

Институт математики и механики имени Н.Н. Красовского
Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург)
Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина (Екатеринбург)
Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский
научно-исследовательский институт технической физики имени
академика Е.И. Забабахина (Снежинск)

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ

Тезисы докладов XIII Всероссийской конференции
с элементами школы молодых ученых, посвященной памяти
академика А.Ф. Сидорова
(2–8 сентября 2024 г.)

Джанхот
2024 г.

У Д К 519.6

Тезисы докладов XIII Всероссийской конференции «Актуальные проблемы прикладной математики и механики» с элементами школы молодых ученых, посвященной памяти академика А.Ф. Сидорова (Джанхот, 2–8 сентября 2024 г.). Екатеринбург: УрО РАН, 2024. 66 с.

ISBN 978-5-8295-0908-8

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 математическому центру РНОМЦ-УМЦ, РФЯЦ-ВНИИТФ им. Е.И. Забабахина, Сургутскому филиалу ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН 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 978-5-8295-0908-8

© ИММ УрО РАН
2024 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФАЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Акимова Е.Н.^{1,2}, Осипов А.В.², Шишкина Я.С.²

¹ *Институт математики и механики им. Н.Н.Красовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

² *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

Обработка космических радиолокационных интерферометрических изображений требует решения задачи подавления фазового шума и развертывания фазы. Задача состоит в преобразовании двумерной относительной фазы, принимающей значения в интервале $[-\pi, \pi)$, в абсолютную фазу, несущую информацию о рельефе. Задача является некорректно поставленной. Вычислительные алгоритмы имеют высокую сложность и требуют использования мощных вычислительных систем. Эффективный алгоритм развертывания фазы разработан и реализован на основе метода построения и выравнивания встречного вихревого поля фазы [1]. Альтернативным подходом к задаче подавления шума и развертывания фазы является использование сверточных нейронных сетей [2].

В данной работе для развертывания фазы построена нейронная сеть на основе архитектуры ResUnet [3]. В сравнении с методом построения встречного вихревого поля, погрешность при использовании нейронной сети оказывается выше на 9% с применением меры стандартного отклонения, но время выполнения развертывания фазы в несколько раз меньше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Martyshko P.S., Akimova E.N., Sosnovsky A.V., Kobernichenko V.G. An Algorithm for Solving the Problem of Phase Unwrapping in Remote Sensing Radars and Its Implementation on Multicore Processors // Mathematics. 2024, Vol. 12. No. 5. Art. no. 727.*
2. *Vijay Kumar S., Sun X., Wang Z., Goldsbury R., Cheng I., A U-Net Approach for InSAR Phase Unwrapping and Denoising // Remote Sensing. 2023, Vol. 15. Art. no. 5081.*
3. *Zhang Z., Liu Q., Wang Y., Road Extraction by Deep Residual U-Net // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2018. Vol. 15. No. 5, P. 749–753.*

ПОСТРОЕНИЕ СЕТОК ДЕФОРМАЦИЕЙ ОБЪЕМОМ ВРАЩЕНИЯ

Артёмова Н.А.¹, Ушакова О.В.^{1,2}

¹ *Институт математики и механики им. Н.Н.Красовского УрО РАН,
Екатеринбург*

² *Уральский федеральный университет им. Б.Н.Ельцина, Екатеринбург*

Описывается алгоритм построения структурированных сеток в деформированных объемах вращения для случаев деформации объемами, образованными поверхностями вращения с параллельными осями вращения (называемыми обобщениями объемов вращения). Предложенный алгоритм является дальнейшим развитием нестационарного алгоритма построения структурированных сеток в областях с подвижными границами. Ранее этот алгоритм был разработан для случаев деформации объема вращения другим объемом вращения. Алгоритм позволяет строить сетки в областях очень сложной геометрии, при этом не нужно задавать границу области сложной формы, достаточно описать объем вращения, деформирующий объем и указать параметры деформации. Алгоритм разработан в рамках вариационного подхода построения оптимальных сеток и является нестационарным: на каждой итерации меняется (деформируется) форма области, строится сетка для нее, затем сетка оптимизируется в соответствии с критериями оптимальности [1]. Итерации повторяются до тех пор, пока деформация объема не достигнет требуемой формы. Алгоритм предназначен для моделирования процессов многокомпонентной гидродинамики [2]. Алгоритм реализован в комплексе программ на языке C++.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Anuchina N.N., Volkov V.I., Gordeychuk V.A., Es'kov N.S., Ilyutina O.S., and Kozyrev O.M.* Numerical simulation of 3D multi-component vortex flows by MAH-3 code // Advances in Grid Generation, Ushakova O.V. Ed. Nova Science, New York, 2007. P. 337–380.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФИЗИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН

Архипов Д.А.¹, Добролюбова Д.В.^{1,2}, Кутищева А.Ю.^{1,2}, Марков С.И.^{1,2},
Штабель Н.В.^{1,2}, Штанько Е.И.¹, Шурина Э.П.^{1,2}

¹ *Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН*

² *Новосибирский государственный технический университет*

Строительство скважин сопровождается рядом сопряжённых физических процессов. Математическая модель, называемая многофизичной задачей, может быть описана системой дифференциальных уравнений в частных производных, условиями состояния и сопряжения на межфрагментарных границах. Доминирующую роль играют процессы, связанные с напряжённо-деформированным состоянием и флюидодинамикой. Изменение структуры и фазного состава околоскважинного пространства приводит к изменению его электрофизических характеристик.

При анализе данных электромагнитного или индукционного каротажа важно иметь априорную информацию о зоне проникновения фильтрата бурового раствора для уменьшения интервалов эквивалентности. В докладе рассматривается задача о численном моделировании процесса фильтрации бурового раствора на глинистой основе с учётом процессов массопереноса, формирования глинистой корки на поверхности скважины и зоны кольматации.

Приводятся результаты вычислительных экспериментов по изучению влияния зоны проникновения проводящего бурового раствора в околоскважинное пространство на моделируемые в данной среде диаграммы индукционного каротажа. Каротажные диаграммы получаются путем численного моделирования наведенных в приемных катушках сигналов при продвижении каротажного зонда вдоль ствола скважины.

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

АСИМПТОТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦВЕТНЫХ ШУМОВ НА ДИНАМИКУ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Башкирцева И.А.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

В исследованиях динамики реальных систем необходимо учитывать неизбежно присутствующие случайные возмущения. Среди воз-

можных типов стохастических возмущений часто рассматривают так называемые цветные шумы, имеющие те или иные характерные корреляционные временные свойства [1]. Важная роль цветных шумов была обнаружена во системах самой разной природы, например, в лазерах, сейсмологии, биохимии, динамике популяций, кинетике роста микроорганизмов, динамике роста опухолей.

В работе изучается влияние цветного шума на равновесные режимы нелинейных динамических систем. Для исследования реакции системы на малые возмущения используется асимптотический подход, развивающий технику функций стохастической чувствительности [2]. Развитая математическая теория применяется к параметрическому исследованию отклика электронного генератора с жестким возбуждением на цветные шумы с различным временем корреляции. В работе исследована зависимость дисперсии случайных состояний от характерного времени корреляции. Показано, что эта зависимость может быть немонотонной и иметь максимумы, соответствующие резонансам. В работе обсуждается вероятностный механизм стохастической генерации колебаний больших амплитуд, вызванной цветным шумом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Уральского математического центра (соглашение 075-02-2024-1428).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hänggi P., Jung P.* Colored noise in dynamical systems, in *Advances in Chemical Physics*, Vol. 89 (eds I. Prigogine and S. A. Rice), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
2. *Bashkirtseva I., Ryashko L.* Analysis of excitability for the FitzHugh-Nagumo model via a stochastic sensitivity function technique // *Physical Review E*. 2011. Vol. 83. P. 061109

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ГОДУНОВА ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ И ЭКСТРАПОЛЯЦИИ СЕТОЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ

Бибердорф Э.А.¹, Абдишерипов К.К.²

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

² *Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск*

Метод регуляризации для решения плохо обусловленных систем [1, 2], который предполагает гладкость решения, был предложен С.К. Годуновым в 1988 году. Этот метод используется в работе для

гибридной задачи аппроксимации и интерполяции сеточной функции, т.е. для определения её значений на узлах мелкой сетки на основе данных на более крупной сетке. Основу алгоритма составляет метод наименьших квадратов, который в сочетании с методом Лагранжа позволяет обосновать оценки сходимости и гладкости аппроксимации. Гладкость решения регулируется одним из параметров, а применение метода без перехода на мелкую сетку позволяет сгладить сеточную функцию. Аналогичный подход может применяться и в задачах экстраполяции.

Приведены примеры использования данного метода. А именно: решение краевой задачи для волнового уравнения с быстро меняющимися граничными условиями, решение уравнений гемодинамики методом Мак Кормака, а также примеры экстраполяции данных. Многочисленные расчёты подтверждают эффективность предложенного метода.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годунов С.К., Антонов А.Г., Кириллюк О.П., Костин В.И.* Гарантированная точность решения систем линейных уравнений в евклидовых пространствах. Новосибирск: Наука. 1988. 456 с.
2. *Кабанихин С.И.* Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сибирское научное издательство. 2009. С.458.

ПРИМЕНЕНИЕ ДРОБНО-ЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ РАЗДЕЛЕНИЯ МАТРИЧНОГО СПЕКТРА И РАЗЛОЖЕНИЯ МНОГОЧЛЕНА НА МНОЖИТЕЛИ

Бибердорф Э.А.¹, Ван Ли²

¹ *ИМ СО РАН, ² Новосибирский государственный университет*

В работе рассматриваются некоторые задачи разделения (дихотомии) матричного спектра и корней полиномов. Спектральные задачи в подобных постановках исследовались в работах С.К. Годунова и его учеников (см., например, [1], [2]). Предлагается использовать дробно-линейные преобразования спектрального параметра с целью сведения задач к базовому случаю разделения матричного спектра относительно единичной окружности. В задаче о разделении спектра мнимой осью такой подход обладает рядом преимуществ по сравнению с экспоненциальным преобразованием, использовавшимся для

этих целей до сих пор. Новый подход позволяет также определять отсутствие собственных значений матрицы на луче и на отрезке. В частности, с его помощью можно установить, лежат ли собственные значения на сторонах многоугольника, что является предварительным шагом в задаче дихотомии спектра относительно многоугольника.

Кроме того, использование дробно-линейного преобразования спектрального параметра вспомогательного матричного пучка позволяет разложить многочлен на множители, корни которых лежат в левой и в правой полуплоскостях соответственно.

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. *Бибердорф Э.А.* Критерий дихотомии корней полинома единичной окружностью, Сиб. журн. индустр. матем., 3:1(2000),16-32

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВНУТРЕННИХ СЕЙШ В СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ОЗЕРЕ

Володько О.С., Лемешкова Е.Н.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

Внутренние сейши приводят к перемешиванию в водоеме, вызывая перераспределение кислорода и питательных веществ, поэтому понимание пространственной структуры внутренних сейш обеспечивает основу для понимания последующих физических, химических и биологических процессов.

В настоящей работе определена вертикальная структура внутренних сейш в стратифицированном озере (Шира, Хакасия, Восточная Сибирь). Частоты и профили вертикальной скорости каждой моды были рассчитаны с использованием данных измерений температуры и солености в озере Шира в разные года. Для расчета применялась линейная модель длинных волн, при этом непрерывная стратификация в озере варьировалась от трехслойной до шестислойной [1], [2]. Частоты вертикальной скорости были также получены при спектральном анализе данных натуральных измерений и результатов численного моделирования на основе модели ROMS (Regional

Oceanic Modeling System) [3] и показали хорошее согласование с рассчитанными по линейной модели длинных волн.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2024-1378).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ле Блон П., Майсек Л.* Волны в океане. М.: Мир, 1981.
2. *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.
3. ROMS [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.myroms.org>

МОДИФИКАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЛАЗМЕННОЙ ЛОВУШКЕ

Вшивкова Л.В., Вшивков В.А.

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

При моделировании поведения плазмы в открытой магнитной ловушке возникает задача нахождения напряженности начального магнитного поля. Открытая магнитная ловушка представляет собой осесимметричную камеру, заполненную плазмой. Плазма удерживается в ловушке специальной конфигурацией магнитного поля, создаваемого токовыми катушками, расположенными на концах камеры. Задача состоит в разработке алгоритма расчета двухмерной (r, z) конфигурации магнитного поля, которое имеет необходимое значение напряженности в центре камеры и заданное пробочное отношение. В начале расчета задается расположение токовых катушек и произвольное значение токов в них. По заданным значениям токов решается эллиптическое уравнение для угловой компоненты векторного потенциала. Равенство нулю радиальной компоненты магнитного поля на торцах цилиндра приводит к нулевым граничным условиям для нормальных производных векторного потенциала. Это позволяет заменить искомую функцию на другую, для которой на торцах камеры заданы нулевые граничные условия. Новые граничные условия позволяют упростить решение задачи, которое состоит из трех этапов. На первом этапе производится преобразование Фурье по синусам в направлении z . Использование преобразования Фурье

только по синусам уменьшает количество арифметических операций. На втором – прогонка в радиальном направлении, и на третьем этапе выполняется обратное преобразование Фурье. Для того чтобы получить необходимые значения напряженности магнитного поля в центре камеры и пробочного отношения производится коррекция решения. Разработанный алгоритм для нахождения векторного потенциала комбинирует два метода: преобразование Фурье и метод прогонки, что позволяет уменьшить количество операций для решения поставленной задачи. Данный численный метод может быть использован для решения других типов эллиптических уравнений.

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

**О СТРУКТУРАХ, ПОРОЖДАЕМЫХ РЕШЕНИЯМИ
УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ В СЛУЧАЕ ВЯЗКОЙ
НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ**

Галкин В.А.

