования были вычислены параметры движения простейшего робота-рыбы. Результаты расчета

динамики аппарата хорошо согласуются с опытными данными, полученными при проведении испытаний в емкости с водой. Используемые подходы могут быть применены для аппаратов, оснащенных составным плавниковым движителем.

Составной плавниковый движитель обладает повышенными пропульсивными качествами за счет возникновения резонансных режимов движения, требующих минимального количества энергии для поддержания колебаний [3]. Возможность возникновения таких эффектов показана в работе теоретически и экспериментально, на основе испытаний в емкости с водой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сухоруков А.Л., Лускин Б.А., Коваль К.А.* Подводный аппарат с плавниковым движителем // Патент на изобретение № 2678732, 2019.
2. *Сухоруков А.Л., Болгарев И.Ф., Коваль К.А.* Подводный аппарат с плавниковым движителем // Патент на изобретение № 2818387, 2024.
3. *Козлов Л.Ф.* Теоретическая био-гидродинамика. // Киев: Виша школа, 1983. - 240 с.

МОДУЛЬ АНАЛИЗА КОНТЕКСТА СЕТЕВОГО ТРАФИКА ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Козлова С.В., Кулясов Н.В.
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

Концепция интернета вещей (IoT), опирающаяся на совместимые информационно-коммуникационные технологии, составляет основу современной инфраструктуры цифрового общества. IoT-сети позволяют вести непрерывный мониторинг технологических процессов, выявлять риски и прогнозировать отказы оборудования. Важной задачей становится оперативный анализ аномального поведения системы [1, 2] с учётом контекста – совокупности характеристик сетевой инфраструктуры и технологической среды. В работе рассматривается подход к выявлению аномалий в IoT-сети с опорой на контекстуальные данные, включая телеметрию и сетевые метаданные.

В рамках исследования реализован модуль графической аналитики для использования в микросервисной системе управления контекстом интернета вещей. Данный модуль реализован на языке Python с использованием библиотеки Streamlit. Он предназначен для визуализации показателей сетевой активности, полученных при обработке накопленных дампов сетевого трафика. Модуль осуществляет выборку данных из базы согласно заданным параметрам, после чего

отображает информацию в виде интерактивного дашборда. Такой подход позволяет построить автономную BI-систему в формате «BI as a code», не прибегая к сторонним платформам, что обеспечивает гибкость и автономность анализа.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *DeMedeiros K., Hendawi A., & Alvarez M.* A Survey of AI-Based Anomaly Detection in IoT and Sensor Networks // Sensors. 2023. Т. 23. N. 3. P. 1352. https://doi.org/10.3390/s23031352.
2. *Rodríguez M., Tobón D. P., & Múnera D.* Anomaly Classification in Industrial Internet of Things: A Review // Intelligent Systems with Applications. 2023. Т. 23. P. 200232. https://doi.org/10.1016/j.iswa.2023.200232.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ГЕОМОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМАХ

Копылова О.А., Хайретдинов М.С.
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск

В рамках проблемы геофизического мониторинга окружающей среды стоит задача распознавания мощных источников импульсных сейсмоакустических колебаний техногенной природы в условиях повышенных окружающих шумов [1, 2, 3]. В качестве таких источников могут выступать карьерные и промышленные взрывы и др. Целью работы является разработка методов, алгоритмов распознавания импульсных источников с повышенной точностью в геомониторинговых системах. Решение задачи распознавания основано на использовании рекуррентной нейронной сети с вычислением в качестве информативных признаков коэффициентов дискретного вейвлет-разложения. Точность работы предложенных теоретических подходов доказана на основе вычисления критерия правильного распознавания по отношению к данным полевых экспериментов.

Работа выполнена в рамках госзадания FWNM–2025–0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хайретдинов М.С., Авроров С.А.* Обнаружение и распознавание взрывных источников // Вестник НЯЦ РК. 2012. Вып. 2. С. 17–24.

2. *Shang X., Li X., Morales-Esteban A., Chen G.* Improving microseismic event and quarry blast classification using Artificial Neural Networks based on Principal Component Analysis // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2017. Vol.. 99. P. 142–149.
3. *Смирнов А.А., Мукамбаев А.С., Михайлова Н.Н.* Методика распознавания сейсмических событий по комплексу инфразвуковых и сейсмических данных. // Вестник НЯЦ РК. 2020. Вып. 2. С. 105-111.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВАЛОВ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Короткий А.И., Стародубцева Ю.В.
Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, г. Екатеринбург

Представлены математическая модель и результаты численных расчетов задачи формирования провалов на свободной поверхности вязкой жидкости, заполняющей некоторую ёмкость и вытекающей из некоторого отверстия.

Рассмотрена двумерная модель, описывающая эволюцию прогиба свободной поверхности вязкой двухфазной жидкости при её вытекании из некоторого отверстия при стандартных граничных и начальных условиях на стенках ёмкости и в начальный момент времени. Математическая модель включает в себя уравнение Навье — Стокса для определения общего поля скоростей в поле силы тяжести, уравнение несжимаемости и уравнение адвекции границы раздела фаз [1].

Для численного решения поставленной задачи был выбран метод Volume of Fluid (VOF) в программной среде OpenFOAM. Этот метод позволяет эффективно моделировать поведение свободной поверхности жидкости (поверхности раздела фаз) и отслеживать изменения её формы в процессе вытекания жидкости.

Проведена серия вычислительных экспериментов при различных параметрах модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Короткий А.И., Цепелев И.А., Исмаил-Заде А.Т.* Ассимиляция данных о свободной поверхности потока жидкости для нахождения ее вязкости // Труды Института математики и механики УрО РАН. 2022. Т. 28, № 2, С. 143-157.
DOI: https://doi.org/10.21538/0134-4889-2022-28-2-143-157.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ КЛЮЧЕЙ И АНАЛИЗА СЕТЕВОГО ТРАФИКА

Крыжановская Ю.А.
ФГБОУ ВО ВГУ, jak@mail.ru

В задачах криптографии нейронные сети находят применение, например, в генерации псевдослучайных последовательностей и ключей, в задачах криптоанализа (атаки на шифры), в обнаружении аномалий и вторжений в системах защиты информации (IDS)[1]. В данной работе рассмотрена генерация криптографического ключа с помощью многослойного персептрона (MLP) [2] и оценка его характеристик, а также анализ сетевого трафика и оценка качества обученной модели. В качестве средства реализации был использован Python.

Для решения первой задачи построена модель нейронной сети, принимающая на вход случайный шум и генерирующая 128-битный бинарный ключ. MLP содержит три слоя: слой, принимающий случайные числа (шум), с функцией активации relu; скрытый слой с функцией активации relu; слой, выдающий 128 бит, с функцией активации sigmoid. Для оценки качества ключа используется энтропия, которая по результатам тестирования близка к 1, что говорит о пригодности модели для генерации ключей. Для решения второй задачи необходимо загрузить и предобработать датасет NSL-KDD, исключая нечисловые признаки и кодируя метки: нормальные сетевые подключения преобразуются в 0, а атаки в 1. Затем отделяется целевая переменная, данные нормализуются, делятся на обучающую и тестовую выборки, строится нейронная сеть для бинарной классификации, построенная модель обучается на предобработанных данных. Качество обучения и точность модели выводится на экран и визуализируется с помощью графиков. Из анализа результатов видно, что применённая модель хорошо подходит для задач классификации статуса сетевого подключения в рассматриваемом наборе данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глущенко М. В.* IDS / IPS — системы обнаружения и предотвращения вторжений / М.В. Глущенко, А.А. Ширяев, С.А. Глушенко. – Текст: электронный // Концепция «Общества знаний» в современной науке. – 2019. – С. 115-117.
2. *Галушкин А.И.* Нейронные сети: основы теории. / А.И. Галушкин. – Москва: РиС, 2014 – 496 с.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНТЕКСТОМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Кулясов Н.В.
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

С развитием технологий интернета вещей (IoT) наблюдается стремительное увеличение числа подключённых устройств и объёма генерируемых ими разнородных данных [1]. Помимо данных, генерируемых самими устройствами, также существует множество источников, окружающих их, которые составляют так называемый контекст. Это могут быть дополнительные статистические характеристики, полученные в ходе предварительного анализа, метрики с промежуточных сетевых устройств, показатели окружающей среды и многое другое. Обработка, систематизация, хранение, анализ и управление этими данными являются сложными задачами, для решения которых применяется множество различных систем и инструментов. Одним из подходов для формализации, структурирования и систематизации является построение онтологии, учитывающей все сущности и взаимосвязи между элементами системы, данными, характеристиками и контекстом. [2].

В данной работе предлагается микросервисная архитектура системы, обеспечивающей централизованное взаимодействие с разнородными данными на основе разработанной онтологической модели. Такой подход позволяет сформировать единую точку входа, интегрирующую данные, контекст и инструментарий для их анализа и обработки.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *L. Atzori, A. Iera, G. Morabito.* The internet of things: A survey // Computer Networks. 2010. N. 54(15). P. 2787–2805.
2. *Исаева О.С.* Построение онтологии для систематизации характеристик сети Интернета вещей // Онтология проектирования. — 2024. — Т. 14, Вып. 52. — С. 243–255. DOI: 10.18287/2223-9537–2024-14-2-243–255, EDN: RFHZOJ

ОБОГАЩЕНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Кулясов Н.В.
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

Современные мониторинговые системы базируются на обработке данных временных рядов. Такие данные являются ключевым инструментом при разработке моделей прогнозирования погоды и оценки экологических/эксплуатационных показателей, а также для решения задач урбанистики. Однако реальные условия эксплуатации распределённых систем приводят к деградации данных: неизбежны пропуски значений, ошибки замера (выбросы) и аномалии измерений как технического характера, так и обусловленные экстремальными погодными явлениями. Эти искажения затрудняют проведение анализа, повышают неопределённость моделей и могут существенно снижать точность прогнозов.

Первостепенными задачами при работе с такими данными является восстановление пропущенных данных и обнаружение аномалий, для поиска которых активно применяются методы машинного обучения. Для повышения надежности моделей и минимизации обобщенной ошибки применяется обогащение данных [1], которое предполагает дополнение исходных временных рядов информацией из внешних источников. В исследовании рассматриваются данные прогнозных метеомоделей, пригодные для обогащения метеорологических временных рядов, доступные через открытые источники [2], которые включают глобальные модели IFS, IKON, GFS и региональные модели высокого разрешения.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Хозяинов И.* Обогащение данных - что это и почему без него никак // url: . Дата обращения: 03.02.2025.
2. *P. Zippenfenig.* Open-Meteo.com Weather API // Zenodo, 2023. DOI: 10.5281/ZENODO.7970649.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Кутищева А.Ю.
ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Изучение акустических свойств флюидонасыщенных горных пород представляет значительный интерес для решения прикладных задач нефтегазовой геофизики, включая оценку фильтрационно-емкостных свойств коллекторов и интерпретацию данных сейсморазведки. Особую актуальность приобретают методы численного моделирования, позволяющие учитывать сложную микроструктуру породы и характер насыщающего флюида.

В работе представлены результаты разработки методик расчёта акустических свойств на основе трёхмерных цифровых моделей. Реализованы два подхода: статический, основанный на численном моделировании квазистатического нагружения с определением эффективных модулей упругости, и динамический, включающий прямое моделирование распространения сейсмических волн. Численные задачи решались гетерогенных многомасштабным методом конечных элементов на полиэдральных носителях.

Проведена валидация методик путём сравнения с лабораторными экспериментами и опубликованными данными. Установлено, что оба подхода демонстрируют хорошую сходимость с экспериментальными результатами, при этом обладают различной вычислительной эффективностью. Полученные результаты позволяют более точно учитывать влияние напряжённого состояния и флюидонасыщения на акустические характеристики, что важно для решения практических задач разведочной геофизики и мониторинга разработки месторождений.

Работа выполнена при поддержке проекта FWZZ-2022-0030

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ГАЗОВОЙ ЯЧЕЙКОЙ, ИОНИЗОВАННОЙ БИХРОМАТИЧЕСКИМ ЛАЗЕРНЫМ ИМПУЛЬСОМ

Лисейкина Т.В.
Институт вычислительной математики и математической геофизики СОРАН, г. Новосибирск, Россия

Электромагнитное излучение в терагерцовой (ТГц) области частот имеет значительный потенциал для использования в фундаментальной экспериментальной физике и в различных практических приложениях. Источники высокоинтенсивных коротких ТГц импульсов представляют особый интерес, т.к. могут быть использованы для управления быстрыми атомными процессами [1]. В настоящее время в лабораториях применяется несколько эффективных методов генерации сильных ТГц волн [2]. В работе рассматривается схема генерации ТГц излучения при ионизации газовой ячейки бихроматическим лазерным импульсом. Представлена основанная на полностью кинетическом описании плазмы физико-математическая модель для описания макроскопического отклика плазмы, образующейся в результате ионизации газа, которая позволяет самосогласованно вычислить плотность электронного тока и учесть влияние когерентного ТГц излучения на динамику электронов. В численной реализации модели для решения кинетического уравнения Власова используется метод частиц-в-ячейках, полевая ионизация учитывается в рамках каскадного механизма [3], для нахождении электромагнитных полей применяется метод Йи [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках проекта 24-21-00037.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hafez H. A. et al.* Intense terahertz radiation and their applications// J. Opt. 2016. V. 18. id. 093004
2. *Dhillon S. D. et al.* The terahertz science and technology roadmap// J. Phys. D. 2017. V. 50. id. 043001
3. *Popov V.S.* Tunnel and multiphoton ionization of atoms and ions in a strong laser field (Keldysh theory)// Phys. Usp. 2004. V. 47. No. 9. P. 855-885
4. *Taflove A., Hagness S.C.* Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. 2000. Chap. 5.8

ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПЕРВОГО ПОРЯДКА: ОТ СВЕРХУСТОЙЧИВОСТИ К ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Люлько Н.А.

Институт Математики имени С.Л. Соболева, г. Новосибирск

В полуполосе $\Pi = \{(x,t) : 0 \leqslant x \leqslant 1,\ 0 \leqslant t < \infty\}$ рассматривается

смешанная задача для гиперболической системы первого порядка

$$\partial_t u_j + A_j(x,t,u)\partial_x u_j + \sum_{k=1}^{n} B_{jk}(x,t,u)u_k = 0, \quad ,1 \leqslant j \leqslant n,$$

где $n \geqslant 2$ и $u = (u_1, ..., u_n)$ - неизвестная вещественная вектор-функция. При этом коэффициенты A_j и B_{jk} - гладкие функции и A_j для всех значений аргументов отделены от нуля. В [1] приводятся граничные условия, задаваемые на сторонах П, при которых все гладкие решения рассматриваемой распавшейся задачи ($B_{jk} = 0$, $j \neq k$) стабилизируются к нулю за конечное время, не зависящее от начальных данных (свойство сверхустойчивости). В случае нераспавшейся системы эти условия обеспечивают экспоненциальную устойчивость соответствующей начально-краевой задачи.

Свойство сверхустойчивости (*superstability*) было введено в [2] для линейных систем $\frac{d}{dt}x(t) = Ax(t)$, $x(t) \in X$ $(0 \leqslant t \leqslant \infty)$ ($X-$ банахово пространство), и означало, что все решения системы убывают быстрее экспоненты в любой степени. В [3] для гиперболических систем был выделен класс сверхустойчивых краевых задач.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института математики имени С.Л. Соболева СОРАН (проект № FWNF-2022-0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Люлько Н.А.* Стабилизация к нулю за конечное время и экспоненциальная устойчивость квазилинейных гиперболических систем. СМЖ. 2023. Т. 64. № 6. С. 1229–1247.
2. *Balakrishnan A.V.* Superstability of systems. Applied Mathematics and Computation. 2005. V. 164. N 2. P. 321-326.
3. *Kmit I.Y., Lyul'ko N.A.* Finite time stabilization of nonautonomous first-order hyperbolic systems. SIAM J. Control and Opt. 2021. V. 59. N 5. P. 3179-3202.

О РЕШЕНИИ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ С ПОДВИЖНОЙ ГРАНИЦЕЙ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПОТОКА ТЕПЛА НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА СРЕД

Марков Б.А., Коржова М.Е., Сидикова А.И.
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск

В настоящей работе рассматривается задача определения температуры на внешней границе теплозащитного слоя для композит-

ного материала. Движение границы предполагается известным, заданным в определённые моменты времени. При движении границы предполагается, что температура слоя является постоянной, равной критическому значению температуры разрушения слоя. Задача состоит в том, чтобы найти температуру на внешней границе по известной температуре на границе раздела сред.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial u_1(x,t)}{\partial t} = a_1^2 \dfrac{\partial^2 u_1(x,t)}{\partial x^2},\ x \in (h(t);1),\ t \in (0;\infty), \\ \dfrac{\partial u_2(x,t)}{\partial t} = a_2^2 \dfrac{\partial^2 u_2(x,t)}{\partial x^2},\ x \in (1;+\infty),\ t \in (0;\infty), \\ u_1(x,0) = 0,\ x \in [0;1],\ u_2(x,0) = 0,\ x \in (1;+\infty), \\ u_1(h(t),t) = \nu(t),\ t \in [0;+\infty),\ u_2(+\infty,t) = 0,\ t \in [0;+\infty), \\ u_1(1,t) = u_2(1,t) = \mu(t), t \in [0;+\infty), \\ a_1 \dfrac{\partial u_1(1,t)}{\partial x} = a_2 \dfrac{\partial u_2(1,t)}{\partial x},\ t \in [0;+\infty), \end{cases} \tag{1}$$

где $h(t)$ - известная функция движения границы защитного слоя, $\mu(t)$ - температура на границе раздела сред. Требуется определить температура на внешней поверхности защитного слоя, то есть функцию $\nu(t)$.