*Сургутский филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Сургутский государственный
университет
val-gal@yandex.ru*

Получены классы точных решений уравнений Навье—Стокса для течений несжимаемой жидкости. Выделены инвариантные многообразия течений, приведено описание структуры решений. Установлено, что типичными инвариантными областями таких течений являются фигуры вращения, в частности, гомеоморфные тору, образующие структуру топологического расслоения, например, в шаре, цилиндре и в общих комплексах, составленных из таких фигур. Исследованы структуры течений, получающихся аппроксимацией простейшими 3-D вихревыми нестационарными потоками. Выделены классы точных решений системы Навье-Стокса для несжимаемой жидкости в ограниченных областях пространства \mathbb{R}^3 на основе суперпозиции вышеуказанных топологических расслоений.

**ОДИН КЛАСС РЕШЕНИЙ ТРЕХМЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ
НАВЬЕ-СТОКСА ДЛЯ НЕСЖИМАЕМОГО ТЕЧЕНИЯ
ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРЕ**

Галкин В.А.¹, Дубовик А.О.²

¹ *Сургутский государственный университет, Сургут*

² *Сургутский филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Сургут*

Исследуется течение несжимаемой жидкости в трехмерной области $D \subset \mathbb{R}^3 = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)\}$ с условием скольжения на границе

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

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

В качестве области течения D может быть рассмотрен цилиндр

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

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

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

при произвольной функции $\alpha(t)$ удовлетворяют системе (1), (2) в цилиндре C_k , 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 ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН (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. Об одном классе точных решений системы уравнений Навье-Стокса для несжимаемой жидкости / В. А. Галкин, А.О. Дубовик // Журн. Матем. модел. 2023. Т. 35. № 8. с. 3-13.

МОДЕЛЬ ФЕПЛЯ ФОН КАРМАНА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КРУГОВОЙ ПЛАСТИНЫ

Гандилян Д.В.¹, Устинов К.Б.¹

¹Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва

При разработке микроэлектромеханических систем возникает необходимость в расчете физико-механических параметров круглых пластин, которые являются покрытиями конструкций. При исследовании деформирования покрытия в качестве граничных условий используются граничные условия типа обобщенной упругой заделки, которые учитывают свойства подложки [1], [2]. В работе рассмотрены две модели Фепля фон Кармана: в предположении постоянства продольных усилий; при переменных продольных усилиях (решение с помощью рядов) для расчета напряженно-деформированного состояния кругового диска под действием равномерной поперечной нагрузки, сопряженной с плоской подложкой. Расчеты проводились для пластины из алюминия на кремниевом основании (Рис. 1).

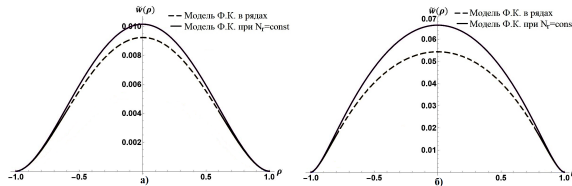


Рис. 1: Нормальная компонента смещения при разных значениях поперечной нагрузки: (а) — $p = 5 \cdot 10^{-8}$, (б) — $p = 3 \cdot 10^{-6}$.

Работа выполнена по теме государственного задания (№ госрегистрации 124013000674-0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hutchinson J.W., Suo Z.* Mixed mode cracking in layered materials. California: Advances in Applied Mechanics edited by J.W. Hutchinson and T.Y. Wu. 1992. 191 p.
2. *Yu H.-H., Hutchinson J.W.* Influence of substrate compliance on buckling delamination of thin films // Int. J. Fract. 2002. V. 113. P. 39–55.

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПАРАЛЛЕЛИЗАЦИИ ПРЕДОБУСЛАВЛИВАТЕЛЯ ТИПА CPR В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ СИМУЛЯТОРЕ

Гладких В.С., Москалев А.В., Шарапов Д.А.

Новосибирский Государственный Университет, г. Новосибирск

Для задач математического моделирования, таких как решение систем уравнений многофазной фильтрации в пористых средах, самой затратной частью являются решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с разреженной матрицей. Однако для эффективного использования ресурсов современных вычислительных систем необходимо адаптировать используемые алгоритмы к таким особенностям как большое число вычислительных потоков, до 20 на текущий момент и до 500 уже в ближайшей перспективе; векторизация на уровне вычислительных ядер и сокращение рандомизированного доступа к памяти. Все эти задачи в полной мере актуальны для предобусловленных крыловских методов, где в качестве предобуславливателя выбирается CPR. В работе представлена параллельная модификация CPR предобуславливателя позволяющая добиться уровня эффективности всего линейного решателя около 50 процентов на 4-х потоках за счет использования независимой параллелизации каждой стадии в CPR предобуславливателе совместно с использованием специфичной блочной версии ILU(0) на задачах приближенных к реальным. Также обсуждаются пути дальнейшего развития предложенного подхода.

ПОЛУЛАГРАНЖЕВЫ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНВЕКЦИИ-ДИФфуЗИИ

Голубев Р.А.

РНМЦ «Красноярский математический центр», Красноярск

В работе предлагаются двухслойные конечно-разностные схемы решения одномерного и двумерного уравнения конвекции-диффузии с оператором конвекции в недивергентной форме, в основе которых лежит метод характеристик.

Данный подход к аппроксимации задач конвекции-диффузии был впервые предложен в 1982 г. в работах [1, 2]. Здесь в качестве материальной производной по направлению «потока» принят оператор переноса, для аппроксимации которого использован метод

характеристик. Для эллиптической части реализованы методы конечных разностей. Сегодня в многочисленных работах демонстрируются преимущества такого подхода, называемого полулагранжевым или эйлерово-лагранжевым. С физической точки зрения аппроксимация оператора конвективного переноса вдоль траекторий частиц позволяет лучше передать такие количественные показатели как масса, температура, содержание загрязнений и др. В настоящее время реализации обоих подходов (эйлерово-лагранжева и лагранжево-эйлерова) для уравнений параболического типа обладают множеством полезных свойств, например, обход ограничения на шаг по времени путем сдвига разностного шаблона на нижнем слое по времени.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2024-1378).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Douglas J., Russell T. F. Numerical Methods for Convection-Dominated Diffusion Problems Based on Combining the Method of Characteristics with Finite Element or Finite Difference Procedures // SIAM Journal on Numerical Analysis. 1982. V. 19. N. 5.*
2. *Pironneau O. On the transport-diffusion algorithm and its applications to the Navier-Stokes equations // Numerische Mathematik. 1982. V. 38. N. 3.*

ДВУМЕРНАЯ ЗАДАЧА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИСТЕЧЕНИЯ АТМОСФЕР ЭКЗОПЛАНЕТ СИСТЕМЫ ТОI-421

Горбунова К.Д.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, ФИЦ КИЦ СО РАН, Красноярск

В работе рассматривается двумерная задача нестационарного гидродинамического истечения верхних слоев атмосферы планет под воздействием жесткого УФ излучения родительской звезды. В такой постановке учитывается неравномерность поглощения излучения атмосферой и добавляется меридиональная компонента скорости, которая увеличивается по мере отклонения от центральной оси, направленной на звезду. Выполнены расчеты по компактной схеме типа Мак-Кормака 4/2 и Рунге-Кутты 4-го порядка [1] для двух экзопланет типа мини-Нептуна системы ТОI-421, в которой планета ТОI-421b имеет меньшие размеры и находясь ближе к звезде получает больший поток излучения по сравнению с планетой ТОI-421c.

Ранее для этих планет были выполнены одномерные расчеты [2], которые при сравнении с результатами, полученными в этой работе, показали, что одномерные завышают расход газа. Так для планеты TOI-421b расход газа в одномерной постановке равен $L_{1D} = 8.03 \cdot 10^{10}$ г/с, для двумерной общий расход — $L_{2D} = 3.61 \cdot 10^{10}$ г/с. Для планеты TOI-421c — $L_{1D} = 7.08 \cdot 10^{10}$ г/с и $L_{2D} = 2.12 \cdot 10^{10}$ г/с, соответственно. Полученные расчеты позволили подобрать параметры одномерной задачи в соответствии с результатами этой работы.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2024-1378).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *JavanNezhad, R., et. al* High-order compact MacCormack scheme for two-dimensional compressible and non-hydrostatic equations of the atmosphere. // *Dynamics of Atmospheres and Oceans*. 2016. Vol. 75. Pp. 102–117.
2. *Ержаев Н.В., Горбунова К.Д.* Компактная разностная схема для гидродинамической модели истечения атмосфер планет // *Вычислительные технологии*. 2024. Т. 29. № 1. С. 5–17.

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ С УПОРЯДОЧЕННОЙ МАКРОСТРУКТУРОЙ

Губарева К.В., Еремин А.В.

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В работе предложен метод математического моделирования процесса теплопроводности в пористой среде с упорядоченной макроструктурой. Зависимость эффективной теплопроводности пористой среды от геометрических характеристик элементарной ячейки получена с использованием методов минимального репрезентативного объема и вычислительной гомогенизации. В качестве элементарной ячейки выбрана трижды периодическая минимальная поверхность (ТПМП) типа Фишера-Коха S .

Применяя приближенно-аналитический метод [1], который основан на введении новой искомой функции и дополнительных граничных характеристик, было получено простое по форме аналитическое решение. Вывод о возможности использования ТПМП - ячеек для проектирования материалов с заданными теплофизическими свойствами был сделан после анализа полученных решений. В ходе верификации метода решения задачи теплопереноса было проведено

сравнение результатов расчетов температурной функции в первом и втором приближениях с результатами, полученными с использованием метода конечных элементов. Погрешность вычислений во втором приближении не превышает 3%.

Благодарность. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 23-79-10044, <https://rscf.ru/project/23-79-10044/>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Губарева К.В., Попов А.И.* Решение нестационарной задачи теплопроводности с постоянными во времени внутренними источниками теплоты (граничные условия третьего рода) // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти проф. Данилова Н.И. (1945-2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 9-13 декабря 2019 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2019. – С. 96 – 99.

ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Гусев Г.Н., Цветков Р.В.

Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

Достоверная оценка надежности и эксплуатационной безопасности сооружений на всех этапах эксплуатации возможна только при использовании совокупности сложных структурных математических моделей систем «здание – фундамент – грунтовое основание», различающихся набором лежащих в их основе гипотез, уровнем абстрагирования, адекватностью и областью применимости. Перераспределение напряжений в грунтовом массиве, которое вызвано строительством подземных сооружений, может длиться долгие годы и усугубляться нештатными ситуациями, такими как понижение уровней грунтовых вод в сопряженных со строительством горизонтах. Это приводит к существенным оседаниям земной поверхности, и как следствие, к развитию непроектных деформаций в существующих сооружениях, которые находятся в непосредственной близости. Наиболее информативным способом прогнозировать деформационное поведение строительных конструкций в таких условиях является использование методов конечно-элементного моделирования в совокупности с мониторингом деформационных параметров сооружений.

Такой подход благодаря комплексной инструментальной базе позволяет контролировать большое число различных параметров системы «здание – фундамент – грунтовое основание».

В данной работе рассмотрена история эволюции напряженно-деформированного состояния группы зданий, которые расположены над строящимся Главным разгрузочным коллектором г. Перми. История наблюдений включает в себя математическое моделирование деформационного поведения всей группы зданий, а также данные мониторинга за период более четырнадцати лет. Созданы и верифицированы конечно-элементные модели группы зданий, на основе которых осуществляется прогнозирование деформационных параметров сооружений. Численное моделирование осуществлено с помощью САЕ ANSYS.

Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер темы 124020700047-3.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СЕРВИСОВ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

Завалищин Д.С.¹, Габдулхаков А.А.²

¹ *Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского
УрО РАН, Екатеринбург*

² *Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург*

Рассматриваются вопросы взаимодействия участников перевозочного процесса с точки зрения выбора наилучшего способа доставки груза. Назначенный маршрут, грузоперевозчики, сервисные транспортные компании могут динамически изменяться в процессе доставки в зависимости от нештатных ситуаций. Если полный маршрут грузоперевозки, с точки зрения лица принимающего решения, формализовать как некоторую последовательность действий или операций, включающую в себя все аспекты перевозки, начиная от формирования пакета заявки с перечнем характеристик груза и требований к его сопровождению до конечного пункта назначения, то весь процесс укладывается в проблему выбора наилучшей реализации маршрута среди множества альтернатив. Здесь понятие «маршрут» рассматривается в более широком смысле. Подходы, описанные в работе [1], исследуют игровую постановку задачи поиска оптимальной стратегии обобщенного заказчика транспортно-логистических услуг. Возможны также варианты мультиагентной

постановки задачи доставки, рассмотренные в [2]. Автоматизированный сбор информации об объеме спроса и предложения на рынке грузовых перевозок, пункты отправления и прибытия, род, масса и габарит груза, расстояния перевозки, дата отправления, уникальный идентификатор объявления, осуществляется с помощью ПО [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева Г.А., Хазимуллин А.Д. Анализ стратегий по привлечению клиентов транспортно-логистических услуг холдинга «РЖД» с учетом дифференциации клиентов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1(57). С. 64–72. DOI 10.20291/2079-0392-2023-1-64-72.
2. Завалицын Д. С. Моделирование оптимальных маршрутов распределенных доставок грузов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 1(57). С. 14–21. DOI 10.20291/2079-0392-2022-4-14-21.
3. Ваколюк К.К., Хазимуллин А.Д. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023669025 Российская Федерация. Автоматизированная система по сбору и обработке информации о потребностях транспортировки грузов на рынке грузоперевозок : № 2023668342 : заявл. 04.09.2023 : опубл. 06.09.2023

ПОЛУЯВНЫЙ ВЕКТОРНЫЙ КОМПАКТНЫЙ МЕТОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ

Злотник А.А.

НИУ Высшая школа экономики, Москва

В работе исследуется новая трехслойная полуявная по времени и компактная по пространству (трехточечная по каждому направлению) векторная разностная схема 4-го порядка аппроксимации для начально-краевой задачи для n -мерных волнового уравнения и акустического волнового уравнения с переменной скоростью звука, $n \geq 1$. Отличительной чертой этой схемы является использование n дополнительных искомым функций, аппроксимирующих несмешанные производные 2-го порядка по пространству решений уравнений. Решения на первом слое по времени аппроксимируются с помощью аналогичной двухслойной по времени схемы, без использования производных данных задачи. Реализация схемы требует только решения n простых независимых друг от друга трехточечных систем уравнений по каждому пространственному направлению и по сложности аналогична методам с расщепляющимся оператором.