Решение задачи (1) при условии $h(t) \in C^1[0;+\infty)$, $q(t) \in C^1[0;+\infty)$ существует, единственно и может быть записано в явном виде.

Решение обратной задачи строится методом проекционной регуляризации [1], получаемая погрешность при этом имеет порядок: $\|\nu_0(t) - \nu_\delta\|_{L_2} \leqslant A \cdot \log^2 \delta$, $A -$ const, $\delta -$ погрешность начальных данных ($\|\mu(t) - \mu_\delta(t)\|_{L_2[0,+\infty)} \leqslant \delta$, $\|h(t) - h_\delta(t)\|_{L_2[0,+\infty)} \leqslant \delta$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов В.К., Васин В.В., Танана В.П.* Теория линейных некорректных задач и ее приложения. М.: Наука, 1978. 208 с.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЕ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПЕРЕНОСА В ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕДАХ

Марков С.И.[1,2], Шурина Э.П.[1,2], Иткина Н.Б.[2,3]

[1] *Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН*

[2] *Новосибирский государственный технический университет*

[3] *Институт вычислительных технологий СО РАН, г. Новосибирск*

Классические конечноэлементные схемы решения нестационарных задач базируются на методе Роте: дискретизация по времени и последующее решение полученной системы дифференциальных уравнений в частных производных.

Процессы переноса описываются гиперболическими уравнениями, одна из особенностей которых заключается в существовании разрывных решений, независимо от гладкости начальных условий. Для получения устойчивого и физически релевантного численного решения к методу дискретизации предъявляется ряд требований, связанных с сеточным шагом как по пространству, так и по времени.

Соблюдение данных ограничений потенциально может привести к существенному росту дискретного аналога решаемых задач. Применение конечноэлементной дискретизации на пространственно-временной области для решения уравнений переноса – новый способ построения релевантного дискретного аналога, направленный на преодоление ограничений классических конечноэлементных схем, таких как проблемы устойчивости и сходимости.

В докладе предлагается применить модификацию пространственно-временной конечноэлементной дискретизации уравнения переноса, основанной на принципах вычислительной схемы разрывного метода Галёркина по времени (TdG). В схемах TdG временной интервал делится на независимые временные интервалы, и между ними допускаются временные разрывы или скачки. Метод конечных элементов применяется на каждом временном отрезке, и неизвестные, которые решаются на одном временном отрезке, служат исходными данными для последующего.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской академией наук в рамках государственного задания FWZZ-2022-0030.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПО МАЛОМУ ПАРАМЕТРУ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПРОГИБА БАЛКИ

Маслов Д.А.
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

Рассматривается краевая задача для нелинейного дифференциального уравнения статической балки [1]:

$$u^{IV} = \varepsilon u''(u')^2 + f, \quad x \in (0,1), \tag{1}$$

$$u(0) = u(0)'' = u(1) = u(1)'' = 0, \tag{2}$$

где функция $u(x)$ описывает нормализованный прогиб балки, $f(x)$ — функция распределённой нагрузки, $\varepsilon > 0$ — малый параметр, характеризующий нелинейные свойства материала балки [1].

Задача (1), (2), как и ряд других нелинейных стационарных задач определения прогиба балки, может быть представлена в виде уравнения в банаховом пространстве E:

$$Au = \varepsilon B(Gu, Hu, Hu) + f, \tag{3}$$

где ε — малый параметр; A, G, H — линейные неограниченные операторы; $B : E \times E \times E \to E$ — полилинейный ограниченный оператор (3-линейный оператор); функция $f \in E$.

Решение уравнения (3) ищем в виде ряда по степеням малого параметра ε. Доказано, что если A является замкнутым неограниченным оператором с областью определения D_A и имеет непрерывный обратный оператор A^{-1}, а операторы G и H являются замкнутыми неограниченными с областями определения D_G, D_H, такими, что $D_A \subset D_G$, $D_A \subset D_H$, то уравнение (3) имеет единственное аналитическое в точке $\varepsilon = 0$ решение. Для доказательства данной теоремы вводились специальные операторы $T_1 = GA^{-1}$, $T_2 = HA^{-1}$ [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ерофеев В.И., Кажаев В.В., Семерикова Н.П.* Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 207 с.
2. *Качалов В.И., Маслов Д.А.* Об аналитических решениях задач нелинейной теории возмущений // Сибирские электронные математические известия. 2025. Т. 22. № 1. С. 457–464.

СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ДЕФОРМАЦИЯМИ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ОДНОРОДНОГО ИЗОТРОПНОГО ТЕЛА С УЧЁТОМ ПРОИЗВОДНЫХ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Мкртычев О.В.
Российский государственный социальный университет, г. Москва

В большинстве задач линейной теории упругости однородных изотропных тел соотношения, связывающие деформации и перемещения рассматриваемых тел, используются уравнения Коши [1, 2]. Геометрические уравнения Коши представляют из себя систему уравнений в частных производных первого порядка. В случае учёта

производных более высоких порядков, не существует уже общепринятых уравнений. Автор работы предлагает рассматривать соотношения между деформациями и перемещениями с учётом производных второго порядка [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ермоленко Г.Ю., Мкртычев О.В.* Фундаментальное решение уравнения с оператором термоупругости // Вестник Новороссийского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Серия: механика и математика. 2022. Т. 2. № 2. С. 26–28.
2. *Мкртычев О.В.* Уравнения между деформациями и перемещениями при моделировании упругого тела тремя взаимно перпендикулярными пластинами // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2024. Т. 50. № 4. С. 92–96.
3. *Мкртычев О.В.* Модифицированные уравнения Коши // Сборник трудов V международной научно-практической конференции «Инженерно - техническое образование и наука» (г. Новороссийск, 15–18 апреля 2025 г.). Новороссийск: Изд-во НФ БГТУ им.В.Г. Шухова, 2000. С. 89–90.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ДИФФУЗИОННОГО ПЛАМЕНИ НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПММА

Морар Г., Карпов А.И., Шаклеин А.А.

Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН , г. Ижевск

Проводится численное исследование параметров турбулентного диффузионного пламени на вертикальной поверхности различных размеров полиметилметакрилата (ПММА) с использованием программного пакета с открытым кодом Fire Dynamics Simulator (FDS) [1]. Турбулентный перенос моделируется при помощи LES подхода с замыканием Deardoff для подсеточной вязкости.

На рисунке 1 показан оригинальный график из статьи [2] с добавленными результатами, полученными в ходе этой работы.

По полученным результатам показано, что несмотря на отличия в размерах моделируемых образцов, высота пламени над поверхностью слабо зависит от размера горящей поверхности и для всех рассмотренных вариантов равна 20 см.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-29-00148)

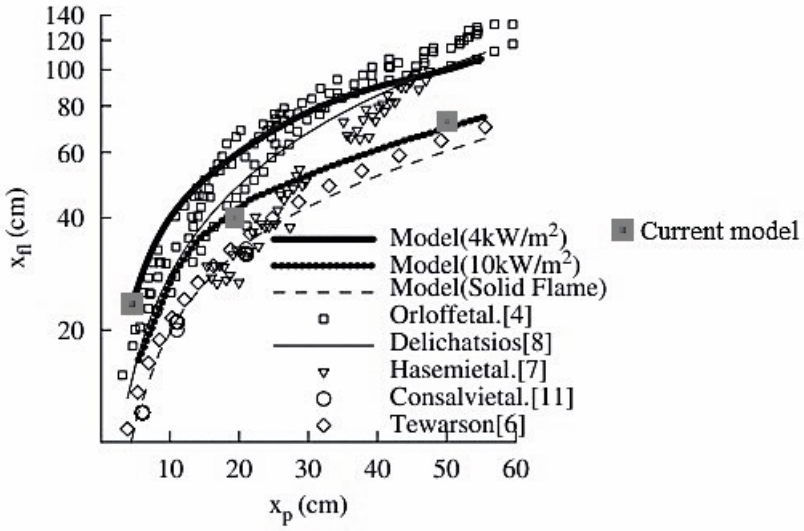

Рис. 1: Зависимость высоты пламени от длины зоны пиролиза полученная в работе [14] с данными, полученными в данном расчете (current model)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., McDermott R., Vanella M.* Fire Dynamics Simulator, Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model, NIST Special Publication 1018-1, Sixth Edition, November 2021.
2. *J.L. Consalvia„ Y. Pizzoa,b, B. Porteriea , J.L. Toreroc* On the flame height definition for upward flame spread // Fire Safety Journal, 2007, vol. 42, pp. 384–392

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА МИКРОТВЁРДОСТЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА 316L, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЛП

Нгуен Т.Л.[1]

[1] *Московский авиационный институт (МАИ), г. Москва*

Модели из сплава 316L создавались с использованием технологии SLM на 3D-принтере EP-M250 с использованием сферического порошка нержавеющей стали, среднего размера частиц 37,2 мкм,

плотностью 4700 кг/м^3 и температурой плавления 1783 K. Состав порошка включал хром, никель, углерод и молибден.

Эксперименты проводились с технологическими параметрами, включающими скорость сканирования от 50 до 350 мм/с, мощность лазера от 25 до 225 Вт, расстояние между линиями сканирования от 0,04 до 0,06 мм, и толщину слоя порошка 60 мкм. Микротвердость образцов измерялась методом Виккерса (EN ISO 6507) на приборе DURASCAN G5 с нагрузкой 500 г в течение 10 секунд, в точках сетки 3x3 с интервалом 2,5 мм.

Оптимальный результат показал микротвердость 231,8 HV при использовании мощности лазера 175 Вт, скорости сканирования 200 мм/с и расстояния между линиями сканирования 0,04 мм, что соответствует теоретическим расчетам и методам моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tucho W. M., Lysne V. H., Austbo H., Sjolyst Kverneland A., Hansen V.* Investigation of effects of process parameters on microstructure and hardness of SLM manufactured SS316L // Journal of Alloys and Compounds. 2018. T. 740. C. 910–925.
2. *Buican G. R., Oancea G., Lancea C., Pop M. A.* Some considerations regarding micro hardness of parts manufactured from 316L Steel using SLM technology // Applied Mechanics and Materials. 2015. T. 760. C. 515–520.
3. *Gajera H., Shah D., Pancholi N.* Effect of SLM process parameters on hardness and microstructure of stainless steel 316 material // Materials Today: Proceedings. 2022. T. 50. C. 1653–1659.

МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ ДЛЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ КОДОВ

Острик А.В., Ахметова М.А., Николаев Д.Н.
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка

В настоящее время имеется представительный набор уравнений состояния (УРС) поликристаллических тел (ПКТ), в том числе, и табличных. Однако при их использовании в газодинамических кодах значительная часть времени затрачивается не на численное решение дифференциальных уравнений законов сохранения, а на интерполирование 2D - таблиц термодинамических функций в зависимости от переменных состояния (как правило, от плотности и температуры). На практике часто требования к точности описания поведения вещества не столь высоки, как достигаемые в табличных УРС. Поэтому

целесообразна разработка малопараметрических УРС с информацией в аналитическом виде или на основе 1D - таблиц.

В работе рассматриваются методы построения малопараметрических УРС ПКТ в области сжатия на примере оксидов. Сапфир (Al_2O_3), периклаз (MgO) и кварц (SiO_2) относятся к группе основных породообразующих оксидов. Они входят в состав коры и мантии Земли и других планет. Построение УРС этих веществ при высоких давлениях требуется для исследований формирования и эволюции космических тел, в частности, при прогнозировании последствий их столкновения. Сапфир служит также в качестве оконного материала в ударно-волновых экспериментах.

В области сжатия УРС строились методом, предложенным в работе [1], на основе экспериментально полученных параметров ударно сжатых оксидов и других доступных данных.

Построены по критерию Линдемана кривые плавления оксидов при высоких давлениях. Получено согласие расчетных и экспериментальных данных.

Работа выполнена в рамках Госзадания, рег. № 124020600049-8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *A. Ostrik and D. Nikolaev* Shock induced melting of sapphire // J. Phys.: Conf. Ser. 2154 012010 (2022).

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ С ТРЕЩИНАМИ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Перельмутер М.Н.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва

Метод граничных интегральных уравнений (ГИУ) в прямой формулировке используется для решения нестационарных задач теплопроводности и термоупругости для кусочно-однородных тел при наличии трещин на границе раздела материалов. Учитывается взаимодействие берегов трещин при наличии подкрепляющих волоконсвязей в концевой области трещины. Взаимодействие берегов трещин в концевой области моделируется распределенными усилиями, приложенными к берегам трещины и зависящими от её раскрытия. Полагается, что концевая область является частью трещины, а коэффициенты интенсивности напряжений определяются в вершине трещины, совпадающей с вершиной концевой области [1, 2]. Первым

этапом решения задачи является решение нестационарной задачи теплопроводности. Для решения задачи используется шаговая схема по времени. Результаты решения задачи теплопроводности используются как начальные данные для задачи термоупругости. В задачах термоупругости используются ГИУ с фундаментальным решением Кельвина. Для численного решения ГИУ используются квадратичные изопараметрические граничные элементы и специальные граничные элементы вблизи вершины трещины, учитывающие асимптотическое поведение переменных (температуры, теплового потока, перемещений и напряжений). Разработан пакет программ для решения задач нестационарной термоупругости с трещинами. Получены решения новых задач термоупругости с трещинами.

Работа выполнена по программе госзадания № 124012500437-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Perelmuter M.* Boundary element analysis of structures with bridged interfacial cracks // Computational Mechanics. 2013. V. 51. N. 4. P. 523–534.
2. *Perelmuter M.* Analysis of interaction of bridged cracks and weak interfaces // International Journal of Mechanical Sciences. 2018. V. 149. P. 349–360.

ТРАЕКТОРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РОБОТА С ПОМОЩЬЮ СПЛАЙН-ФУНКЦИЙ

Плотникова Н.В.
Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет), г. Челябинск

Рассмотрим задачу планирования траектории как задачу определения программного движения степеней подвижности на некотором временном отрезке. Движение будет заключаться в перечислении точек позиционирования, через которые должны пройти либо сочленения манипулятора (если точки заданы в пространстве обобщенных координат), либо его схват (если точки заданы в декартовом пространстве). Один из подходов к построению траектории, удовлетворяющей условиям гладкости, состоит в использовании интерполяционных многочленов – в этом случае получается легко разрешаемая система линейных уравнений. Следующий способ полиномиальной аппроксимации состоит в том, что используется не один многочлен, а несколько, которые склеиваются так, что полученная в результате траектория обладает требуемой степенью гладкости. Однако,

если в начальной и конечной точках траектории известны значения обобщенных координат, скоростей и ускорений, то матрица линейной системы уравнений может оказаться вырожденной, тогда решение соответствующей линейной системы может не существовать. Кроме того, при большом количестве точек траектории (а оно может достигать нескольких сотен для сложных контуров) степень многочлена тоже высока и возникают трудности, связанные с большим объемом вычислений значений многочлена в каждой точке. Чтобы избежать этого, возможно использование сплайн-функций. Теоретические расчеты показывают, что получаемая система уравнений будет иметь решение и может быть решена методом прогонки.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННОГО НЕЛИНЕЙНОГО РАЗВИТИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В ЖИДКОЙ ПЛЕНКЕ

Прокудина Л.А.
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск

Представлено нелинейное параболическое уравнение (НПУ) [1] для амплитуды огибающей волнового пакета

$$\frac{\partial A}{\partial t_2} + i\frac{\partial \omega_i}{\partial k_x}\frac{\partial A}{\partial x_1} - \frac{i}{2}\left(\frac{\partial^2 \omega_r}{\partial k_x^2} + i\frac{\partial^2 \omega_i}{\partial k_x^2}\right)\frac{\partial^2 A}{\partial x_1^2} = \overline{\omega_i}A - (\beta_1 + i\beta_2)|A|^2 A.$$

коэффициенты НПУ выражены через волновые характеристики частоту, инкремент, а также их первые и вторые производные. Коэффициенты при нелинейном члене НПУ характеризуют: первый нелинейное затухание возмущений, а второй – нелинейную зависимость фазы от амплитуды. В условиях неоднородности поверхностного натяжения проведены вычислительные эксперименты, связанные с нелинейным ростом и взаимодействием возмущений в жидкой пленке при умеренных числах Рейнольдса. Найдены области неустойчивости, выделены гармоники максимального инкремента, в окрестности которых коэффициенты при нелинейном члене отличны от нуля и сохраняют постоянное значение, что вызывает нелинейную зависимость фазы от амплитуды возмущений, а также формирование достаточно устойчивой диссипативной структуры [2], например, в виде вихревых потоков вблизи поверхности раздела при воздействии термокапиллярных сил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прокудина Л.А.* Нелинейное развитие неустойчивости Марангони в жидких пленках // Инженерно-физический журнал. 2016. Т. 89. № 4. С. 920–926.
2. *Prokudina L., Yaparov D.* Numerical modeling of the mass of the flowing liquid at transverse oscillations of the straight tube // AIP Conference Proceedings. Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences, AMiTaNS 2019.120011.