Данная схема, как и другие компактные методы, является условно устойчивой. При условиях типа Куранта на соотношение шагов

h_t по времени и h_1, \dots, h_n по пространству выведены теоремы устойчивости в стандартной и более сильной сеточных энергетических нормах и дискретные законы сохранения энергии. Строго доказаны оценки погрешности 4-го порядка точности $O(h_t^4 + h_1^4 + \dots + h_n^4)$.

Выполнены обобщения на случаи неравномерных сеток как по пространству, так и по времени. Во втором случае схема становится нелокальной по времени, но это не усложняет ее реализацию. Описаны результаты разнообразных численных экспериментов при $n = 2, 3$. Основные результаты подробнее представлены в [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 23-21-00061.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zlotnik A., Lomonosov T.* On stability and error bounds of an explicit in time higher-order vector compact scheme for the multidimensional wave and acoustic wave equations // Appl. Numer. Math. 2024. V. 195. P. 54-74.

ПОСТРОЕНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕРМОУПРУГОГО СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕЛА

Иванычев Д.А.

Липецкий государственный технический университет, Липецк

В работе [1] показана методология решения осесимметричных задач термоупругости для трансверсально-изотропного тела вращения. В настоящей работе представлена методика построения напряженно-деформированного состояния трансверсально-изотропных тел вращения, находящихся по действием установившегося поля температур, изменяющегося по циклическому закону.

Выполнение поставленной задачи предполагает использование определений метода граничных состояний. Основу метода составляет пространство внутренних состояний, которое включает в себя перемещения внутренних точек области, деформации, напряжения и функции температуры.

В работе [2] установлена зависимость между пространственным напряженно-деформированным состоянием упругого трансверсально-изотропного тела вращения и некоторыми вспомогательными двумерными состояниями. В качестве таких вспомогательных состояний используется общее решение плоской задачи термоэластостатики для трансверсально-изотропного материала.

Формируется множество плоских вспомогательных состояний и по формулам перехода строится множество пространственных состояний, образуя конечномерный базис внутренних состояний. Далее после ортогонализации базиса искомое состояние раскладывается в ряды Фурье с одинаковыми коэффициентами. Коэффициенты рядов представляют собой скалярные произведения поля заданных температур и элементов поля температур в базисных элементах пространства внутренних состояний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванычев Д.А.* Решение задач термоупругости для анизотропных тел вращения // Труды МАИ. 2019. № 106. С. 1–19.
2. *Александров А.Я., Соловьев Ю.И.* Пространственные задачи теории упругости (применение методов теории функций комплексного переменного). – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1978, 464 с.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МНОГОСЕТОЧНЫЕ МЕТОДЫ ДЕКОМПОЗИЦИИ ОБЛАСТЕЙ

Ильин В.П.

*Институт вычислительной математики и математической геофизики,
г. Новосибирск*

Описывается семейство предобусловленных методов в подпространствах Крылова для решения больших разреженных СЛАУ, полученных из сеточных аппроксимаций многомерных краевых задач. Предлагаемые алгоритмы базируются на двух различных подходах: методы декомпозиции областей формируются путем введения макросеточных разделителей, а многосеточные алгоритмы конструируются на основе введения сеточных и алгебраических рекурсивных структур. Итоговая предобуславливающая матрица представляет собой специальную блочную неполную факторизацию исходной СЛАУ с диагональной компенсацией, высокой степени распараллеливания на многопроцессорных вычислительных системах с распределенной и общей памятью. Для алгебраических систем со стилтшевскими матрицами приведены теоремы, характеризующие свойство сходимости получаемых итерационных процессов.

Методические исследования работы проводились по Госзаданию ИВМиМГ СОРАН, НИР-2022-0001. Прикладные направления поддержаны грантом РФФ № 24-21-00402.

**ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТРИЧНОГО МЕТОДА
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В
МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ**

Калманович В.В.¹, Картанов А.А.²

¹ *Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга*

² *ООО «КАМИН-классик», Калуга*

Ранее нами был предложен матричный метод [1], [2], совместное применение которого с методом обобщенных степеней Берса и методом Фурье позволяет находить приближенно-аналитическое решение однородной задачи теплопроводности в многослойной среде, обладающей сдвиговой, осевой или центральной симметрией, т.е. когда тепловой поток направлен перпендикулярно границам слоев.

В настоящей работе описана программная реализация такого подхода в системе компьютерной математики Maple. С помощью этого программного комплекса можно получить приближенные решения различных краевых задач теплопроводности при любом конечном числе слоев среды. На границе между слоями могут быть заданы условия идеального или неидеального контакта. Решения могут быть выведены в виде графика распределения температуры или в виде формулы решения для заданного числа найденных собственных значений, также можно оценить различия решений, полученных при разном количестве собственных значений.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калманович В.В., Степович М.А.* О совместном применении аппарата обобщенных степеней Берса, матричного метода и метода Фурье для решения нестационарного уравнения теплопроводности в многослойной среде // Итоги науки и техники. Современная математика и ее приложения. Тематические обзоры. 2021. Т. 199. С. 50-59.
2. *Калманович В.В.* О построении решения задачи теплопроводности в многослойной среде с неидеальным тепловым контактом между слоями // Таврический вестник информатики и математики. 2021. № 2 (51). С. 43-52.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЛАЙДЕРА ДИСКООБРАЗНОЙ ФОРМЫ В ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ

Коваль К.А.¹, Сухоруков А.Л.²

АО «ЦКБ МТ Рубин» г. Санкт-Петербург, Россия

¹ koval.kir2014@yandex.ru, ² su_andr@yahoo.com

В работе рассмотрено движение подводного глайдера дискообразной формы [1]. Актуальность исследования обусловлена необходимостью получения оперативной информации о гидрологических особенностях акватории, что может быть использовано носителем подобных аппаратов для повышения собственной скрытности. Относительно низкая цена создания дискообразных глайдеров позволяет рассматривать возможность их одноразового применения.

Движение глайдера моделировалось с учетом влияния стратификации среды: слои с различной плотностью были разделены резким скачком. Было рассмотрено типичное для эксплуатации аппарата управляемое движение, характеризующееся многократными переходами по глубине. В качестве управляющего воздействия выбрана скорость изменения избыточной плавучести глайдера, которая зависит от расходных характеристик насосов.

Также был предложен метод совместного решения уравнений гидродинамики и уравнений движения аппарата. Преимуществом такого подхода является возможность учета изменения гидродинамических характеристик объекта при приближении к скачку плотности [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Koterayama W., Nakamura M., Ito Y., Yoshimura H.* Autonomous Underwater Vehicle for Practical Use in Ocean Observations. Proceedings of the Tenth (2012) ISOPE Pacific//Asia Offshore Mechanics Symposium. Vladivostok, Russia, October 3-5, 2012, pp. 170-175.
2. *Гурьев Ю.В., Слуцкая М.З.* Основные закономерности гидродинамического воздействия природных морских условий на подводные объекты. Спб., Научный журнал «Морские интеллектуальные технологии» № 2 том 1, 2020, с. 10-16.

ПОСТРОЕНИЕ ОЗЕРА ДАННЫХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ФАКТОРОВ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кулясов Н.В., Козлова С.В.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

С развитием технологий Интернета вещей (IoT) количество подключенных устройств и объем данных, генерируемых этими устройствами, продолжают стремительно расти [1]. Однако эффективное управление, анализ и использование этих данных представляют собой значительные вызовы. Разнородность данных, включающих сетевой трафик, журналы и метрики MQTT брокеров, метрики серверов и показатели окружающей среды, создает сложности в их интеграции и обработке.

Отсутствие централизованной системы для сбора и анализа этих данных может привести к снижению качества обслуживания, затруднениям в мониторинге состояния систем и замедлению процесса принятия решений [2]. В данной работе рассматривается подход к решению этих проблем путем построения озера данных (Data Lake), обеспечивающего централизованное и эффективное управление IoT данными [3].

Ключевые слова: Интернет вещей, озеро данных, Data Lake, MQTT, брокер.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2024-1378).

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. *A. Weinberg.* Top 4 Challenges in IoT Data Collection and Management // url: . Дата обращения: 17.02.2024.
3. *G. Liu, S. Zhang, B. Hu, L.J. Zhang.* IoT Lakehouse: A New Data Management Paradigm for AIoT // *Big Data – BigData 2023.* // *Lecture Notes in Computer Science.* N. .14203. DOI: 978-3-031-44725-93

СОЗДАНИЕ НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ И АТАК В СРЕДЕ ИОТ

Козлова С.В., Кулясов Н.В.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

Сегодня всем знакомо понятие машинного обучения (ML) [1]: умная колонка предлагает нам рекомендации, а на «горячей линии» банка нам отвечает робот [2]. Подобные устройства составляют интернет вещей (IoT). Рост объема цифровых данных, в том числе IoT, сделал также актуальными исследования с применением методов ML в приложении к задачам информационной безопасности [2].

В работе рассмотрены данные сети IoT, образованной датчиками климат-контроля в 4 серверных помещениях ИВМ СО РАН (Красноярск). Сеть организована по принципу «издатель-брокер-подписчик». Разнородные данные представляют собой замеры температуры воздуха и влажности самими датчиками, данные дампов сетевого трафика брокеров, журналы их событий, метрики виртуальных машин, на которых развернуты брокеры, метрики самих брокеров. Методология исследования включает выбор набора данных из генсовокупности, их предобработка, оценка значимости признаков, сокращение признакового пространства, подбор модели для последующего анализа данных [3], с целью выявления аномалий, связанных с возможными компьютерными атаками.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2024-1378).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *S. Li, L. D. Xu, and S. Zhao.* The internet of things: a survey // J. Industrial Inf. Integr. 2018. V. 10. P. 1–9.
2. *L. Cui, S. Yang, F. Chen et al.* A survey on application of machine learning for Internet of Things // Int. J. Mach. Learn. & Cyber. 2018. V. 9. P. 1399–1417.
3. *N. Koroniotisa, N. Moustafa, E. Sitnikova, B. Turnbull* Towards the Development of Realistic Botnet Dataset in the Internet of Things for Network Forensic Analytics: Bot-IoT Dataset // Future Gen. Comp. Sys. 2019. V. 100. PP. 779–796.

**ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ, ТЕХНОЛОГИИ И
ПРОГРАММЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

Козырев А.Н., Свешников В.М., Яклюшин А.М.

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО
РАН, Новосибирск*

Область наших интересов – это расчет электрических полей в задачах численного моделирования интенсивных пучков заряженных частиц. Моделирование проводится на квазиструктурированных сетках, состоящих из прямоугольных подсеток. Для этого расчетная область сначала покрывается структурированной макросеткой, а затем в каждом макроэлементе строится своя структурированная подсетка. В задачах моделирования пучка часто встречается ситуация, при которой подавляющее большинство макроэлементов содержат прямоугольные подсетки и, поэтому, расчеты на таких подсетках должны быть изучены в первую очередь. В настоящем докладе предлагаются и экспериментально исследуются алгоритмы и технологии ускорения решения в подобластях краевых задач для уравнения Пуассона по расчету потенциала электрического поля. Для этих целей предлагаются и экспериментально исследуются следующие подходы: 1) применение тайлинга – средства ускорения решения за счет эффективного использования сверхбыстрой памяти компьютера, которой снабжен процессор, 2) двухсеточное предобуславливание, не требующее введения внешних дополнительных инструментов помимо макросетки, 3) применение двухсеточного предобуславливания к распараллеливанию, приводящее к появлению сверхускорения (распараллеливание на N процессорах дает ускорение более чем в N раз). Даются экспериментальные доказательства проведенных исследований.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00385, <https://rscf.ru/project/23-21-00385/>

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ NLP ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
КЛАССИФИКАЦИИ ВРЕДНОСНОГО ПО**

Копейцев В.Е.

*ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
Екатеринбург*

Классификация вредоносных программ является одной из актуальных задач информационной безопасности. Правильное опреде-

ление класса вредоносной программы необходимо для правильного реагирования на инцидент информационной безопасности и верного выбора комплекса сдерживающих мер.

С увеличением количества новых образцов вредоносных программ, появляющихся каждый день [1], а также с усложнением механизмов противодействия детектированию [2, 3] всё чаще поднимается вопрос [4] о применении машинного обучения для решения задачи классификации вредоносного программного обеспечения (ПО).

В докладе будет представлена концепция применения методов Natural Language Processing (NLP) для решения задачи классификации вредоносного ПО, обсуждены проблемы, возникающие при внедрении алгоритмов NLP, показаны результаты первых вычислительных экспериментов на базе созданного программного комплекса, а также показаны возможные подходы к оценке качества созданного классификатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лаборатория Касперского [Электронный ресурс] TARGETED CYBERATTACKS LOGBOOK* <https://apt.securelist.com/> (23.06.2024)
2. *OKane P., Sezer S., McLaughlin K.* Obfuscation: The Hidden Malware // in IEEE Security & Privacy, vol. 9, no. 5, 2011, 41-47.
3. *Rad, B., Masrom, M., Ibrahim, S.* Camouflage in Malware: From Encryption to Metamorphism // International Journal of Computer Science and Network Security, 2012, 12: 74-83.
4. *Stopel D., Boger Z., Moskovitch R., Shahar Y., Elovici Y.* Application of Artificial Neural Networks Techniques to Computer Worm Detection // IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings, 2006, 2362 - 2369.

ЧИСЛЕННЫЕ ОЦЕНКИ НЕЙРОСЕТЕВОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЗАДАЧАХ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Копылова О.А., Хайретдинов М.С.

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО
РАН, 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, падающие на

землю воздушные тела в виде осколков космических тел, отработанные ступени ракет и др. Целью работы является разработка методов, алгоритмов и получения численных оценок распознавания импульсных источников с повышенной точностью в системах обнаружения и распознавания. Решение задачи основано на использовании рекуррентной нейронной сети с предварительной обработкой данных при помощи вейвлет-преобразования на фоне изменяющегося уровня внешних шумов и пространственного положения импульсных источников по отношению к пунктам регистрации колебаний. Точность работы предложенных теоретических подходов доказана на основе вычисления ошибок распознавания по отношению к данным численного моделирования и полевых экспериментов.