О НЕКОТОРЫХ СЛЕДСТВИЯХ УРАВНЕНИЙ ОБЕРБЕКА—БУССИНЕСКА

Рубина Л.И.

Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, г. Екатеринбург

Рассматриваются следствия системы уравнений нестационарной пространственной естественной конвекции несжимаемой вязкой жидкости. А.Ф.Сидоров применял некоторые аналитические методы построения решений в нелинейных задачах пространственной естественной конвекции, используя модель Обербека—Буссинеска [1]. Позднее эта модель лежала в основе работы [2], в которой были получены новые точные решения системы и изучался вопрос о возможности существования безвихревого конвективного течения. Известно, что вихревое движение жидкости затрудняет навигацию. В работе [2] показано, что конвективное течение почти всегда является вихревым. Безвихревое конвективное движение получено для узкого класса потенциальных течений при температуре $T = T(z, t)$.

В данной работе анализируются следствия, полученные после исключения температуры из системы Обербека—Буссинеска. В результате вместо температуры в уравнении теплопроводности неизвестным становится давление. Для определения давления полученное УЧП сведено к ОДУ в общем случае и на примерах. Предложен алгоритм получения безвихревого конвективного движения в случае произвольного потенциального течения жидкости в части трехмерного пространства («коридор»), основанный на методе редукции УЧП и систем УЧП к ОДУ. ОДУ предлагается решать методом характеристик. Показано в общем случае и на примерах, что при любом конвективном течении несжимаемой вязкой жидкости существует «коридор», в котором осуществляется безвихревое движение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сидоров А.Ф.* Аналитические методы построения решений в нелинейных задачах пространственной естественной конвекции (обз. доклад) // VI Всероссийская школа по моделям механики сплошных сред. Алма-Ата. 1981. Новосибирск 1981. С. 236–250.
2. *Ульянов О. Н.,Рубина Л.И.* О некоторых классах свободноконвективных движений // Труды Института Математики и Механики УРО РАН. 2023. Т. 29, № 2, С. 189—206.

МЕТОД ФУНКЦИИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ТРАНЗИЕНТНЫХ АТТРАКТОРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ряшко Л.Б.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

В данной работе рассматривается задача описания дисперсии случайных траекторий в пучках, возникающих в результате стохастического возбуждения в системах с единственным аттрактором в виде устойчивого равновесия. Показано, что причиной пространственной локализации большеамплитудных случайных траекторий в таком пучке является наличие транзиентного аттрактора в исходной детерминированной модели. При случайных возмущениях транзиентный аттрактор притягивает к себе случайные траектории, формируя режимы типа стохастического цикла.

В данной работе получены явные формулы для вычисления стохастической чувствительности транзиентных аттракторов. Эта теория является новым шагом в развитии метода стохастической чувствительности, созданной ранее для стандартных аттракторов, таких как устойчивые равновесия и предельные циклы. Обсуждается, каким образом аппарат стохастической чувствительности транзиентных аттракторов может быть конструктивно использован для аппроксимации разброса случайных траекторий в пучках, возникающих в результате стохастического возбуждения.

Конструктивные возможности новой теории демонстрируются на примере возбудимых нейронных моделей Моррис-Лекара и ФитцХью-Нагумо.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-11-00097).

СКОРОСТЬ СТАЦИОНАРНОЙ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ С ПОТЕРЯМИ И С ДВУХСТАДИЙНОЙ РЕАКЦИЕЙ

Семенко Р.Е.
Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Рассматривается задача об одномерной стационарной детонационной волне с учетом потерь импульса и тепла. Процесс детонации моделируется уравнениями Эйлера с реакцией, причем реакция описывается двумя стадиями, первая из которых является экзотермической, а вторая – эндотермической (в литературе такая детонация часто называется патологической [1]).

Расчет детонации с потерями осложнен наличием звуковой точки в зоне реакции, что с одной стороны является критерием определения скорости детонационной волны, а с другой – представляет проблему численного расчета решения, проходящего через эту точку. Известно, что кривая зависимости скорости детонации и величины потерь может иметь S-образный профиль [2], разбивающий множество решений на несколько ветвей. В работе [3] было показано, что учет потерь как импульса, так и тепла приводит к возникновению континуальной области решений на этой кривой. Вместе с тем, добавление эндотермической стадии реакции также, независимо от наличия потерь, может приводить к возникновению звуковой точки в зоне реакции [1]. Настоящее исследование посвящено случаю, когда присутствуют все эти факторы – потери импульса и тепла, а также эндотермическая стадия реакции. Показано, что в определенных случаях такая постановка задачи приводит к возникновению множества решений с двумя поверхностями сильных разрывов [4].

Работа выполнена при поддержке Математического Центра в Академгородке, соглашение с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2025-348.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dionne J.P., Duquette R., Yoshinaka A., Lee J.H.S.* Pathological detonations in H2-Cl2 // Combustion Science and Technology. 2000. Vol. 158. No. 1. P. 5–14.
2. *Brailovsky I., Sivashinsky G.* Effects of momentum and heat losses on the multiplicity of detonation regimes // Combustion and Flame. 2002. Vol. 128, No. 1, P. 191–196.
3. *Semenko R., Faria L.M., Kasimov A.R., Ermolaev B.S.* Set-valued solutions for non-ideal detonation // Shock Waves. 2016. Vol. 26, No. 2. P. 141–160.

4. *Semenko R., Raufov H.* Double shock solutions for non-ideal detonations with endothermic reaction step // Phys. Fluids. 2025. Vol. 37. No. 1. 016118.

УЛАМ-УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С РАЗРЫВНЫМИ ТРАЕКТОРИЯМИ И ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Сесекин А.Н.
Институт математики и механики имени Н.Н. Красовского УрО РАН, г. Екатеринбург

Объектом исследования является дифференциальное уравнение

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t)x(t-\tau)) + B(t, x(t))\ \dot{v}(t), \qquad t \in [t_0, \vartheta], \qquad (1)$$

где $v(t)$ — функция ограниченной вариации, а производные понимаются в обобщенном смысле. Под решением уравнения (1), как и в [1] понимается поточечный предел последовательности решений этого уравнения $x_k(t)$, порожденной последовательностью абсолютно непрерывных функций $v_k(t)$, поточечно сходящихся в функции ограниченной вариации $v(t)$, если этот предел не зависит от выбора последовательности $v_k(t)$. Различные варианты Улам-устойчивости для дифференциальных уравнений с абсолютно непрерывными траекториями представлены, например, в [2]. Эти определения неприменимы в уравнении (1) в силу неограниченности правой части уравнения (1).

В статье [3] рассматривается вопрос об устойчивости по Хайерсу-Уламу-Рассиасу для линейных систем с обобщенным воздействием. В настоящем докладе исследуются аналогичные вопросы для системы (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сесекин А.Н.* Динамические системы с нелинейной импульсной структурой // Труды ИММ УрО РАН, 2000, Т. 6, № 2, С. 497–514.
2. *Rus I.A.* Ulam stability of ordinary differential equations // Studia Uinv. «BABES–BOLYAI», Mathematica. 2009. Vol. LIV. No. 4. P. 125–133.
3. *Сесекин А.Н., Кандрина А.Д., Гредасова Н.В.* Устойчивость по Хайерсу-Уламу-Рассиасу линейных систем с обобщенным воздействием и запаздыванием // Известия ВУЗов. Математика. 2024. № 12. С. 71-84.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ СТАТИКИ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ

Смолехо И.В.
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

В данной работе рассматриваются уравнения статики жидких кристаллов, которые выводятся из уравнений упрощенной динамической модели [1]. Полученная система содержит: два уравнения для давления и касательного напряжения, которые представляют собой условия Коши-Римана; уравнение, связывающее угол поворота и касательное напряжение (является аналогом закона Гука в теории упругости); уравнение теплопроводности, описывающее распределение температуры в жидком кристалле с учетом анизотропии, вызванной ориентацией молекул; а также систему определяющих уравнений, в которую входят перемещения, давление, касательное напряжение, температура и угол поворота.

Предложен алгоритм численного решения полученных уравнений, основанный на методах комплексного анализа и численных методах. В частности, применяется метод, основанный на уравнениях Коши-Римана, который позволяет свести систему уравнений к задаче анализа комплексных функций. Неоднородное сингулярное интегральное уравнения Фредгольма 2-го рода решается методом LU-разложения. Написана программа, реализующая этот метод и проведена серия расчетов, демонстрирующая работоспособность алгоритма.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2025-1606).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sadovskii V., Sadovskaya O.* Acoustic approximation of the governing equations of liquid crystals under weak thermomechanical and electrostatic perturbations // Advances in Mechanics of Microstructured Media and Structures. Ser.: Advanced Structured Materials, Vol. 87. Cham: Springer, 2018. Chapt. 17. P. 297–341.

О БАЙЕСОВСКИХ ОЦЕНКАХ ИНТЕРВАЛОВ ОХВАТА ДЛЯ ОДНОГО УРАВНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЯ

Степанов А.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д.И. Менделеева, г. Санкт-Петербург

По аналогии с [1], в работе рассматривается простейшая модель измерения с двумя входными величинами и, соответственно, двумя источниками неопределенности (оцениваемыми по типам A и B): повторными показаниями средства измерения и его систематической

погрешностью. Опираясь на Байесовский вывод, оценивается интервал охвата для заданного уровня вероятности.

Рассматриваются нормальное и равномерное распределения повторных показаний; для описания систематической погрешности средства измерения, в частности, используется семейство двусторонних степенных распределений (TSP-распределений) [2] (в отличие от [1]). В работе, в том числе, рассматривается оценка симметричного интервала охвата вида $y \pm U$, где y — результат измерения, а U представляет собой расширенную неопределенность измерения (произведение коэффициента охвата и стандартной неопределенности). Рассмотрена зависимость коэффициентов охвата от числа повторных измерений и отношения неопределенностей, связанных с упомянутыми выше источниками.

Также рассмотрена асимптотика коэффициента охвата с увеличением преобладания вклада того или иного источника неопределенности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Chunovkina A.G., Stepanov A.V.* Calculation of coverage intervals for repeated measurements (Bayesian inference) // Journal of Physics: Conference Series, 2018, 1065 212009

2. *Kotz S., Van Dorp J.R.* Beyond beta: Other continuous families of distributions with bounded support and applications. World Scientific Publishing, 2004.

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛЫ СЛАБЫМИ КОРПУСКУЛЯРНЫМИ ИЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Степович М.А.[1], Туртин Д.В.[1], Серегина Е.В.[2], Каминская Т.П.[3], Шипко М.Н.[4]

[1] *Ивановский государственный университет, г. Иваново*

[2] *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва*

[3] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

[4] *Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, г. Иваново*

Использование импульсных корпускулярных или электромагнитных воздействий на материалы может позволить снизить радиационную нагрузку и избежать в этих материалах возможных нежелательных необратимых процессов.

В настоящей работе рассмотрены некоторые возможности использования математического моделирования для выбора режимов диагностики твёрдых тел посредством их импульсного облучения киловольтными электронами средних (до 50 кэВ) энергий и излагаются результаты экспериментального изучения влияния слабых импульсов магнитного поля на магнитную структуру некоторых электротехнических материалов.

Получены результаты, позволяющие оценить перспективы использования импульсного электронного воздействия для снижения тепловой нагрузки на мишень. Показано, что слабые импульсы магнитного поля могут существенно влиять на магнитную структуру материала.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23–21–10069, https://rscf.ru/project/23–21–10069/.

О МОДИФИКАЦИИ МЕТОДА КВАЗИОБРАЩЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-РАЗНОСТНЫХ УРАВНЕНИЙ

Табаринцева Е.В.
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассмотрим обратную граничную задачу, т.е. задачу определения граничного условия $v(t) = u(1,t)$, где $u(x,t)$ удовлетворяет условиям

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (0 < x < 1;\ t > 0);$$

$$u(x,0) = 0; u(0,t) = 0; u_x(0,t) = \varphi(t) \tag{1}$$

Здесь $\varphi(t) \in L_2[0,\infty)$ - заданная функция. Для построения устойчивого приближенного решения обратной задачи (1) в работе [2] рассматривался вариант метода квазиобращения, основанный на дифференциальной модели Каттанео-Вернотте, т.е. на сведении обратной задачи для параболического уравнения к соответствующей задаче для гиперболического уравнения с малым параметром. В настоящей работе рассматривается метод приближенного решения задачи (1), основанный на сведении исходной обратной задачи к соответствующей задаче для дифференциально-разностного уравнения теплопроводности [1]

$$u_t = w_{xx}, \quad w = u(x, t-\tau).$$

Приводятся оценки точности данных методов приближенного решения на стандартных классах равномерной регуляризации, проведено сравнение эффективности предложенных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полянин А.Д., Сорокин В.Г., Журов А.И.* Дифференциальные уравнения с запаздыванием. М.: ИПМех РАН, 2022. 464 с.
2. *Табарицева Е.В., Менихес Л.Д., Дрозин А.Д.* О решении граничной обратной задачи для параболического уравнения методом квазиобращения // Вестник ЮУрГУ, серия «Математика. Механика. Физика». 2012. Т. 6, № 11. С. 8–13.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОСТРОЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ЛИ ДЛЯ СИСТЕМ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Талышев А.А.

Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

Если система ОДУ (обыкновенных дифференциальных уравнений) инвариантна относительно однопараметрической группы преобразований Ли, то имеется несколько различных алгоритмов понижения порядка системы на единицу и один из них описанный в [1, §8], как показано в [2], позволяет последовательное понижение порядка систем, допускающих более, чем однопараметрические симметрии Ли.

В случае ОДУ первого порядка, допускаемая основная алгебра Ли операторов для группы точечных преобразований бесконечномерна. Однако определяющая система сложнее исходной системы дифференциальных уравнений. Любую систему ОДУ, как правило, можно преобразовать к одному уравнению высокого порядка (см. например [3]).

Таким образом для обыкновенных дифференциальных уравнений касательные преобразования и высшие симметрии являются точечными преобразованиями при записи системы в виде системы первого порядка.

Итак, если потребовать чтобы коэффициенты инфинитизимального оператора для независимой переменной и первой компоненты зависимой переменной не зависели от остальных зависимых переменных, то такие преобразования будут точечными для одного уравнения высокого порядка. И определяющая система будет переопределенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. *Овсянников Л.В.* Групповой анализ дифференциальных уравнений. М.: Наука. 1978. 400 с.
2. *Талышев А.А.* Об интегрировании автоморфных систем конечномерных групп Ли// УМЖ. 2014. Т. 6, № 1. С. 108–114.
3. *Матвеев Н.М.* Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. М.: Высшая школа. 1967. 564 с.

ОЦЕНКА РИСКА ПО НЕТОЧНОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С УЧЁТОМ ЭКСПЕРТНЫХ МНЕНИЙ

Тимашев С.А.[1,2], Почекета А.А.[1]

[1] *Научно-инженерный центр «Надёжность и ресурс больших систем и машин» Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург*
[2] *Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург*

Предложен нечётко-вероятностный метод прогнозирования риска течи/разрыва межпромысловых продуктопроводов (трубопроводов для продуктов переработки природного попутного нефтяного газа) в условиях неопределённостей (неизбежно неточной внутритрубной инспекции, слабо предсказуемых климатических условий) с учётом экспертных мнений.

Расчёт проводится с использованием методов оценки целостности трубопроводных систем [2] на основании:

1) данных внутритрубной инспекции [1] о потере металла стенки трубы, где основным (но не единственным) показателем каждого дефекта является *остаточная толщина стенки трубы* в точке дефекта в процентах от начальной (номинальной) стенки трубы;

2) экспертных мнений об остаточном ресурсе секции трубы в месте дефекта.

Результатом анализа является нечётко-вероятностный прогноз момента исчерпания остаточного ресурса секций трубы, имеющих наиболее опасные дефекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. *Гетманский М.Д., Житников Ю.В., Зимин П.А., Мухаметшин Р.Р.* Организация системы контроля технического состояния промысловых трубопроводов с внутренним покрытием и защитой сварных соединений втулками различной конструкции // Территория нефтегаз. 2007. № 4. С. 50–55.