Работа выполнена в рамках госзадания FWNМ–2022–0004.

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.

РЕКОНСТРУКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ СТАЦИОНАРНОЙ РЕАКЦИИ-КОНВЕКЦИИ-ДИФФУЗИИ

Короткий А.И.¹, Стародубцева Ю.В.¹

¹ *Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН,
г. Екатеринбург*

Исследуются прямая и обратная задачи для модели стационарной реакции-конвекции-диффузии. Прямая задача состоит в нахождении решения соответствующей краевой задачи при всех известных параметрах модели. Обратная задача состоит в нахождении коэффициента поглощения по результатам измерения состояния модели на некоторой части границы области ее задания, где прямое измерение возможно.

Введено понятие обобщенного решения прямой задачи, доказаны его существование и единственность. Установлено, что прямая зада-

ча корректно поставлена, доказана непрерывная зависимость решения от некоторых параметров модели. Доказано, что обратная задача некорректно поставлена, она может иметь несколько решений и неустойчива по отношению к возмущению измеряемых величин.

Для реконструкции коэффициента поглощения применяется вариационный метод. Разработан и реализован алгоритм численного решения поставленной обратной задачи. Проведена серия вычислительных экспериментов по восстановлению различных коэффициентов поглощения.

Работа продолжает исследования [1, 2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Короткий А.И., Стародубцева Ю.В.* Прямые и обратные задачи для моделей стационарной реакции-конвекции-диффузии // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. 2014. Т. 20, N 3. С. 98–113.
2. *Короткий А.И., Цепелев И.А.* Ассимиляция граничных данных для восстановления коэффициента поглощения в модели стационарной реакции-конвекции-диффузии // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. 2023. Т. 29, N 2. С. 87–103.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В АКТИВНОЙ МАТЕРИИ

Костарев К.В., Браун Д.А.

*Пермский Национальный Исследовательский Политехнический
Университет, Пермь*

В центре внимания этой работы лежит феномен биоконвекции, наблюдаемый в средах, населенных множеством живых организмов. Данное явление заключается в спонтанном переходе к коллективному движению в виде вихревых структур. В процессе система приобретает более сложную структуру без внешнего управления, исключительно за счет внутренних взаимодействий. Данное явление можно трактовать как фазовый переход 2-го рода. Это исследование посвящено математическому моделированию фазовых переходов в плотной группе взаимодействующих агентов.

В работе рассматриваются результаты численных экспериментов, полученных для двух математических моделей. При использовании дискретной модели с индивидуальной динамикой получается подробно описать процессы самосборки за счёт движения в направлении температурного градиента и формирование тепловых центров

в группах. В рамках модели был получен спонтанный переход к вихревому движению агентов в толпе, что способствует равномерному распределению тепла между особями.

Континуальная модель, предложенная в работе, также позволяет воспроизвести спонтанную циркуляцию в среде. Найдены управляющие параметры задачи, отвечающие за сложность возникающих структур. Модель позволяет проводить как аналитическое, так и численное исследование поведения группы агентов. Получен фазовый портрет системы для ситуации нестационарной циркуляции. [1]

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (грант № FSNM-2023-0003)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bratsun D., Kostarev K.* Phase Transition in a Dense Swarm of Self-Propelled Bots // *Fluid Dynamics & Materials Processing*. – 2024. DOI: 10.32604/fdmp.2024. 048206

СРАВНЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ДЕРЕВЬЕВ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СКОРИНГОВЫХ СИСТЕМ

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

В системах кредитного скоринга [1] первичное решение о предоставлении или не предоставлении кредита формируется на основании задаваемых заявителем данных. Существует несколько подходов к построению скоринговых систем, два из которых реализованы в рассматриваемом приложении. В данной работе обсуждается разработка ASP NET приложения, позволяющего оценить кредитоспособность заемщика с помощью деревьев классификации [2] и нейронной сети [3]. Обе части приложения имеют общую БД, взаимодействия между ними осуществляется посредством Rest API. В качестве средств реализации использовались Entity Framework, MSSQL, Python. В приложении реализована логика создания БД, базовая логика аутентификации по ролям (администратор/пользователь), логика загрузки начального датасета из файла csv и логика обработки запросов пользователя (передача данных с формы в сервер на Python и предоставление ответов пользователю).

Обрабатываемые данные представляют собой ответы на анкету из 15 вопросов, в которой часть ответов имеют численные значения, а часть – являются категориальными. В процессе реализации скоринговой системы было замечено, что результат предсказаний модели в большей степени зависит от категориальных признаков, и в меньшей степени – от числовых. По результатам работы приложения на тестовом наборе данных было получено совпадение с реальными результатами на 85% в случае с применением деревьев классификации и порядка 92% в случае использования нейронной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ткачёв А. И.* Системы кредитного скоринга. Матричный подход / А. И. Ткачёв, А. В. Шипунов // *Банковский вестник*. – 2019. – № 3. – С. 37-46.
2. *Кафтанников И. Л.* Особенности применения деревьев решений в задачах классификации / И. Л. Кафтанников, А. В. Парасич // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. – 2015. – № 3. – С. 26-32.
3. *Кадиев А.Д.* Нейросетевые методы решения задачи кредитного скоринга / А.Д. Кадиев, А.В. Чибисова // *Математическое моделирование и численные методы*. – 2022. – № 4. – С. 81–92.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЛАНОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Крыжановский В.Д.

ФГБОУ ВО ВГУ, vlad0kryzh@gmail.com

Сбор плановой потребности в медицинской продукции предполагает составление и согласование списка медицинской продукции, необходимой льготным пациентам. В некоторых случаях возникает необходимость произвести персонафицированную заявку медицинской продукции. При этом трудоемкость процесса возрастает многократно, поскольку медицинские работники должны указать не только перечень необходимой продукции, но и её количество, предназначенное для каждого конкретного пациента.

В рамках данной статьи рассматривается автоматизация сбора плановой потребности на основе данных о введённых лимитах и информации о прошлом объёме обеспеченных рецептов с использованием рекуррентных нейронных сетей, временных свёрточных [1]-[2] нейронных сетей и алгоритмических решений. Рекуррентные нейронные сети использовались для планирования потребности в препаратах, не входящих в список жизненно необходимых и важнейших

лекарственных средств, но имеющих устойчивые тренды. Алгоритмические решения используются для препаратов, потребление которых кратно зависит от количества льготных пациентов. В дальнейшем планируется сравнить точность рекуррентных нейронных сетей и алгоритмических решений для подобных позиций. Временные свёрточные нейронные сети использовались для прочих позиций медицинской продукции с последующим сравнением полученного прогноза и фактической потребности в препарате.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Li, Yaguang* Diffusion convolutional recurrent neural network: Data-driven traffic forecasting / Yaguang Li [et al.] // Published as a conference paper at ICLR 2018. – URL:<https://arxiv.org/abs/1707.01926> (Accessed: 09 nov. 2023).
2. *Chen, Yitian* Probabilistic forecasting with temporal convolutional neural network. – URL:https://www.researchgate.net/publication/333716898_Probabilistic_Forecasting_with_Temporal_Convolutional_Neural_Network (Accessed: 09 nov. 2023).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ УПРУГИХ ВОЛН В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ СРЕДЕ

Кутищева А.Ю.

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

Численное моделирование и анализ распространения упругих волн в геологической среде имеет важное значение при интерпретации данных сейсморазведки. В настоящее время большинство исследований в данной области направлено на изучение сейсмических полей, формируемых за счет геометрически-сложной структуры пластов (например, при наличии разломов, естественной трещиноватости и т.д.). Однако также на эволюцию упругих волн могут влиять зоны аномальной концентрации напряжений, порождаемых тектоническими и геодинамическими процессами.

Существуют различные подходы к описанию вынужденных упругих колебаний малой амплитуды в средах с начальными напряжениями, например через дифференциальные уравнения второго порядка для перемещений или в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка через скорости и напряжения. С точки зрения применяемых численных методов, как правило, используются различные варианты метода конечных разностей. Однако для работы

в геометрически сложных средах более эффективно использование конечно-элементных методов. В рамках данной работы для описания вынужденных колебаний малой амплитуды в упругой трехмерной среде с предварительно напряженными участками используется система дифференциальных уравнений второго порядка относительно скоростей с акустическим тензором четвертого ранга, зависящим от тензора предварительных напряжений и упругих свойств среды. Для решения сформулированной задачи реализованы вычислительные схемы метода конечных элементов на тетраэдральных носителях со схемой Ньюмарка для разрешения производных по времени. Получено, что наличие аномальных участков в среде искажает картину волнового поля, а именно возникают отраженные волны и изменяется скорость их распространения при прохождении предварительно напряженных подобластей.

Работа выполнена при поддержке проекта FWZZ-2022-0030

**ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕННОГО ПОРЯДКА
ТОЧНОСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ
СУПЕРДИФФУЗИИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Лекомцев А.В.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Рассмотрим нелинейное одномерное уравнение супердиффузии с эффектом запаздывания следующего вида:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = K(u(x, t)) \left(\frac{\partial^\alpha u}{\partial x^\alpha} + \frac{\partial^\alpha u}{\partial (-x)^\alpha} \right) + f(x, t, u_t(x, \cdot)),$$

где $x \in [0, X]$, $t \in [t_0, \theta]$ — независимые переменные. $u(x, t)$ является искомой функцией. $u_t(x, \cdot) = \{u(x, t + s), -\tau \leq s \leq 0\}$ — функция-предыстория искомой функции к моменту t . $K(u(x, t))$ — нелинейный коэффициент супердиффузии. $\tau > 0$ — величина запаздывания. Заданы начальные и граничные условия:

$$u(x, t) = \varphi(x, t), \quad x \in [0, X], \quad t \in [t_0 - \tau, t_0],$$

$$u(0, t) = 0, \quad u(X, t) = 0, \quad t \in [t_0, \theta].$$

Левосторонняя и правосторонняя дробные производные порядка α , $1 < \alpha < 2$, определяются в смысле Римана-Лиувилля.

В работе [1] был разработан численный алгоритм первого порядка точности для решения рассматриваемой задачи. В данной работе конструируется численный алгоритм повышенного порядка точности для решения нелинейного уравнения супердиффузии с эффектом запаздывания. Исследуется порядок аппроксимации численного метода. Доказывается теорема о сходимости и устойчивости метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pimenov, V.; Lekomtsev, A. Numerical Method for Solving the Nonlinear Superdiffusion Equation with Functional Delay // Mathematics V. 2023. N. 11(18). P. 3941–3955.*

ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОНФОРМНЫХ МЕТОДОВ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ БУРОВОГО РАСТВОРА В ОКОЛОСКВАЖИННОЕ ПРОСТРАНСТВО

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*

В процессе проникновения фильтрата бурового раствора в породу-коллектор существенно изменяются физические свойства околоскважинного пространства. При интерпретации каротажных данных важна информация о зоне проникновения фильтрата, количественная оценка фазного состава пластовых флюидов вследствие их вытеснения.

В докладе рассматриваются две задачи. Первая задача связана с численным моделированием процесса фильтрации бурового раствора на глинистой основе в коллектор с учётом формирования глинистой корки на поверхности скважины. Вторая задача – численное моделирование процесса массопереноса солей при инъекции бурового раствора в околоскважинное пространство.

Высокая контрастность физических свойств геологической породы, пластовых флюидов и буровых растворов накладывает ряд требований на метод дискретизации математических моделей. Вычислительная схема должна сохранять свойство глобальной регулярности математических моделей на дискретном уровне, быть гибкой при работе с многомасштабной структурой расчётной области.

Для решения данного класса задач применяются вычислительные схемы неконформных методов конечных элементов, которые обладают всеми обозначенными характеристиками. Даются рекомендации по выбору численных потоков при построении вариационных формулировок данных методов. Приводятся результаты численного моделирования процесса массопереноса солей при фильтрации бурового раствора в нефтеводонасыщенный коллектор в разных режимах бурения скважины.

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

О ПОСТРОЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ

Мартышко П.С., Бызов Д.Д., Цидаев А.Г., Ладовский И.В.
Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН

Разработаны методы комплексной интерпретации геофизических данных на основе оригинальных алгоритмов решения прямых и обратных задач потенциальных геофизических полей. Для решения этих задач на сетках большой размерности с использованием идеи локализации разработаны регуляризованные алгоритмы, реализованные в компьютерных технологиях с использованием графических ускорителей. С использованием этих алгоритмов построены трехмерные сейсмоплотностные и «магнитные» модели земной коры Среднего Урала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-17-00058).

РАСЧЕТ ИНИЦИАЦИИ ГОРЕНИЯ В ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КАНАЛАХ НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОСТАДИНОЙ РЕАКЦИИ ВОДОРОДО-ВОЗДУШНО СМЕСИ

Мартюшов С.Н.
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва

Было проведено усовершенствование алгоритма[1], основанного на использовании системы уравнений кинетики для 11 химических реакций реагирующей водородо-воздушной смеси из 9 компонент.

Модернизация заключалась в отдельном вычислении потоков компонент смеси в одномерном операторе шага на основе строго противопоточной разностной схемы. В полном алгоритме шага по времени на один двойной шаг для газовой динамики использовалось несколько (5-50) шагов решения системы уравнений кинетики. В качестве модельной решалась задача инициации горения на стационарной ударной волне в плоском канале. За небольшой интервал времени расчета удалось получить устойчивый рост концентрации H_2O смеси при одновременном уменьшении концентрации O_2 (как критерий возникновения реакции горения). Разработанная модификация была использована для расчета течений горения в каналах с сужениями. Для четырех таких конфигураций получено устойчивое воспламенение в областях каналов непосредственно за сужениями. Предполагается дальнейшее использование предложенного модифицированного алгоритма, в том числе для расчета трехмерных задач горения водородо-воздушных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мартышов С.Н.* Расчеты горения водорода в осесимметричных областях // Сборник статей Межвузовский научный конгресс «Высшая школа: Научные исследования». Москва: Инфинити, 2022. С. 149-158.

СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СЕРВО-ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ РОБОТОВ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С МАГНИТОПРОВОДОМ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Мещеряков В.Н., Кондратьев С.Е.

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Введение. Современные роботы требуют высокой скорости, точности и адаптивности [1]. Разработана система высокоскоростного серво-электропривода на базе двигателей переменного тока с магнитопроводом из порошковых материалов и интеллектуальными системами управления.

Методы. 1. Двигатели с магнитопроводом из порошковых материалов обеспечивают высокую мощность и эффективность. Предложена новая конструкция двигателя переменного тока с дисковым ротором и статором со стержнями для фазных обмоток, имеющая улучшенные удельные энергетические показатели. 2. Замкнутая система управления: использует энкодеры для точного контроля угла вращения, скорости и крутящего момента, обеспечивая высокую

точность позиционирования и стабильность. 3. Машинное обучение: Включает адаптивные алгоритмы на основе RNN для предсказания нагрузок, RL для оптимизации стратегии управления и Deep Learning для анализа больших объемов данных, что улучшает точность и адаптивность системы.

Результаты. Эксперименты показали, что система сервоэлектропривода обеспечивает высокую точность позиционирования и улучшенные энергетические характеристики. Интеллектуальные алгоритмы управления демонстрируют высокую адаптивность и эффективность, улучшая устойчивость и точность работы роботов в реальных условиях эксплуатации.

Заключение. Разработанная система сервоэлектропривода на базе двигателей переменного тока с порошковыми магнитопроводами и интеллектуальными системами управления повышает эффективность, точность и надежность современных робототехнических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sensors. Recent Advances in Bipedal Walking Robots: Review of Gait, Drive, Sensors and Control Systems. Sensors, 2022.

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЛОСТИ НА УПРУГОЕ СОСТОЯНИЕ ДВУСВЯЗНОГО ТЕЛА

Пеньков В.Б., Левина Л.В., Уланов В.Н., Копцева А.А.

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк

Исследуется влияние положения полости в двусвязном теле на напряженно-деформированное состояние (НДС). Задачи: 1) построение НДС полостного тела в численно-аналитической форме средствами метода граничных состояний (МГС); 2) использование подхода Шварца для эффективной оценки НДС; 3) исследование влияния локализации полости на внутреннее состояние тела на примере полостного биконуса.

Однородный изотропный упругий биконус содержит сферическую полость фиксированного радиуса. Положение полости определено параметром h . Требуется оценить влияние положения полости на НДС тела и установить предельное значение h , допускающее упругое состояние предразрушения. Граничные условия (ГУ): боковые поверхности свободны от нагрузки, полость нагружена внутренним давлением.

Кроме непосредственного использования МГС был применен алгоритм Шварца: последовательность итераций, состоящих в оценке НДС односвязных тел, с пошаговой коррекцией ГУ на их границах. Оценено наибольшее значение интенсивности напряжений и его зависимость от h .

Выводы: 1) использование «прямого» подхода требует существенных энергетических затрат: значительный рост величины мантисы в представлении чисел при вычислениях и квадратично возрастающее время счета с ростом размерности удерживаемого отрезка базиса пространства внутренних состояний, в первую очередь – при проведении ортогонализации; 2) подход Шварца существенно снижает временные затраты и, несмотря на итерационность процесса и отсутствие доказательств сжимаемости отображений при итерациях, приводит к цели гораздо эффективнее; 3) анализ зависимости НДС от параметров нагружения позволяет установить предельно-допустимые значения варьируемых параметров при обеспечении прочности; 4) наличие сингулярностей формы тела (криволинейные ребра, конические тачки) требует разработки методов построения специальных решений для учета их влияния на НДС.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТЕКСТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ В ЗАДАЧЕ ЭКСТРАКТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА

Перцев Ю.В.

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск

Работа посвящена методам анализа естественного языка для решения задачи, возникающей при разработке интеллектуальных информационно-языковых систем с естественно-языковым интерфейсом. Задача экстрактивного вопросно-ответного поиска: дана пара (d, Q) , где Q — вопросительное предложение, представленное в виде мешка слов, $d \in D$ — документ, предварительно выбранный из некоторой коллекции D так, чтобы быть наиболее близким смыслу к вопросу Q ; необходимо найти предложения, отвечающие на этот вопрос.

В работе предлагаются методы анализа морфологии, синтаксиса и семантики текста. Предлагаются графовый и правилковый методы анализа синтаксиса [1]. Для реализации графового синтаксического анализа собран корпус текстов [2]. Также этот корпус используется для получения набора синтаксически ориентированных вектор-

ных представлений слов, применяющийся на этапе семантического анализа [3]. Механизм ранжирования предложений относительно вопроса основан на формализации семантики текста в виде сильно-связного ориентированного графа, выявляющего неявные содержательные закономерности языковых структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перцев Ю.В.* Программа анализа русскоязычных текстов с выделением некоторых синтаксических зависимостей / Ю.В. Перцев, Н.М. Япарова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681794 от 10.11.2022.
2. *Перцев Ю.В.* Синтаксически аннотированный корпус веб-текстов русского языка / Ю.В. Перцев, Н.М. Япарова // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621467 от 02.05.2023.
3. *Перцев Ю.В.* Программа синтеза синтаксически ориентированных векторных представлений слов / Ю.В. Перцев, Н.М. Япарова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617697 от 01.04.2024.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХСЛОЙНОГО РАЗНОМОДУЛЬНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА С УПРУГОЙ ПРОСЛОЙКОЙ

Петраков И.Е.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

В работе рассматривается задача расчета сечения композитной пластины, состоящей из двух слоев трансверсально-изотропного разномодульного материала с изотропной упругой прослойкой. С помощью обобщенного реологического метода [1] и вариационного принципа Лагранжа получено уравнение, описывающее деформирование сечения при цилиндрическом изгибе. Для решения задачи получен функционал Лагранжа и применен метод начальных напряжений:

$$\sum_{i=1,2} \left(\int_{\Omega_i} \left(\frac{1}{2} \nabla \vec{u} : (a_i + b_i) : \nabla \vec{u} - \Delta \sigma^{k-1} : \nabla \vec{u} \right) d\Omega_i - \int_{\Gamma_i} \vec{q} \cdot \vec{u} d\Gamma_i \right) + \int_{\Omega_i} \left(\frac{1}{2} \nabla \vec{u} : a_m : \nabla \vec{u} \right) d\Omega_m - \int_{\Gamma_i} \vec{q} \cdot \vec{u} d\Gamma_m,$$

где индекс i обозначает номер слоя, \vec{u} – вектор перемещений в рассматриваемом сечении пластины, ∇ – оператор Гамильтона, \vec{q} –

вектор напряжения на границе пластины Γ_σ , a_i — тензора модулей упругости при сжатии, b_i — тензора дополнительных модулей при растяжении, a_m — тензор модулей упругости прослойки. Компонент $\Delta\sigma^{k-1}$ получим из деформаций на предыдущем шаге как $b_i : \Pi(\varepsilon^{k-1})$, где $\Pi(\varepsilon)$ — оператор проекции на конус допустимых деформаций, связанный с направлением волокон армирования. Проведены вычислительные эксперименты и показано влияние учета разномодульности на полученное решение.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2024-1378).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Садовская О.В., Садовский В.М. Математическое моделирование в задачах механики сыпучих сред. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 368 с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛИНИСТОЙ КОРКИ НА СТЕНКЕ СКВАЖИНЫ В СЛОИСТОМ КОЛЛЕКТОРЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

Петров М.Н.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

При вскрытии нефтенасыщенных коллекторов применяются разные типы буровых растворов. При бурении скважин в породах с неудовлетворительными равновесными свойствами используются буровые растворы на водной основе, содержащие различные глинистые компоненты или другие химреагенты. Такие растворы обладают запечатывающими свойствами, что приводит к изменению петрофизических свойств прискважинной области. В частности, снижается проницаемость продуктивного пласта, изменяется электропроводность окоскважинного пространства и формируется глинистая корка. Характерные параметры последней, в частности толщину, определить каротажными методами довольно затруднительно. Численное моделирование фильтрационных процессов в прискважинной области нефтенасыщенного коллектора — один из способов определения возможного размера глинистой корки и её влияния на процесс массопереноса.

В докладе рассматривается модель коллектора, представленного в виде горизонтально-слоистых пластов с различными фильтраци-

онными характеристиками, которые в динамике вскрываются бурением на репрессии. Особенность модели заключается также в том, что учитывается не только радиальное проникновение бурового раствора в пласт. Вычислительные эксперименты проводятся с применением метода конечных элементов на различных структурированных и неструктурированных сетках. При формировании расчётной области учитывается проходка скважины таким образом, что сетки перестраиваются с учётом скорости бурения.

В результате вычислительных экспериментов можно получить синтетические данные о размере глинистой корки, формирующейся на стенке скважины в различные моменты времени в процессе вскрытия пласта.

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

**О НЕКОТОРЫХ НОВЫХ ПОДХОДАХ К РЕШЕНИЮ
ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ДВУМЕРНОГО РАСКРОЯ
МАТЕРИАЛА И МАРШРУТИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТА МАШИН
ЛИСТОВОЙ РЕЗКИ С ЧПУ**

Петуний А.А.

*Уральский федеральный университет, Институт математики и механики
УрО РАН, Екатеринбург*

В работе рассматривается оптимизационная задача Integrated Nesting and Routing Problem (INRP). Она является объединением двух известных оптимизационных задач — задачи нерегулярного раскроя (Nesting Problem) и задачи оптимизации процесса листовой резки на оборудовании с ЧПУ (Cutting Path Determination Problem, CPDP). Обе задачи являются NP - трудными. В задаче INRP используется единый интегрированный стоимостной критерий $C_{INRP} = C_{NEST} + C_{CUT}$, где C_{NEST} - стоимость раскроя, а C_{CUT} - стоимость процесса резки раскроенных деталей. В работе предлагаются новые алгоритмические подходы к решению задачи INRP, базирующиеся на следующих процедурах. Первоначально формируется конечное множество допустимых решений задачи нерегулярного раскроя. Размерность множества должна обеспечивать получение за приемлемое время для каждого варианта раскроя рационального или оптимального варианта маршрута резки. При формировании

допустимых вариантов раскроя предпочтение отдается тем, для которых на этапе проектирования маршрута резки можно существенно уменьшить длину рабочего хода инструмента и число точек врезки в листовую материал. Процедура формирования множества раскройных планов предполагает как полностью автоматический, так и интерактивный режим проектирования. В перспективе для формирования этого множества планируется использовать методы ИИ.

Для поиска оптимального маршрута резки, соответствующего минимальному значению критерия C_{CUT} , реализованы несколько точных и приближенных оптимизационных алгоритмов с использованием как известных моделей дискретной оптимизации, так и смешанных непрерывно-дискретных моделей. Эффективность предлагаемых подходов иллюстрируется решением нескольких модельных примеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 23-21-00343)

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СРDP НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЕГМЕНТНОЙ РЕЗКИ

Петунин А.А.^{1,2}, Уколов С.С.¹, Котел Н.С.¹

¹ *Уральский федеральный университет, ² Институт математики и механики УрО РАН, Екатеринбург*

Рассматривается NP-трудная задача оптимальной маршрутизации инструмента для машин листовой резки с ЧПУ, которая называется задачей о траектории резки (Cutting Path Problem или Cutting Path Determination Problem, CPDP). Показано, что математические оптимизационные модели и форматы исходных данных, используемые в настоящее время для решения этой задачи, не содержат большого количества важных геометрических параметров геометрического расположения деталей, вырезаемых из листа, а также геометрических особенностей траектории резки. Это ограничивает применимость стандартных методов дискретной оптимизации для решения практических задач, поскольку они не гарантируют технологическую приемлемость полученного решения или существенно ограничивают набор допустимых решений. В частности, многие исследователи ограничиваются решением задачи оптимизации холостого хода инструмента, исключая варианты траектории резки, содержащие технику мульти-контурной резки. Частично эта проблема

может быть решена за счет применения т.н. модели сегментной резки, которую удобно использовать при решении одного класса задач CPDP, имеющего название GSCCP (Generalized Segment Continuous Cutting Problem).

В данной работе описаны два алгоритма решения такого рода задач. Оптимизирующее ядро первого алгоритма основано на методе динамического программирования. Второй алгоритм, называемый итерационным алгоритмом, содержит несколько эвристик, основанных на идеях метода ветвей и границ. Существенной особенностью алгоритма является задаваемой пользователем ограничение на время оптимизации. В работе также дана классификация геометрических задач, возникающих при решении задачи о траектории резки и описаны подходы к их решению, в том числе подходы, позволяющие применять универсальные алгоритмы дискретной оптимизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 23-21-00343)

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ
РЕШЕНИЯ СУПЕРДИФФУЗИОННОГО УРАВНЕНИЯ С
ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Пименов В.Г.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Рассматривается уравнение вида

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = d \frac{\partial^\alpha u}{\partial |x|^\alpha} + f(x, t, u_t(x, \cdot)),$$

где $0 \leq t \leq T$, $0 \leq x \leq X$ — независимые переменные, $u(x, t)$ — искомая функция решения, $\frac{\partial^\alpha u}{\partial |x|^\alpha}$ — дробная производная Рисса порядка α , $1 < \alpha < 2$, $d > 0$ — коэффициент супердиффузии, $u_t(x, \cdot) = \{u(x, t + s), \tau \leq s \leq 0\}$ — история искомой функции к моменту t , $\tau > 0$ — величина запаздывания. Заданы граничные и функциональные начальные условия. Такие задачи возникают, например, при моделировании комплексного процесса циркулирования загрязненных вод.