2. *Тимашев С.А., Бушинская А.В., Малюкова М.Г., Полуян Л.В.* Целостность и безопасность трубопроводных систем. — Екатеринбург: УрО РАН, 2013. 589 с.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ТЕПЛОФИЗИКИ В АРКТИКЕ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА

Филимонов М.Ю.[1], Ваганова Н.А.[2]
ИММ УрО РАН им. Н.Н. Красовского, г. Екатеринбург
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
[1]*fmy@imm.uran.ru*, [2]*vna@imm.uran.ru*

Значительная часть территории России находится в криолитозоне, освоение которой связано с определенными трудностями, возникающими из-за потери несущей способности грунтов в результате техногенных воздействий и потепления климата. Снижение несущей способности грунтов оснований капитальных сооружений может приводить к серьезным техногенным авариям [1]. Рассматриваются основные задачи теплофизики, возникающие при исследовании устойчивости инженерной инфраструктуры, расположенной в регионах распространения вечной мерзлоты. В основном это будут кустовые площадки северных нефтегазовых месторождений [2], свайные фундаменты жилых домов [3, 4, 5] и опоры железнодорожных мостов [6, 7, 8]. Рассмотрены основные теплофизические задачи, описывающие эти процессы, в том числе и с использованием online системы температурного мониторинга грунта под зданиями в городе Салехард [9], что позволило разработать концепцию цифрового двойника для свайных фундаментов инженерных объектов в криолитозоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 24–21–00160.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Vaganova N., Filimonov M.Y.* Different shapes of constructions and their effects on permafrost // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1789. – P. 020019. – DOI: 10.1063/1.4968440.
2. *Filimonov M.Yu., Vaganova N.A.* Thawing of Permafrost During the Operation of Wells of North-Mukerkamyl Oil and Gas Field // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2021. – Vol. 14.– No. 6. P. 795–804. – DOI: 10.17516/1997-1397-2021-14-6-795-804.
3. *Filimonov M.Y., Kamnev Y.K., Shein A.N., Vaganova N.A.* Mode-ling the Temperature Field in Frozen Soil under Buildings in the City of Salekhard Taking into Account Temperature Monitoring // Land. – 2022. – Vol. 11. –

No. 7. – P. 1102. –
DOI: 10.3390/land11071102.

4. *Filimonov M.Y., Vaganova N.A., Shamugia D.Zh., Filimonova I.M.* Computer Modeling of Temperature Fields in the Soil and the Bearing Capacity of Pile Foundations of Buildings on Permafrost // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2024. – Vol. 17. – No. 5. – P. 622–631. – EDN OJGPTH.
5. *But D.I., Filimonov M. Yu., Konovalov T.A., Vaganova N.A.* Application of Machine Learning in Predicting Frozen Ground Temperatures Under a Building with Pile Foundation // 2025 IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering,
Radioelectronics and Information Technology (USBEREIT),
Yekaterinburg, Russian Federation. – 2025. – P. 142 – 145. –
DOI: 10.1109/USBEREIT65494.2025.11054114.
6. *Filimonov M.Y., Vaganova N.A.* Computer modelling of thermal interaction in the pile foundation system of a railway bridge support structure in permafrost // Applied Mathematics, Modeling and Computer Simulation. – 2023. – Vol. 42. – P. 1057–1062. –
DOI: 10.3233/ATDE231047.
7. *Filimonov M. Yu., Vaganova N.A.* Sun Heating Effect on Bearing Capacity of the Permafrost Soil in the Pile Basement in Cryolitozone // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Tatiana. T. Chaplina (Ed.): EECS 2024, SPEES. – 2025. – P. 72–78. – DOI: 10.1007/978-3-031-90873-6_9.
8. *Ваганова Н.А., Филимонов М.Ю.* Моделирование температурных полей под опорой железнодорожного моста в криолитозоне // Химическая физика и мезоскопия. – 2025. – Т. 27. – №. 2. – С. 144–152. –
DOI: 10.62669/17270227.2025.2.14.
9. *Kamnev Y.K.. Filimonov M.Y., Shein A.N., Vaganova N.A.* Automated Monitoring The Temperature Under Buildings With Pile Foundations In Salekhard: (Preliminary Results) // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. – 2021. – Vol. 14. – No. 4. – P. 75–82. –
DOI: 10.24057/2071-9388-2021-021.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Филимонова И.М.
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
irina.filimonova4@mail.ru

Компьютерное зрение (КЗ) является быстро развивающимся направлением, целью которого является автоматическое извлечение и анализ информации из изображений и видео. КЗ охватывает широкий спектр задач, в том числе распознавание объектов, наблюдение, сегментация и интерпретация изображений и находит активное

применение в различных отраслях, таких как медицина, транспорт, безопасность и промышленность [1]. Важно отметить, что КЗ может существенно увеличить производительность и точность в процессе обработки данных, что особенно актуально в инженерных науках. Современные методы компьютерного зрения активно применяются в проектировании и анализе строительных конструкций, в том числе фундаментов зданий.

Строительство и эксплуатация зданий на территории вечной мерзлоты имеет свою специфику, связанную с особенностями грунта [2]. Деградация вечной мерзлоты способна вызывать просадку и разрушение инженерных конструкций. Прогнозирование изменений теплового поля и их влияния на несущие свойства грунтов играет важную роль в предотвращении аварий [3]. Для моделирования изменений в грунте необходимы данные о расположении элементов свайного фундамента, в частности свай. Такие данные не всегда доступны в числовом виде, поэтому эффективное применение КЗ позволит автоматически извлекать необходимую информацию с чертежей фундаментов. Такая автоматизация позволит снизить вероятность ошибок, связанных с ручным вводом данных, и ускорит обработку информации. Актуальность использования КЗ в данной области обусловлена эффективностью обработки визуальной информации и необходимостью получения точных данных для расчетов. Без применения современных технологий подобные задачи требуют значительных временных затрат, что связано с особенностью зоны свайного фундамента, которая заключается в наличии множества (несколько сотен) мелких объектов: свай и сезонно-действующих охлаждающих устройств, координаты которых должны быть использованы в модели. Таким образом, практическая задача, рассматриваемая в данной работе, заключается в использовании методов КЗ для автоматического определения положения элементов свайного фундамента. Это позволит эффективно моделировать большее число инженерных объектов, в частности, жилых домов, что положительно повлияет на развитие инфраструктуры северных городов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 24–21–00160.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дэвис Р.* Компьютерное зрение. Современные методы и перспективы развития. – 2022. – Москва: ДМК Пресс. — 690 с.
2. *Ермаков А.А., Захарова А.С., Бегинина В.А., Чухлатый М.С.* Особенности строительства свайных фундаментов в зонах вечной мерзлоты на объектах нефтегазовой отрасли // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 5. (77). – С. 489–500. – EDN OUMNGV.
3. *Filimonov M.Y., Vaganova N.A., Shamugia D.Zh., Filimonova I.M.* Computer Modeling of Temperature Fields in the Soil and the Bearing Capacity of Pile Foundations of Buildings on Permafrost // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2024. – Vol. 17. – No. 5. – P. 622–631. – EDN OJGPTH.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ

Цгоев Ч.А.

Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск

Выполнен сравнительный анализ работоспособности методов оптимального поиска на примере задачи идентификации математических моделей математической биологии. Для сравнения привлекаются градиентные подходы (один из современных вариантов метода градиентного спуска и овражный метод Гельфанда–Цетлина) и эволюционные алгоритмы (вещественный генетический алгоритм BGA, классический генетический алгоритм и метод роя частиц).

В тестовой задаче требуется определить такой вектор неизвестных параметров, при котором численное решение задачи Коши для нелинейного ОДУ близко в смысле наименьших квадратов к данным экспериментального временного ряда. При оценке работоспособности методов учитываются дополнительные ограничения, продиктованные спецификой рассматриваемых задач — неотрицательность решения, положительная определенность параметров (и/или их фазовые ограничения), соответствие асимптотического поведения решения прямой задачи существующим представлениям о реальном объекте и ряд других. Сравнение эволюционных методов, проведенное по ряду критериев, включая статистические характеристики, показало, что наиболее эффективным в рамках поставленных задач является алгоритм BGA [1], и он может рассматриваться как основной инструмент рассматриваемой задачи идентификации. Стоит отметить, что попытка комбинирования BGA с градиентным методом не привела к уточнению результата.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Heinz Muhlenbein and Dirk Schlierkamp-Voosen* Predictive models for the breeder genetic algorithm i. continuous parameter optimization. Evolutionary computation, 1(1):25–49, 1993.

РЕКОНСТРУКЦИЯ РЕОЛОГИИ ТЕКУЩЕЙ ЛАВЫ В МОДЕЛИ ТОНКОГО СЛОЯ ДВИЖЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

Цепелев И.А., Короткий А.И.
Институт математики и механики
им. Н.Н. Красовского УрО РАН, г. Екатеринбург

Рассматривается задача об оценке реологических характеристик течения вязкой несжимаемой жидкости по заданной поверхности по результатам измерения толщины течения. Задача формализуется как обратная задача о восстановлении коэффициента вязкости в модели течения вязкой жидкости в поле силы тяжести в приближении тонкого слоя [1, 2]. Вязкость жидкости зависит от пространственной координаты. Аналитическое исследование корректности данной задачи провести затруднительно, поэтому исследование и моделирование проводится в предположении некорректности этой задачи.