Ранее для подобной задачи в работе [1] был построен и исследован численный метод порядка $\Delta^2 + h$, где Δ — шаг разбиения по времени, а h — шаг разбиения по пространству, позже был построен

и исследован численный метод порядка $\Delta^2 + h^2$. В данной докладе излагается метод, основанный на идеях экстраполяции Ричардсона и кусочно-кубической интерполяции, который позволяет повысить порядок точности [2]. Также в докладе приводятся конструкции метода порядка $\Delta^2 + h^4$, основанного на идеях компактной разностной схемы для дробных уравнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pimenov V.G., Hendy A.S.* A fractional analog of Crank-Nicholson method for the two sided space fractional partial equation with functional delay // Ural Mathematical Journal. 2016. V. 2(1). P. 48–57.
2. *Пименов В.Г., Ложников А.Б.* Асимптотическое разложение погрешности численного метода для решения супердиффузионного уравнения с функциональным запаздыванием // Тр. Ин-та математики и механики УрО РАН. 2024. Т. 30(2). С. 138–151.

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Плотникова Н.В.

Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет), Челябинск

Одной из задач кинематического управления роботом-манипулятором является задача планирования его траектории, т.е. предварительного определения программного движения степеней подвижности на некотором временном отрезке. Такую задачу можно рассматривать как задачу математического программирования. В зависимости от требований, предъявляемых к перемещению схвата (обхождение конкретных точек траектории, перемещение из начальной точки в конечную по любой траектории и т.п.) в качестве ограничений могут выступать ограничения на скорости и ускорения обобщенных координат, обеспечивающие плавное движение манипулятора вдоль всей траектории; условия гладкости, предъявляемые к траектории и др. В качестве целевой функции могут выступать время движения/ обхода всех точек траектории, мощности выбираемых приводов и др. Предлагается использовать в качестве такого критерия величину погрешности позиционирования – в одной точке траектории она может принимать различные значения в зоне обслуживания для разных конфигураций манипуляционного механизма. Величину ошибки позиционирования схвата манипулятора в окрестности некоторой точки можно оценивать с помощью квадратичной нормы отклонений, зависящей от обобщенных координат, их отклонений и

параметров кинематической схемы (длин звеньев) и может иметь максимумы и минимумы в области изменения этих параметров. Выбирая такие положения, в которых погрешность имеет минимальное значение, можно построить траекторию именно через эти точки.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИСПАРЯЮЩЕЙСЯ ЖИДКОЙ ПЛЕНКЕ

Прокудина Л.А.

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск

Представлено нелинейное дифференциальное уравнение в частных производных четвертого порядка, являющееся нелинейной математической моделью состояния свободной поверхности неизотермической жидкой пленки. Коэффициенты модели включают параметры поверхностного натяжения, термокапиллярных сил. Осуществлен переход к разностному уравнению – аналогу исходной математической модели состояния свободной поверхности жидкой пленки. Разработаны вычислительные алгоритмы исследования неустойчивости и состояния свободной поверхности волнового течения жидкой пленки для умеренных чисел Рейнольдса. Проведены вычислительные эксперименты по нелинейному развитию возмущений и выявлению неустойчивых режимов течения жидкой пленки воды, в частности, при неустойчивости Марангони. Результаты моделирования могут быть использованы при конструировании или модернизации существующего оборудования, а также при разработке технологических процессов в жидких пленках.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ВЕТОНА ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ МАКРОКИНЕТИКИ

Пузатова А.В., Когай А.Д., Дмитриева М.А.

Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград

Стабильность свойств механоактивированных компонентов мелкозернистых бетонов в практически значимом временном диапазоне на данный момент мало изучена. Предлагается определять стабильность свойств по изменению макрокинетических параметров (E_A) реагирующей системы, эти данные затем используются для моделирования свойств и характеристик композиционных материалов на

цементном вяжущем. Кинетика процесса гидратации цемента удовлетворяет уравнению Аррениуса, устанавливающего зависимость константы скорости реакции от температуры:

$$k = A \bullet \exp(-E_A/RT),$$

где: k – константа скорости реакции; T – температура; R – универсальная газовая постоянная; E_A – энергия активации; A – предэкспоненциальный множитель.

Проводится калориметрический анализ изменения теплового потока реакции гидратации механоактивированной композиции при трех различных температурах (20°C, 30°C, 40°C), степень гидратации (z) определяется по изменению теплоты гидратации:

$$k = dz/dt = 1/Q_m \bullet dQ/dt,$$

где: z – степень гидратации; Q_m – максимальное значение суммарной тепловой энергии; Q – значение суммарной тепловой энергии в момент времени t .

Параметры макрокинетики определяются из решения задачи оптимизации методом наименьших квадратов. Для свежей активированной цементно-песчаной смеси энергия активации составляет 44,9 кДж/моль, для смеси, хранящейся 9 месяцев - 53,9 кДж/моль, 12 месяцев - 54,2 кДж/моль. Полученные данные свидетельствуют о потере стабильных свойств механоактивированных компонентов, результаты будут дополняться промежуточными значениями.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФАНТОМНЫХ АТТРАКТОРОВ

Ряшко Л.Б.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

В динамических системах сочетание нелинейности и стохастичности может приводит к разнообразным и зачастую неожиданным эффектам: индуцированные шумами переходы, стохастический резонанс, вызываемый шумом хаос, стохастическая возбудимость, стохастические бифуркации [1, 2, 3]. Наряду с этими достаточно изученными явлениями недавно обнаружен новый феномен так называемого стохастического фантомного аттрактора [4]. Этот феномен состоит в деформации вероятностного распределения и его сдвиге

в зону фазового пространства, где исходная детерминированная система не имеет никаких аттракторов.

В работе обсуждаются механизмы возникновения фантомных аттракторов, связанные с быстро-медленным характером исходных систем. Рассматривается техника анализа процесса формирования фантомного аттрактора, основанная на методе замораживания медленной переменной и усреднения по быстрой. Эта техника иллюстрируется примерами из биохимии и нейронной динамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Уральского математического центра (соглашение 075-02-2024-1428).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Horsthemke W., Lefever R.* Noise-Induced Transitions. Springer, Berlin, 1984.
2. *Arnold L.* Random Dynamical Systems. Springer, Berlin, 1998.
3. *Lindner B., Garcia-Ojalvo J., Neiman A., Schimansky-Geier L.* Effects of noise in excitable systems // *Physics Reports.* 2004. Vol. 392. P. 321–424.
4. *Bashkirtseva I., Ryashko L.* How additive noise forms and shifts phantom attractors in slow-fast systems // *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical.* 2020. Vol. 53. P. 375008.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕСТАНОВКИ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

Сесекин А.Н.^{1,2}, Ташлыков О.Л.¹, Земсков К.А.¹, Андреева И.Ю.¹

¹ *Уральский федеральный университет, Екатеринбург*

² *Институт математики и механики им. Н.Н.Красовского, Екатеринбург*

Рассматривается задача минимизации интенсивности дозы облучения от расположенных вдоль некоторой прямой контейнеров, в которых находятся радиоактивные вещества. Дозы облучения от этих контейнеров различны. Предложен алгоритм, обеспечивающий почти постоянную интенсивность облучения на определенном расстоянии от контейнеров, которая еще и минимизируется.

Минимизируемый функционал зависит от бинарных переменных, с помощью которых определяется место каждого контейнера, и постоянной, аппроксимирующей примерно постоянное радиационное поле на некотором фиксированном расстоянии от линии, вдоль которой выставлены контейнеры.

Предложенный алгоритм решения задачи реализован в виде программы для ЭВМ.

Функционал строился с помощью формул вычисления интенсивности из [1]. Другой подход к родственной задаче предлагался в [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жагрина И.И.* Лабораторный практикум по дисциплине «Радиационная безопасность». М.: ГОУ ВПО «РГТЭУ», 2011. 59 с.
2. *Рудычев В.Г., Азаренко Н.А., Гирка И.С.* Минимизация дозы облучения за счет оптимального размещения источников излучения разной интенсивности // Атомная энергетика. 2015. Т. 119. Вып. 4. С. 230–234.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ В НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

Смолехо И.В.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск

В работе проведен анализ ориентационной термоупругости в нематических жидких кристаллах с применением упрощенной динамической модели жидкого кристалла в акустическом приближении в плоской постановке. Движение и вращение молекул описано с помощью уравнений континуума Коссера [1]. Рассматривается горизонтальный слой жидкого кристалла, одна из границ которого нагревается. Решение системы уравнений основано на методе двуциклического расщепления по пространственным переменным. Уравнения акустики решены с применением конечно-разностной схемы распада разрыва Годунова, уравнение теплопроводности – с помощью схемы Иванова с контролируемой диссипацией энергии. Алгоритм реализован в виде параллельной программы, написанной по технологии CUDA для вычислительных систем с графическими ускорителями. Серия расчетов показывает, что для представленной упрощенной модели невозможно изменить ориентацию молекул только за счет теплового воздействия на границе, свободной от внешних напряжений, при отсутствии объемных сил и момента сил. Сделано предположение, что если учесть силы поверхностного натяжения в правых частях уравнений движения, то при воздействии температуры произойдет переориентация молекул жидкого кристалла на поверхностном слое.

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2024-1378).

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

**О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В
ЭЛЕКТРОННО–ЗОНДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Степович М.А.¹, Филиппов М.Н.², Тургин Д.В.³, Серегина Е.В.⁴,
Калманович В.В.¹

¹ *Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, Калуга*

² *Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва*

³ *Ивановский государственный университет, Иваново*

⁴ *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), Калужский филиал,
Калуга*

В электронно–зондовых технологиях для катодолюминесцентных (КЛ) измерений используется пульсирующий электронный зонд, что позволяет исследовать слабо люминесцирующие материалы [1]. В настоящей работе рассмотрены модели, развитие которых позволит реализовать количественные КЛ исследования полупроводников: 1) математическая модель, описывающая изменение концентрации генерированных электронным зондом неравновесных неосновных носителей заряда (ННЗ) при прекращении облучения прямоугольным электронным импульсом. Рассмотрение проведено для переменных коэффициентов нестационарного уравнения диффузии и наличия нескольких каналов рекомбинации ННЗ; 2) математическая модель, описывающая изменение температуры образца, основанная на классическом нестационарном уравнении теплопроводности с правой частью, в которой плотность источников тепла модулирована синусоидальной функцией либо прямоугольными импульсами.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков А.Н., Noltemeyer M., Hempel T., Степович М.А. Двумерная диффузия и катодолюминесценция экситонов, генерированных электронным пучком в полупроводниковом материале: результаты математического моделирования // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2012. № 11. С. 35-40.

О ПРЕОБРАЗОВАНИИ КОУЛА–ХОПФА ДЛЯ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА

Тальшев А.А.

Новосибирский государственный университет, Новосибирск

Если комплексная скорость $U(t, x, y) = u(t, x, y) - iv(t, x, y)$ является комплексно аналитической функцией переменной $z = x + iy$ и удовлетворяет комплексному уравнению Хопфа $U_t + UU_z = 0$, то вектор-функция (u, v) удовлетворяет следующей системе уравнений Эйлера (см., например, [1]):

$$u_t + uu_x + vv_y = 0, \quad v_t + uv_x + vv_y = 0, \quad u_x + v_y = 0, \quad v_x = u_y. \quad (1)$$

Преобразование Коула и Хопфа $w = -2\nu\theta_x/\theta$ отображает решения уравнения теплопроводности в решения уравнения Бюргерса

$$w_t + ww_x - \nu w_{xx} = -\frac{2\nu}{\theta} \left(\frac{\partial}{\partial x} - \frac{\theta_x}{\theta} \right) (\theta_t - \nu\theta_{xx}).$$

Тогда, согласно работе [2], комплексное преобразование Коула и Хопфа $W = -2\nu\Theta_z/\Theta$ отображает решения комплексного уравнения теплопроводности в решения комплексного уравнения Бюргерса

$$W_t + WW_x - \nu W_{xx} = 0, \quad (2)$$

где $\Theta = \Theta_1 + i\Theta_2$ и $W = w_1 + iw_2$. При предельном переходе $\nu \rightarrow 0$ решения уравнения (2) по аналогии с работой [3], наверное, сходятся к решениям системы (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журавлева У. Н., Зубарев Н. М., Зубарева О. В., Карabut Е. А. Алгоритм построения точных решений плоской нестационарной задачи о движении жидкости со свободной границей // Письма в ЖЭТФ. 2019. Т. 110, вып. 7, с. 443–448.
2. Кренделев С. Ф., Тальшев А. А. Преобразования Беклунда систем уравнений в частных производных // Динамика жидкости со свободными границами. Новосибирск: ИГИЛ СОАН СССР, 1980, вып. 46., с. 166–170.
3. Рождественский Б. Л., Яненко Н. Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. М.: Наука, 1978. 688 с.

АНАЛИЗ СТРАТЕГИИ КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ ЧИСЕЛ

Тимофеева Г.А., Хазимуллин А.Д.

Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург

Анализ стратегий компании–перевозчика по привлечению клиентов–грузоотправителей может быть описан в рамках игры со случайным вторым игроком, в этом случае отклик клиентов моделируется с использованием вероятностного описания и имитационного моделирования [1]. Однако не всегда имеется возможность получить статистические данные о реакции клиентов на выбор стратегии, поэтому здесь предлагается использовать нечеткие числа для описания реакции клиентов.

Тип груза определяет отклик k -го клиента δ_{ik} на выбор стратегии U_i , где δ_{ik} – изменение объема перевозки k -м клиентом после применения i -ой стратегии: $\delta_{ik} = V_k(0)^{-1}V_k(U_i)$. Так как отклик точно не известен, то будем описывать его нечетким числом из набора $\{A, B, C\}$, где A – «практически не изменится», B – «увеличится незначительно», C – «увеличится существенно».

В рамках теоретико-игрового подхода с нечеткой матрицей выигрышей исследуются изменение объемов перевозок и дохода компании с учетом дифференциации клиентов, при сравнении стратегий результатов используются методы, предложенные в [2].

Исследования выполнены при финансовой поддержке из средств федерального бюджета, НИР 124032700006-3 «Повышение эффективности и клиентоориентированности региональных транспортных систем на основе моделирования и анализа больших данных».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева Г.А., Хазимуллин А.Д. Вероятностное моделирование поведения грузоотправителей при оценке программ лояльности на железнодорожном транспорте // Транспорт Урала. 2023. Т. 79. № 4. С. 34–40.
2. Ухоботов В.И., Стабулит И.С., Кудрявцев К.Н. Сравнение нечетких чисел треугольного вида // Вестник Удмуртского университета. сер. Математика, механика, компьютерные науки. 2019. Т. 29. Вып. 2. С. 197–210.

НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА КОНВЕКТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ РЕАКТОРЕ ХЕЛЕ-ШОУ

Уточкин В.Ю.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь*

Центробежная и кориолисова силы инерции оказывают на жидкость пространственно-неоднородное воздействие, что может быть использовано в ряде технологических приложений. В последние годы одним из перспективных направлений является разработка микрореакторов, где поведение жидкой среды контролируется центробежными перегрузками [1, 2].

Рассматривается задача о конвекции в ячейке Хеле-Шоу, вращающейся с постоянной угловой скоростью. Линейный анализ иллюстрирует наличие в спектре колебательных возмущений, что объясняется влиянием силы Кориолиса и обуславливает нестационарный характер течения за порогом устойчивости. Поведение решений вблизи первой бифуркации исследовано методом многих масштабов. Показано, что кризис равновесия происходит при прохождении системой бифуркации Хопфа. Методами численного моделирования установлено, что вторая бифуркация сопровождается рождением двухчастотного тора. Соответствующие бифуркационные поверхности изображены на карте устойчивости в параметрическом пространстве. Отмечается, что наряду с внесением в спектр осциллирующих возмущений, сила Кориолиса оказывает стабилизирующее влияние на систему: с ростом соответствующего параметра интенсивность конвекции снижается. При этом в структуре течения наблюдается азимутальный снос вихревых ячеек.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант № FSNM-2023-0003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cai, Z.; Xiang, J.; Chen, H.; Wang, W.* A Rapid Micromixer for Centrifugal Microfluidic Platforms. *Micromachines*. 2016, 7, 89.
2. *Cummings L.J., Waters S.L.* Tissue growth in a rotating bioreactor. Part II: fluid flow and nutrient transport problems. *Math Med Biol*. 2007. 24(2):169-208.

ЗАДАЧИ ТЕПЛОФИЗИКИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ В АРКТИКЕ

Филимонов М.Ю., Ваганова Н.А.

ИММ УрО РАН им. Н.Н. Красовского, г. Екатеринбург

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

fmj@imm.uran.ru, 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 и климатических воздействий. Снижение несущей способности грунтов оснований капитальных сооружений может приводить к серьезным техногенным авариям [1]. Рассматриваются задачи теплофизики, возникающие при исследовании устойчивости инженерной инфраструктуры, расположенной в регионах распространения вечной мерзлоты. В основном это будут свайные фундаменты жилых домов [2], опоры железнодорожных мостов [3] и кустовые площадки северных нефтегазовых месторождений [4]. Рассмотрены основные теплофизические задачи, описывающие эти процессы, в том числе и с использованием online системы температурного мониторинга грунта под зданиями в городе Салехард. При компьютерном моделировании учитываются данные температурного мониторинга и предыстория развития температурных изменений в области моделирования, но не учитывается возможность движения воды в грунте, как это учитывалось, например в [5].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ 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.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.
3. *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.

4. *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.– N 6. P. 795–804. DOI 10.17516/1997-1397-2021-14-6-795-804
5. *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.

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТОК ДЛЯ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Филимонова И.М.

*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
irina.filimonova4@mail.ru*

В России более 60% территории занимает вечная мерзлота. Различные инженерные конструкции в криолитозоне оказывают влияние на изменение температурного режима грунтов в основании свайных фундаментов [1, 2, 3]. Несущая способность грунтов оснований сооружений на многолетнемерзлых грунтах зависит от температуры грунта и в случае ее повышения происходит уменьшение несущей способности, являющееся причиной возможных техногенных аварий. Для моделирования тепловых полей в грунте эффективными методами являются численные методы, один из которых предложен в [4]. Этот метод учитывает данные температурного мониторинга и предысторию развития температурных изменений в зоне свайного фундамента, но не учитывает возможного движения воды в грунте, как это учитывалось, например в [5]. Важным этапом компьютерного моделирования является дискретизация расчетной области и подготовка данных. Особенность свайного фундамента в том, что он состоит из множества (несколько сотен) мелких объектов (свай и сезоннодействующих охлаждающих устройств [6]), детализация которых приводит к существенному увеличению расчетной сетки и времени счета. Для адекватной передачи особенностей свайного фундамента была написана программа на языке python с использованием модуля matplotlib для визуализации расчетной сетки. Предложенные алгоритмы хорошо справляются с задачей дискретизации расчетной области при проведении численных расчетов для конкретного свайного фундамента жилого дома в городе Салехард.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Filimonov M., Vaganova N.* Permafrost thawing from different technical systems in Arctic regions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 72. – P. 012006. – DOI 10.1088/1755-1315/72/1/012006.
2. *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.
3. *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.
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. *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.
6. *Vaganova N. A., Filimonov M. Yu.* Simulation of Cooling Devices and Effect for Thermal Stabilization of Soil in a Cryolithozone with Anthropogenic Impact // Lecture Notes in Computer Science. – 2019. – Vol. 11386. – P. 580–587. – DOI 10.1007/978-3-030-11539-5_68.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЧАСТОТ СВАИ ПРИ ОТТАИВАНИИ МАССИВА ОКРУЖАЮЩЕГО ГРУНТА

Цветков Р.В., Гусев Г.Н.

Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

Свайные фундаменты применяются при строительстве различных конструкций, таких как здания, мосты, надземные нефте- и газопроводы, эксплуатируемые в том числе на северных территориях и в условиях мерзлоты. Особенностью их эксплуатации является периодическое сезонное замерзание и оттаивание грунтов, которое может вызывать искажение фундаментов и таким образом, негативно повлиять конструкцию. Повышение ее деформационной безопасности возможно осуществить с помощью мониторинга, который состоит из измерения различных статических и динамических деформационных параметров с помощью датчиков, а также обработки, анализа

результатов и прогноза с помощью математических моделей. Сама конструкция, как и окружающая ее грунт, подвержены постоянно происходящими фоновыми динамическими воздействиями различной природы таких как порывы ветра или движения разных механизмов, отклик на которые можно анализировать, измеряя деформационную реакцию данной системы и на основании нее производя оценку деформационного состояния конструкции.

Работа посвящена исследованию динамических характеристик одиночной сваи, являющейся базовым элементом, осуществляющим деформационное взаимодействие конструкции с грунтом. В ходе сезонных изменений температуры в результате оттаивания грунтов происходит заметное изменение их механических свойств, влияющее и на поведение сваи. Для изучения этого процесса были произведены натурные и численные эксперименты. Они включали в себя исследование динамического поведения одиночной сваи, заглубленной в грунт, при его оттаивании. С помощью метода конечных элементов проведена оценка изменений частотного спектра данной системы при различных параметрах грунтового основания, соответствующего мерзлому и немерзлому грунту.

Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер темы № 124040500016-9.

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАВОВЫХ ПОТОКОВ

Цепелев И.А.¹, Короткий А.И.¹

¹ *Институт математики и механики
им. Н.Н. Красовского УрО РАН, Екатеринбург*

Рассматривается усредненная по глубине модель движения вязкой жидкости, предназначенная для компьютерного моделирования распространения вулканических лав. Описываются математические свойства модели, методы ее аппроксимации и алгоритмы численного решения в пакетах OpenFOAM, OpenMP и OpenACC. Математическая модель представляет собой систему уравнений гиперболического типа в плоской области, которая аппроксимирует законы сохранения массы и импульса в приближении тонкого слоя [1]. Исследуется важность реологических свойств лавовых потоков на примере реологий Ньютона, Бингама и нелинейной модели Гершеля–Балкли.

В реологии потока учтены зависимости от температуры и кристаллизации, а также влияние нелинейных эффектов вязкопластичных сред.

Данное исследование может найти применение для предсказания чрезвычайных ситуаций и оценке зон рисков распространения лавовых потоков на основе данных наблюдений.

Компьютерные коды реализованы на вычислительных кластерах с общей и распределенной памятью на CPU и GPU под управлением ОС Linux. Проведена верификация кодов на аналитическом решении задачи [2] и сравнении тестового решения с моделью, основанной на уравнениях движения двухфазной несжимаемой жидкости в пространственной области. Проведено профилирование реализации кодов для многоядерных CPU с общей памятью и графической карты.

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. *Huppert H.* The Propagation of Two-Dimensional and Axisymmetric Viscous Gravity Currents over a Rigid Horizontal Surface // J. of Fluid Mechanics. 1982, Vol. 121, P. 43-58.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ МНОГОЗВЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

Чупин И.А.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

Автоматизация процедуры построения управлений для манипуляторов является актуальной задачей. В работе [1] было получено полное решение задачи моделирования движений манипулятора для пространственных движений механической системы с цилиндрическими шарнирами, и предложена методика, позволяющая использовать при составлении уравнений Лагранжа 2 рода с большим числом степеней свободы пакеты аналитических вычислений.

Математическая модель движений манипулятора представляется собой существенно нелинейную динамическую систему высокого порядка. В монографии [2] предложены методы, которые при определенных допущениях позволяют построить субоптимальные управ-

ления. В настоящей работе при построении управлений применяется метод декомпозиции. Используя процедуры разделения движения на «быстрые» и «медленные» составляющие, сложное движение манипулятора раскладывается на простые движения.

Предложенный метод нахождения управлений совместно с результатами работы [1] позволяет использовать пакеты аналитических вычислений для автоматизации нахождения управлений для многозвенных манипуляторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dolgiĭ Yu F., Sesekin A. N., Chupin I. A.* Using graphs in modeling the movements of a manipulation robot // Proceedings of the X All-Russian Conference "Actual Problems of Applied Mathematics and Mechanics" with International Participation, Dedicated to the Memory of Academician A.F. Sidorov and 100th Anniversary of UrFU: AFSID-2020. American Institute of Physics Inc., 2020. (AIP Conference Proceedings).
2. *Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г.* Манипуляционные роботы: динамика, управление, оптимизация. М.: Наука, 1989. 368 с.

АППРОКСИМАЦИЯ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОВЕТРИВАЕМОГО ПОДПОЛЬЯ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА

Шамугия Д.Ж.

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

Криолитозона в России занимает обширные территории, на которых имеются капитальные сооружения, включая жилые здания со свайными фундаментами и проветриваемыми подпольями. Для долгосрочного прогнозирования динамики температурных изменений, влияющих на несущую способность грунта, окружающего элементы свайного фундамента используются численные методы, учитывающие, в том числе, и краевые условия на поверхности *проветриваемого подполья* (ПП). Анализ данных температурного мониторинга в январе 2024 года за этой поверхностью для конкретного здания в городе Салехард [1] показал наличие больших различий температуры в разных точках ПП. Данное различие было вызвано попаданием снаружи снега в ПП, которое может оказать влияние на температурный режим грунта. Поэтому двумерная аппроксимация температурного поля поверхности ПП является актуальной задачей.

Было проведено тестирование и анализ следующих трех методов для аппроксимации двумерного теплового поля в ПП: метод обратных взвешенных расстояний, триангуляционная нерегулярная сеть и метод радиально-базисных функций. Предварительные результаты исследований свидетельствуют, что третий метод более адекватно аппроксимирует данные температурного мониторинга на ПП.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ И КОМПЛЕКС ПРОГРАММ СТАБИЛИЗАЦИИ ВИЧ ДИНАМИКИ С УЧЁТОМ ЭФФЕКТА ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ

Щербаков С.В., Ким А.В.

*Уральский Государственный Аграрный Университет, Екатеринбург
Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН,
Екатеринбург*

В докладе обсуждаются:

- Математические модели, описывающие ВИЧ динамику,
- Численные алгоритмы решения рассматриваемых моделей,
- Алгоритмы управления ВИЧ моделями с запаздыванием, разработанные на основе методологии Аналитического Конструирования Регуляторов.

На основе представленных алгоритмов разработан комплекс программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Черешнев В. А., Бочаров Г.А., Ким А.В., Бажан С.И., Гайнова И. А., Красовский А.Н., Шмагель Н. Г., Иванов А. В., Сафронов М. А., Третьякова Р. М.* Введение в задачи моделирования и управления динамикой ВИЧ инфекции. М-Ижевск.: Институт компьютерных исследований, 2016/1988. 229 с.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ТЕМПЕРАТУР В ТОНКИХ ПРОСЛОЙКАХ

Япаров А.Д.

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск

Работа посвящена проблеме определения теплового состояния тонких прослоек, при высокотемпературных технологических процессах. 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 работе предложено численное решение обратной задачи, основанное на использовании конечно-разностных уравнений и регуляризирующих подходах.

Верификация вычислительной схемы осуществлялась 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.

МЕТОД КОРРЕКЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА

Япаров Д.Д.

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск

Работа посвящена проблеме восстановления сигнала в динамических системах. Предлагается вычислительный метод коррекции динамической погрешности в измерительной системе произвольного порядка с эффектом саморегуляризации. Рассматривается измерительная система, порядок и параметры которой были определены с помощью метода идентификации [1], далее осуществляется переход от передаточной функции датчика к дифференциальному уравнению вида:

$$a_n y^{(n)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = b_m u^{(m)} + \dots + b_1 u' + b_0 u.$$

Основная идея предлагаемого метода состоит в том, что на каждом следующем шаге итерационного процесса, используя конечно-

разностный аналог системы, находим решение этой системы в каждый момент времени. В конце процесса находится максимальное отклонение полученного решения от точного, если оно больше определенного уровня точности, шаг дискретизации корректируется, за счет чего и возникает эффект саморегуляризации.

Для верификации результатов работы метода коррекции динамической погрешности были проведены экспериментальные исследования с датчиками давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Япаров Д.Д.* Метод идентификации параметров системы при динамических измерениях // Современные проблемы математики и её приложений : Тезисы Международной (54-й Всероссийской) молодежной школы-конференции, Екатеринбург, 06–17 февраля 2023 года. – Екатеринбург: Институт математики и механики УрО РАН им. Н.Н. Красовского, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2023. – С. 61.

РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРМ

Япаров Д.Д.¹, Бурьянов П.А.¹

¹*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск*

В настоящее время существует проблема светофорного регулирования транспортных потоков. Как правило, системы управления светофорами зависят от оператора или следуют заранее строго прописанным правилам. В связи с этим ставится задача разработки интеллектуальной системы, которая смогла бы полностью самостоятельно автоматически принимать решение о включении или выключении того или иного светофора на перекрестке [1].

В работе рассмотрена модель городского светофора на крестообразном перекрестке. Разработаны состояния этого перекрестка, характеризующиеся набором включенных и выключенных светофоров для безаварийного проезда машин в определенном направлении. Модель светофора позволяет решать задачу кластеризации. В качестве входных данных модель получает количество машин на каждом направлении. На выходе модели решается задача кластеризации - по создавшейся ситуации на перекрестке включает то или иное состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимофеева О.П., Ермаков О.П., Туманова Д.Н. Модель системы «умных светофоров» на базе AnyLogic// материалы конференции «Будущее технической науки». Н. Новгород, 2016. – С.115–116.

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Япарова Н.М.

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет, Челябинск)

Работа посвящена разработке численного метода решения обратной задачи теплопроводности, когда исходной информацией для формирования граничных условий служат результаты измерения температуры на поверхность объекта. Для однородного объекта математическая модель обратной задачи представлена одномерным параболическим уравнением с начальными условиями и одним граничным условием. В работе предложена вычислительная конечно-разностная схема решения обратной задачи, построенная с использованием регуляризирующих подходов, послужившая основой для проведения вычислительных экспериментов. Результаты эксперимента свидетельствуют о достаточной точности построенных численных решений.

Работа поддержана Минобрнауки РФ в рамках государственного задания FENU-2023-0010 «Фундаментальные основы обработки данных для автоматического контроля достоверности показаний средств измерений цифровой индустрии»

Содержание

1.	<i>Акимова Е.Н., Осипов А.В., Шишкина Я.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ ФАЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	3
2.	<i>Артёмова Н.А., Ушакова О.В.</i> ПОСТРОЕНИЕ СЕТОК ДЕФОРМАЦИЕЙ ОБЪЕМОМ ВРАЩЕНИЯ	4
3.	<i>Архипов Д.А., Добролюбова Д.В., Кутлицева А.Ю., Марков С.И., Штабель Н.В., Штанько Е.И., Шурина Э.П.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОФИЗИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН	5
4.	<i>Башкирцева И.А.</i> АСИМПТОТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦВЕТНЫХ ШУМОВ НА ДИНАМИКУ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ	5
5.	<i>Бибердорф Э.А., Абдишерипов К.К.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ГОДУНОВА ДЛЯ СГЛАЖИВАНИЯ И ЭКСТРАПОЛЯЦИИ СЕТОЧНЫМИ ФУНКЦИЯМИ	6
6.	<i>Бибердорф Э.А., Ван Ли</i> ПРИМЕНЕНИЕ ДРОБНО-ЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ РАЗДЕЛЕНИЯ МАТРИЧНОГО СПЕКТРА И РАЗЛОЖЕНИЯ МНОГОЧЛЕНА НА МНОЖИТЕЛИ	7
7.	<i>Володько О.С., Лемешкова Е.Н.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВНУТРЕННИХ СЕЙШ В СТРАТИФИЦИРОВАННОМ ОЗЕРЕ	8
8.	<i>Вшивкова Л.В., Вшивков В.А.</i> МОДИФИКАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЛАЗМЕННОЙ ЛОВУШКЕ	9
9.	<i>Галкин В.А.</i> О СТРУКТУРАХ, ПОРОЖДАЕМЫХ РЕШЕНИЯМИ УРАВНЕНИЙ ГИДРОДИНАМИКИ В СЛУЧАЕ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ	10
10.	<i>Галкин В.А., Дубовик А.О.</i> ОДИН КЛАСС РЕШЕНИЙ ТРЕХМЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА ДЛЯ НЕСЖИМАЕМОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДРЕ	11
11.	<i>Гандилян Д.В., Устинов К.Б.</i> МОДЕЛЬ ФЕПЛЯ ФОН КАРМАНА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КРУГОВОЙ ПЛАСТИНЫ	12
12.	<i>Гладких В.С., Москалев А.В., Шаранов Д.А.</i> О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ПАРАЛЛЕЛИЗАЦИИ ПРЕДОБУСЛАВЛИВАТЕЛЯ ТИПА SPR В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ СИМУЛЯТОРЕ	13

13.	<i>Голубев Р.А.</i> ПОЛУЛАГРАНЖЕВЫ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНВЕКЦИИ-ДИФФУЗИИ	13
14.	<i>Горбунова К.Д.</i> ДВУМЕРНАЯ ЗАДАЧА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ИСТЕЧЕНИЯ АТМОСФЕР ЭКЗОПЛАНЕТ СИСТЕМЫ ТОI-421	14
15.	<i>Губарева К.В., Еремин А.В.</i> МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ С УПОРЯДОЧЕННОЙ МАКРОСТРУКТУРОЙ	15
16.	<i>Гусев Г.Н., Цветков Р.В.</i> ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	16
17.	<i>Завалишин Д.С., Габдулхаков А.А.</i> ДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СЕРВИСОВ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК	17
18.	<i>Злотник А.А.</i> ПОЛУЯВНЫЙ ВЕКТОРНЫЙ КОМПАКТНЫЙ МЕТОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ	18
19.	<i>Иванычев Д.А.</i> ПОСТРОЕНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ТЕРМОУПРУГОГО СОСТОЯНИЯ АНИЗОТРОПНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕЛА	19
20.	<i>Ильин В.П.</i> ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ МНОГОСЕТОЧНЫЕ МЕТОДЫ ДЕКОМПОЗИЦИИ ОБЛАСТЕЙ	20
21.	<i>Калманович В.В., Картанов А.А.</i> ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТРИЧНОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ	21
22.	<i>Коваль К.А., Сухоруков А.Л.</i> ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЛАЙДЕРА ДИСКООБРАЗНОЙ ФОРМЫ В ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ	22
23.	<i>Кулясов Н.В., Козлова С.В.</i> ПОСТРОЕНИЕ ОЗЕРА ДАННЫХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ФАКТОРОВ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	23
24.	<i>Козлова С.В., Кулясов Н.В.</i> СОЗДАНИЕ НАБОРА ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ И АТАК В СРЕДЕ ЮТ	24
25.	<i>Козырев А.Н., Свешников В.М., Яклюшин А.М.</i> ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ, ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ	25
26.	<i>Копейцев В.Е.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ NLP ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ВРЕДНОСНОГО ПО	25
27.	<i>Копылова О.А., Хайретдинов М.С.</i> ЧИСЛЕННЫЕ ОЦЕНКИ НЕЙРОСЕТЕВОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЗАДАЧАХ ГЕОАКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	26

28.	<i>Короткий А.И., Стародубцева Ю.В.</i> РЕКОНСТРУКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИ СТАЦИОНАРНОЙ РЕАКЦИИ-КОНВЕКЦИИ-ДИФФУЗИИ	27
29.	<i>Костарев К.В., Брацун Д.А.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В АКТИВНОЙ МАТЕРИИ	28
30.	<i>Крыжановская Ю.А.</i> СРАВНЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ДЕРЕВЬЕВ КЛАССИФИКАЦИИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СКОРИНГОВЫХ СИСТЕМ	29
31.	<i>Крыжановский В.Д.</i> ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЛАНОВОЙ ПОТРЕБНОСТИ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРОДУКЦИИ	30
32.	<i>Кутищцева А.Ю.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ УПРУГИХ ВОЛН В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ СРЕДЕ	31
33.	<i>Лекомцев А.В.</i> ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕННОГО ПОРЯДКА ТОЧНОСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ СУПЕРДИФФУЗИИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ	32
34.	<i>Марков С.И., Шурина Э.П., Иткина Н.Б.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОНФОРМНЫХ МЕТОДОВ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ БУРОВОГО РАСТВОРА В ОКОЛОСКВАЖИННОЕ ПРОСТРАНСТВО	33
35.	<i>Мартышко П.С., Бызов Д.Д., Цидаев А.Г., Ладовский И.В.</i> О ПОСТРОЕНИИ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ	34
36.	<i>Мартюшов С.Н.</i> РАСЧЕТ ИНИЦИАЦИИ ГОРЕНИЯ В ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КАНАЛАХ НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОСТАДИНОЙ РЕАКЦИИ ВОДОРОДО-ВОЗДУШНО СМЕСИ	34
37.	<i>Мещеряков В.Н., Кондратьев С.Е.</i> СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СЕРВО-ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ РОБОТОВ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С МАГНИТОПРОВОДОМ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРАЛОВ И СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ	35
38.	<i>Пеньков В.Б., Левина Л.В., Уланов В.Н., Копцева А.А.</i> ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЛОСТИ НА УПРУГОЕ СОСТОЯНИЕ ДВУСВЯЗНОГО ТЕЛА	36
39.	<i>Перцев Ю.В.</i> МЕТОДЫ АНАЛИЗА ТЕКСТА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ В ЗАДАЧЕ ЭКСТРАКТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПОИСКА	37

40.	<i>Петраков И.Е.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХСЛОЙНОГО РАЗНОМОДУЛЬНОГО КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА С УПРУГОЙ ПРОСЛОЙКОЙ	38
41.	<i>Петров М.Н.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛИНИСТОЙ КОРКИ НА СТЕНКЕ СКВАЖИНЫ В СЛОИСТОМ КОЛЛЕКТОРЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.	39
42.	<i>Петушин А.А.</i> О НЕКОТОРЫХ НОВЫХ ПОДХОДАХ К РЕШЕНИЮ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ДВУМЕРНОГО РАСКРОЯ МАТЕРИАЛА И МАРШРУТИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТА МАШИНЫ ЛИСТОВОЙ РЕЗКИ С ЧПУ	40
43.	<i>Петушин А.А., Ужолов С.С., Котел Н.С.</i> АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СРДР НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СЕГМЕНТНОЙ РЕЗКИ	41
44.	<i>Пименов В.Г.</i> ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СУПЕРДИФФУЗИОННОГО УРАВНЕНИЯ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ	42
45.	<i>Плотникова Н.В.</i> ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА	43
46.	<i>Прокудина Л.А.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ВОЗМУЩЕНИЙ В ИСПАРЯЮЩЕЙСЯ ЖИДКОЙ ПЛЕНКЕ	44
47.	<i>Пузатова А.В., Козай А.Д., Дмитриева М.А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ СВОЙСТВ МЕХАНОАКТИВИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА ПО ИЗМЕНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ МАКРОКИНЕТИКИ	44
48.	<i>Ряшко Л.Б.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФАНТОМНЫХ АТТРАКТОРОВ	45
49.	<i>Сесекин А.Н., Ташильков О.Л., Земсков К.А., Андреева И.Ю.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕСТАНОВКИ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ	46
50.	<i>Смолего И.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ТЕРМОУПРУГОСТИ В НЕМАТИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ	47
51.	<i>Степович М.А., Филиппов М.Н., Туртин Д.В., Серегина Е.В., Калманович В.В.</i> О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОННО-ЗОНДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ	48
52.	<i>Тальшев А.А.</i> О ПРЕОБРАЗОВАНИИ КОУЛА-ХОПФА ДЛЯ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА	49

53.	<i>Тимофеева Г.А., Хазимуллин А.Д.</i> АНАЛИЗ СТРАТЕГИИ КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ ЧИСЕЛ	50
54.	<i>Уточкин В.Ю.</i> НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА КОНВЕКТИВНЫХ ДВИЖЕНИЙ ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ РЕАКТОРЕ ХЕЛЕ-ШОУ	51
55.	<i>Филимонов М.Ю., Ваганова Н.А.</i> ЗАДАЧИ ТЕПЛОФИЗИКИ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ В АРКТИКЕ	52
56.	<i>Филимонова И.М.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТОК ДЛЯ РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ	53
57.	<i>Цветков Р.В., Гусев Г.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЧАСТОТ СВАИ ПРИ ОТТАИВАНИИ МАССИВА ОКРУЖАЮЩЕГО ГРУНТА	54
58.	<i>Цепелев И.А., Короткий А.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАВОВЫХ ПОТОКОВ	55
59.	<i>Чупин И.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ МНОГОЗВЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ	56
60.	<i>Шамугия Д.Ж.</i> АППРОКСИМАЦИЯ ТЕПЛОвого ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОВЕТРИВАЕМОГО ПОДПОЛЬЯ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРНОГО МОНИТОРИНГА	57
61.	<i>Щербаков С.В., Ким А.В.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ И КОМПЛЕКС ПРОГРАММ СТАБИЛИЗАЦИИ ВИЧ ДИНАМИКИ С УЧЁТОМ ЭФФЕКТА ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ	58
62.	<i>Япаров А.Д.</i> МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ТЕМПЕРАТУР В ТОНКИХ ПРОСЛОЙКАХ	59
63.	<i>Япаров Д.Д.</i> МЕТОД КОРРЕКЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ СИСТЕМ ПРОИЗВОЛЬНОГО ПОРЯДКА	59
64.	<i>Япаров Д.Д., Бурьянов П.А.</i> РАЗРАБОТКА НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОФОРом	60
65.	<i>Япарова Н.М.</i> ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	61

Тезисы докладов XIII Всероссийской конференции
«Актуальные проблемы прикладной математики и механики»,
с элементами школы молодых ученых, посвященной
памяти академика А.Ф.Сидорова
(Джанхот, 2–8 сентября 2024 г.)

Рекомендовано к изданию
Ученым советом ИММ УрО РАН и
НИСО УрО РАН

НИСО УрО РАН № 7

Подписано в печать 1.08.2024

Формат 60x84 I/16

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

Тираж 100 экз.

Заказ

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

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
«Учебно-Методический Центр УПИ»
620062, Екатеринбург, ул. Гагарина 35/А, 2.