Для построения устойчивых конструктивных методов решения обратной задачи предлагается воспользоваться вариационным методом и заменить исходную задачу экстремальной задачей на минимум функционала невязки между наблюдаемой толщиной лавового потока и ее модельными расчетами. Искомое решение задачи последовательно аппроксимируется решениями подходящих задач управления для системы дифференциальных уравнений с частными производными с полностью определенными параметрами. Для минимизации функционала невязки применяется линеаризованный метод сопряженных градиентов. Градиент функционала и шаг спуска определяются аналитически.

Построенные алгоритмы численного моделирования реализованы в пакете вычислений OpenFOAM. Проведен расчет модельного примера на кластерах с общей и распределенной памятью на CPU под управлением ОС Linux. Численные расчеты проводились на кластере «Уран» ИММ УрО РАН, г. Екатеринбург.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Costa A., Macedonio G.* Numerical simulation of lava flows based on depth-averaged equations // GRL. 2005. Vol. 32. L05304.
2. *Цепелев И.А., Короткий А.И.* Применение гибридных вычислителей для моделирования лавового потока // Успехи кибернетики. 2024. Т.5 (4). С.103 - 109.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА С УДАЛЕННОГО СЕРВЕРА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ РАСЧЁТЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА В ГОРОДЕ САЛЕХАРД

Шамугия Д.Ж.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
dawid.shamugia@yandex.ru

Современное строительство в северных регионах России сталкивается с множеством инженерных задач, связанных с эксплуатацией зданий на вечномёрзлых грунтах. Одной из ключевых проблем является изменение температурного режима грунта, которое может привести к деградации вечной мерзлоты и, как следствие, к снижению его несущей способности. На территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) на основе данных многолетнего мониторинга установлено устойчивое потепление климата, продолжающееся с конца 1970-х годов. Средняя скорость повышения температуры составляет 2,4—2,8°C за последние 50 лет. Это приводит к деградации многолетнемёрзлых пород (ММП), снижению уровня верхней границы мерзлоты и общему росту температуры в её толще. Для надёжного контроля за состоянием свайных фундаментов в условиях многолетнемёрзлых грунтов используются автоматизированные станции температурного мониторинга, фиксирующие значения температуры на разных глубинах. Однако сами по себе такие измерения дают лишь часть информации и не позволяют полноценно оценить динамику изменения температуры в грунте. Одним из подходов к решению этой задачи является построение аппроксимированного температурного поля на основе измерений и его использование в качестве начального условия при численном решении дифференциальных уравнений теплопроводности [1]. Такой подход позволяет не только уточнять распределение температуры в труднодоступных участках массива, но и моделировать его динамику во време-

ни, включая прогнозирование зон возможного оттаивания. Настоящая работа направлена на развитие модели температурного анализа, предложенной в предыдущем исследовании [2], путём интеграции двумерных аппроксимированных данных в трёхмерную математическую модель теплопроводности. Это позволяет получить более полную картину изменения теплового поля под зданием, что является основой для оценки инженерно-геокриологических рисков и расчёта несущей способности грунта. В результате выполненной работы создаётся инструмент, объединяющий данные температурного мониторинга (ТМ), методы аппроксимации и численные расчёты.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 24–21–00160.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Filimonov M.Y., Vaganova N.A., Shamugia D.Zh., Filimonova I.M.* Computer Modeling of Temperature Fields in the Soil and the Bearing Capacity of Pile Foundations of Buildings on Permafrost // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. – 2024. – Vol. 17. – No. 5. – P. 622631. – EDN OJGPTH.
2. *Филимонов М., Шамугия Д.* Моделирование теплового режима грунта с учетом аппроксимации температурных данных на поверхности свайного фундамента // Успехи кибернетики. – 2024. – Т. 5. – № 4(20). – С. 18-24.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТ СВИП-СИГНАЛА В НАЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

Эпов М.И., Архипов Д.А.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

Наиболее распространёнными и хорошо исследованными являются два вида электромагнитных зондирований: частотные и нестационарные. Они различаются не только разной формой токовых импульсов, но и процедурами измерений. Эти типы зондирования неэффективны для обнаружения плохопроводящих неоднородностей. К ним относятся такие природные объекты как карстовые полости или техногенные – искусственные подземные сооружения.

В работе исследовано использование токовых импульсов переменного спектрального состава, аналогичных широко применимым в вибрационной сейсморазведке (СВИП-сигналы) для идентификации слабопроводящих объектов.

Математическое моделирование электромагнитного поля от СВИП-сигнала выполнено векторным методом конечных элементов на тетраэдральном не регулярном разбиении с использованием неявной схемы по времени. На основе результатов вычислительного эксперимента определено влияние слабопроводящего объекта на амплитудно-частотный спектр измеряемого сигнала.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта FWZZ-2022-0030.

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ТОНКИХ ПРОСЛОЙКАХ

Япаров А.Д., Япарова Н.М.
Южно-Уральский государственный университет(национальный исследовательский университет), г. Челябинск

Работа посвящена проблеме определения теплового состояния тонких прослоек, при создании цифровых двойников быстропротекающих, высокотемпературных технологических процессов. Процесс теплопереноса математически представлен обратной граничной задачей теплопроводности. В этой задаче необходимо определить изменение теплового состояния прослойки по данным, полученным вблизи одной из границ прослойки. В статье предложено численное решение обратной задачи, основанное на использовании конечно – разностных уравнений и регуляризирующих подходах. Верификация вычислительной схемы осуществлялось в эксперименте на основе имитационного моделирования. Результаты эксперимента свидетельствуют о достаточной точности численных решений обратной задачи и подтверждают возможность использования предложенной схемы для определения нестационарных внутренних температурных полей тонкой прослойки, подвергаемой внешнему тепловому воздействию.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЛОБОВОГО СТОЛКНОВЕНИЯ НЕЙРОЭВОЛЮЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Япаров Д.Д., Бессмертный С.В., Данилова Ю.Д.
Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск

В настоящее время разработка систем предотвращения фронтальных столкновений становится все более актуальной в связи с

необходимостью снижения смертности и травматизма на дорогах, требованиями международных стандартов безопасности, ростом городского населения и увеличением интенсивности движения, экономической целесообразностью, развитием беспилотных технологий и повышением общего уровня комфорта передвижения.[1]

Работа посвящена разработке нейросетевой модели для предотвращения фронтальных столкновений с помощью нейроэволюционных методов. Разработана модель системы, которая способствует уменьшению количества аварий на дорогах. В ходе работы создан набор данных для обучения и тестирования нейронной сети. Разработана нейросетевая модель для решения поставленной задачи. А также проведены испытания системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Юшков В.С., Юшков Б.С., Бургонутдинов А.М.* Система активной безопасности и снижение аварийности на автомобильных дорогах // Вестник МГСУ. 2014. № 10. С. 168–176

DIGITAL TWIN AND FEEDFORWARD CONTROL SCHEME FOR ARCTIC CITY

Kruglikov S.V.
UrFU, Ekaterinburg

Flow is a multi–valued term. This concept relates to the movement in time, the movement in one direction of a mass of homogeneous elements that provide internal redistribution and transformation of the physical and virtual flows that form the city. The city then appears to be a managed system where two types of flows interact: and a virtual one. The physical ones include the material and energy ones. Virtual flows, financial and informational, largely form a dual reality. The quality of the urban environment directly depends on the intensity of interaction between physical and virtual flows. The interaction of city-forming flows can be represented schematically by forming network structures of flow distribution. Depending on which stream dominates the structure of the city, the city acquires certain characteristic features in its layout, the mutual arrangement of individual functional parts, and the architecture of buildings and structures. When creating a master plan for the city, designed for the future in 20-25 years, a balanced approach to assessing the city-forming flows is necessary.

Содержание

Тезисы докладов XIV Всероссийской конференции
«Актуальные проблемы прикладной математики и механики»,
с элементами школы молодых ученых, посвященной
памяти академика А.Ф.Сидорова
(Джанхот, 2–8 сентября 2025 г.)

Рекомендовано к изданию
Ученым советом ИММ УрО РАН

Протокол № 4 от 26.06.2025

Подписано в печать 1.08.2025 Формат 60x84 I/16

Бумага типографская. Печать офсетная. Усл.печ.л. 4.38
Уч.- изд.л. 4.24

Тираж 100 экз.

Заказ 8153

620108, Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 16,
Институт математики и механики УрО РАН.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
«Учебно-Методический Центр УПИ»
620049, Екатеринбург, пер. Лобачевского, 1.